

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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ
ΟΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ ΤΕΙ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΦΩΤΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΣΩΚΡΑΤΗΣ
ΚΑΠΛΑΝΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ
2018**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και περιλαμβάνει την ανάλυση των εγκατεστημένων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι ενσωματωμένες στο κέλυφος ενεργειακού οικίσκου δοκιμών του Εργαστηρίου Α.Π.Ε. του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας και επικεντρώνεται στην μελέτη απωλειών του συστήματος οροφής. Είναι όλο και πιο σύνηθες στις μέρες μας η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών, διότι προσφέρουν οικονομική ενέργεια η οποία χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον.

Αρχικά αναλύεται η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο ενεργειακός οικίσκος πριν και μετά από τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν. Στη συνέχεια ακολουθεί μελέτη σκίασης μέσω πολιτικού χάρτη της τοποθεσίας, υπολογίζονται οι απώλειες και οι αποδόσεις του ηλιακού συλλέκτη που διαθέτει στην στέγη του και των φ/β πλαισίων και προσδιορίζεται η συνολική απόδοση της οροφής συγκεντρωτικά για όλα τα συστήματα τα οποία είναι εγκατεστημένα και εκτιμάται η παραγόμενη ενέργεια από αυτά για τον μήνα Δεκέμβριο. Επιπρόσθετα η οροφή μελετάται και ως σύστημα συναγωγής αλλά και ως ακτινοβολίας καθώς η ανάλυση γίνεται με βάση τις αρχές της επιστήμης της Μετάδοσης Θερμότητας

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Σωκράτη Καπλάνη, Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. για την εξαιρετική καθοδήγηση και βοήθεια που μας προσέφερε κατά την πραγματοποίηση της Πτυχιακής Εργασίας μας, ο οποίος ήταν και μέντορας στην εκπαίδευση μας.

Χαράλαμπος Αντωνόπουλος και Φώτης Νικολάου
Ιούνιος 2018

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)

(Όνοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στις τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι ενσωματωμένες στον ενεργειακό οικίσκο δοκιμών του Εργαστηρίου Α.Π.Ε. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου μέσω ηλιακών συλλεκτών και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, ενσωματωμένων που αποτελούν μέρος της στέγης του οικίσκου, η οποία και θα αναλυθεί εκτενώς με σκοπό την εύρεση της απόδοσής της.

Η ανάπτυξη και η λειτουργία των τεχνολογιών αυτών γίνεται με σκοπό την ανάλυση και μελέτη του συστήματος της οροφής του οικίσκου δοκιμών. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται το μεγαλύτερο μέρος της επιστήμης της ηλιακής ενέργειας και της ηλιακής γεωμετρίας. Αναλύονται τα είδη και οι συνθήκες της ακτινοβολίας, τα όργανα μέτρησης καθώς και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που προσμετρούνται στην εύρεση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά διάφορους μήνες.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα είδη των φωτοβολταϊκών στοιχείων και αναλύεται η αρχή του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Γίνεται μία εκτενής ανάλυση καθώς στο σύστημα οροφής του οικίσκου, μέρη της οροφής είναι δύο φ/β πλαίσια τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια για την ενεργειακή τροφοδότηση των ηλεκτρολογικών και των ηλεκτρονικών συστημάτων του οικίσκου.

Στο τρίτο Κεφάλαιο περιγράφονται γενικά οι ηλιακοί συλλέκτες, τα είδη συλλεκτών που συναντάμε, η αρχή λειτουργίας τους και ακολουθεί αναλυτικά η περιγραφή και ο τρόπος λειτουργίας των επίπεδων συλλεκτών. Τέτοιου είδους συλλέκτες διαθέτει και ο ενεργειακός οικίσκος. Προσδιορίζονται τα σημαντικά μεγέθη και η ανάλυση της διαδρομής που ακολουθεί η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτούς. Επίσης περιγράφονται οι θερμικές απώλειες των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και η μεθοδολογία υπολογισμού τους. Συγκεκριμένα αναλύονται οι απώλειες από την πίσω, πλάγια και εμπρόσθια όψη τους και αναφέρονται οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας που λαμβάνουν χώρα σε κάθε περίπτωση.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη σκίασης του ενεργειακού οικίσκου στα δύο σημαντικότερα σημεία του. Αναλυτικότερα περιγράφεται η σημαντικότητα μιας τέτοιας μελέτης, ακολουθείται ο τρόπος σχεδίασης και ανάγνωσης ενός πολικού χάρτη, προσδιορίζονται τα φυσικά εμπόδια και βρίσκονται όλες οι απαραίτητες διαστάσεις τους, υπολογίζονται οι αζιμούθιες και οι γωνίες ύψους όλων των εμποδίων και αποτυπώνονται σχηματικά στον πολικό χάρτη και τέλος σχεδιάζεται σε αυτούς η τροχιά που ακολουθεί ο ήλιος κατά την διάρκεια της ημέρας για κάποιες επιμέρους ημερομηνίες. Περιγράφεται επίσης ο ενεργειακός οικίσκος δοκιμών, τα μέρη που τον αποτελούν εσωτερικά και εξωτερικά, αναφέρονται επιγραμματικά οι αλλαγές που έγιναν, τα υδραυλικά κυκλώματα που τον αποτελούν για την λειτουργία της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και της θέρμανσης νερού προς χρήση ή θέρμανσης χώρου.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποσκοπεί στην εύρεση της απόδοσης της στέγης κατά το ηλιακό μεσημέρι και πιο πολύ για τον μήνα Δεκέμβριο. Το μοντέλο υπολογισμού μπορεί να εφαρμοσθεί και για τους υπόλοιπους μήνες. Αρχικά περιγράφεται η συνδεσμολογία των συλλεκτών του οικίσκου και δίνονται αναλυτικά όλες οι διαστάσεις των μερών που τους αποτελούν και όλες οι χαρακτηριστικές τους ιδιότητες. Ακολουθεί ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας του συλλέκτη με την βοήθεια πειραματικής διαδικασίας, η ωφέλιμη θερμική ενέργεια που παράγεται και τέλος η απόδοση του συλλέκτη για κάποιες ώρες. Υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο της στέγης του οικίσκου για μια αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου. Στην αρχή αναφέρεται η φύση και οι βασικές έννοιες της ακτινοβολίας, λαμβάνονται μετρήσεις στο οριζόντιο επίπεδο και γίνεται μετατροπή σε αυτό της στέγης. Τέλος υπολογίζεται η ενέργεια από τον ήλιο που πέφτει ημερησίως σε αυτήν και υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά σε μια πλήρης διαστασιολόγηση.

Στο έκτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα από τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Πτυχιακή Εργασία τα οποία είναι : Ο ενεργειακός οικίσκος αναβαθμίστηκε και αυτοματοποιήθηκε στα πλαίσια προγενέστερης εργασίας. Μελετήθηκε εκ νέου η σκίαση του οικίσκου και προκύπτει ότι η τοποθεσία δεν είναι ιδανική λόγω φυσικών εμποδίων. Υπολογίστηκαν οι απώλειες του συλλέκτη και των φ/β πλαισίων της στέγης ως επιφάνειες συναγωγής και ακτινοβολίας και διαπιστώθηκε το μεγάλο ποσοστό απωλειών. .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ
ΠΕΡΙΛΗΨΗ
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	VI
1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	5
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	5
1.2 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	6
1.3 ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	8
1.4 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	9
1.4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ	9
1.4.1.1 ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	11
1.4.1.2 ΆΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_b	11
1.4.1.3 ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_d	12
1.4.1.4 ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_r	13
1.4.2 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	13
1.4.3 ΈΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ I	13
1.4.4 ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ.....	14
1.4.5 ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ R	14
1.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΟΥ-ΓΗΣ	15
1.5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	15
1.5.2 ΑΛΗΘΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (Α.Η.Χ.)	15
1.5.3 ΓΩΝΙΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ.....	16
1.5.4 ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ.....	21
1.5.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ R ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΑΠΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	22
1.5.6 ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ PVGIS.....	24
1.6 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	29
2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	32
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	32
2.1.1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	32
2.1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	35
2.1.3 ΤΑ ΥΠΕΡ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ	36
2.1.4 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	37
2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ Φ/Β ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	39
2.2.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	39
2.2.2 ΤΟ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ.....	41
2.2.2.1 ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ.....	42
2.2.2.2 ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ.....	43

2.2.2.3	ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	43
2.2.2.4	ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ.....	44
2.3	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	45
2.3.1	ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	45
2.3.1.1	ΦΩΤΟΡΕΥΜΑ.....	45
2.3.1.2	ΕΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	46
2.3.2	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	46
2.3.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ I-V.....	48
2.3.3.1	ΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ.....	48
2.3.3.2	ΣΗΜΕΙΟ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	49
2.3.3.3	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	49
2.3.3.4	ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	50
2.3.3.5	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΙΣΧΥ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	51
2.4	ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	53
2.4.1	ΑΥΤΟΝΟΜΑ.....	53
2.4.2	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ.....	55
2.4.3	ΥΒΡΙΔΙΚΑ.....	55
2.5	Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	57
2.5.1	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	57
2.5.2	ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	58
2.5.3	ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	60
2.5.3.1	ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΛΙΣΗ.....	60
2.5.3.2	ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	62
2.5.3.3	ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	64
3.	ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	66
3.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	66
3.2	ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	68
3.2.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	68
3.2.2	ΑΠΛΟ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	70
3.2.3	ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΡΕΥΣΤΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ.....	72
3.2.3.1	ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΕ ΥΓΡΟ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΜΕΣΟ.....	72
3.2.3.2	ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΑ.....	73
3.2.3.3	ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	74
3.3	ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	74
3.3.1	ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ.....	74
3.3.1.1	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	75
3.3.1.2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ.....	76
3.3.1.3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	77
3.3.2	ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ.....	78
3.3.2.1	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	79
3.3.2.2	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΕΝΟΥ.....	79
3.3.3	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	80
3.4	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	80
3.5	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	80
3.6	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	81
3.6.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	81
3.6.2	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΙΣΩ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΕΣ ΟΨΕΙΣ U.....	82
3.6.3	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ υτζ.....	83
4.	Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΩΝ Α.Π.Ε ΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	86
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	86
4.2	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ–ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΙΑΣΗΣ.....	87
4.3	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ.....	97
4.4	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΕΝΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΟΙΚΙΣΚΟ.....	104
4.4.1	ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΜΙΝΑΔΑ.....	104
4.4.2	ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΨΗ.....	106
4.4.3	ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ.....	110
4.4.4	ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	112
4.4.4.1	ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ.....	112

4.4.4.2	ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΕΣ	113
4.4.5	ΡΟΟΜΕΤΡΟ	114
4.4.5.1	ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΕΝΕΡΓΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	115
4.4.5.2	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	115
4.4.5.3	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	117
4.4.5.4	INVERTER (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC/AC)	118
4.5	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΕΣ	120
4.6	ΑΛΛΑΓΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	121
4.6.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	121
4.6.2	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	121
4.6.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	123
4.6.3.1	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ	123
4.6.3.2	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ	123
5.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	124
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΚΟ ΔΟΚΙΜΩΝ	124
5.2	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΟΥ ΟΡΟΦΗΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	124
5.2.1	ΓΕΝΙΚΑ	124
5.2.2	ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΡΟ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	125
5.2.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ	126
5.2.3.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ	126
5.2.3.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΧΡΟΝΟΥ Ε	126
5.2.3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΛΗΘΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ (ΑΗΧ)	127
5.2.3.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΓΩΝΙΑΣ ΗΛΙΟΥ Ω	127
5.2.3.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ R_b	127
5.2.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	128
5.2.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ PSH	129
5.3	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΕΓΗΣ ΑΠΟ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	133
5.3.1	ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	133
5.3.2	ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 133	
5.3.3	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ. 137	
5.3.3.1	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	137
5.3.3.2	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ $h_{σ,σ} \rightarrow \tau_{ζ}$	137
5.3.3.3	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $h_{α,σ} \rightarrow \tau_{ζ}$	139
5.3.3.4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ $h_{σ,τζ} \rightarrow \pi_{ερ}$ 140	
5.3.3.5	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $h_{α,τζ} \rightarrow \pi_{ερ}$	141
5.3.3.6	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΣΩ ΟΨΗ	141
5.3.3.7	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ $h_{σ,τζ} \rightarrow \pi_{ερ}$	144
5.3.3.8	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $h_{α,τζ} \rightarrow \pi_{ερ}$	145
5.3.3.9	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΣΩ ΟΨΗ	146
5.3.3.10	ΟΛΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	147
5.4	ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ	148
5.5	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ	152
5.6	ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΙ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ	152
5.7	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ	153
5.7.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	153
5.7.2	ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ I-V ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ	155
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	160

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε διάφορες χρονικές περιόδους του ανθρώπινου πολιτισμού εγείρονται θέματα καθήκοντος και κοινωνικής ευαισθησίας, που έχουν να κάνουν με τρέχοντα ζητήματα και δομικές αλλαγές, όπως επιστημονικές ανακαλύψεις, νέα οικονομικά δεδομένα, πολιτικές και κοινωνικές ανακατατάξεις.

Μέσα σε μια παγκόσμια οικολογική κρίση, η διεθνής κοινή γνώμη καλείται τα τελευταία χρόνια να αντιμετωπίσει άμεσα ζητήματα που έχουν να κάνουν με τη ρύπανση του περιβάλλοντος, την καταστροφή του όζοντος, την υπερσυσσώρευση CO₂ στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο άνθρωπος να καταφεύγει σε λύσεις με τις οποίες θα βοηθήσει σε ένα επίπεδο την παγκόσμια οικολογική κρίση. Μια προσέγγιση στο πρόβλημα των ορυκτών καυσίμων είναι η κατασκευή ενεργειακών κτιρίων. Ο ενεργειακός σχεδιασμός των κτιρίων αυτών έχει σκοπό να βελτιώσει την ποσοτική και ποιοτική ενεργειακή κάλυψη, ώστε να έχουμε την βέλτιστη λειτουργία των κτιρίων και την σωστή κατανομή των αναγκών για θέρμανση ,ψύξη ,φωτισμό και ζεστό νερό, με αντίστοιχα οφέλη σε εξοικονόμηση ενέργειας και εξασφάλιση συνθηκών άνεσης. Στα κτίρια αυτά ο ενεργειακός σχεδιασμός βασίζεται στην παρακάτω μεθοδολογία :

Ελαχιστοποίηση των ενεργειακών αναγκών κατά την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού των κτιρίων και του περιβάλλοντα χώρου. Μερική ή ολική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Λειτουργία ηλεκτρομηχανολογικού και οικιακού εξοπλισμού χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και υψηλής ενεργειακής κλάσης (class A). Έξυπνα συστήματα διαχείρισης (AVR,PLC,DATA LOGERS) τα οποία θα μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα είτε χειροκίνητα κατ' επιλογή του χρήστη . Παρόλα αυτά η σύγχρονη αρχιτεκτονική, υλοποιεί, δυστυχώς τον δομημένο χώρο με έναν κρύο και άψυχο τρόπο, γιατί ανταποκρίνεται στην τάση για σχεδίαση πολύπλοκων και εντυπωσιακών κτιρίων, αδιαφορώντας πολλές φορές για την εργονομία τους ,την εξοικονόμηση ενέργειας και την επίτευξη βέλτιστων συνθηκών θερμικής, οπτικής άνεσης και βιοκλιματικού σχεδιασμού.

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο. Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου.

Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως

καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 36% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα. Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή. Επί πλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν.

Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών και τεχνικών δράσεων.

Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα)
- Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης)
- Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές
- Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας)

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών-υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αν και είναι ενσωματωμένος στην αρχιτεκτονική που χαρακτηρίζει κάθε τόπο σε ολόκληρη τη γη θεωρείται από πολλούς ως μία νέα «θεώρηση» στην αρχιτεκτονική και σχετίζεται με την οικολογία περισσότερο, παρά με την ενέργεια και την εξοικονόμηση που δύναται να επιφέρει.

Παρά ταύτα, η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων παγκοσμίως, ενώ στα περισσότερα κράτη πλέον αποτελεί βασικό κριτήριο σχεδιασμού μικρών και μεγάλων κτιρίων το οποίο λαμβάνεται υπόψη από όλους τους μελετητές αρχιτέκτονες και μηχανικούς. Κι αυτό, λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων ενέργειας για την θέρμανση, τον δροσισμό και τον φωτισμό των κτιρίων που προκύπτουν από την πρακτική της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Τα πολλαπλά οφέλη της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι:

- ενεργειακά (εξοικονόμηση ενέργειας και θερμική-οπτική άνεση)
- οικονομικά (μείωση κόστους ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων)
- περιβαλλοντικά (μείωση ρύπων) και
- κοινωνικά.

Ειδικότερα, το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποδίδεται με τους παρακάτω τρόπους:

- εξοικονόμηση ενέργειας από την σημαντική μείωση απωλειών λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων.
- παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) μέσω των ηλιακών συστημάτων άμεσου ή έμμεσου κέρδους με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των χώρων προσάρτησης και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου.
- δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των απαιτήσεων όσον αφορά τη ρύθμιση θερμοστάτη (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες τον χειμώνα και υψηλότερες το καλοκαίρι).
- διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα σε επίπεδα υψηλά τον χειμώνα (και αντίστοιχα χαμηλά το καλοκαίρι)

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του φορτίου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από τα επικουρικά συστήματα κατά την χρήση του κτιρίου. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πηγών, γενικότερα, όπως προκύπτει από το βιοκλιματικό σχεδιασμό, επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής θερμικής λειτουργίας του κτιρίου και της σχέσης κτιρίου -περιβάλλοντος. Η θερμική λειτουργία ενός κτιρίου αποτελεί μία δυναμική κατάσταση, η οποία εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως:

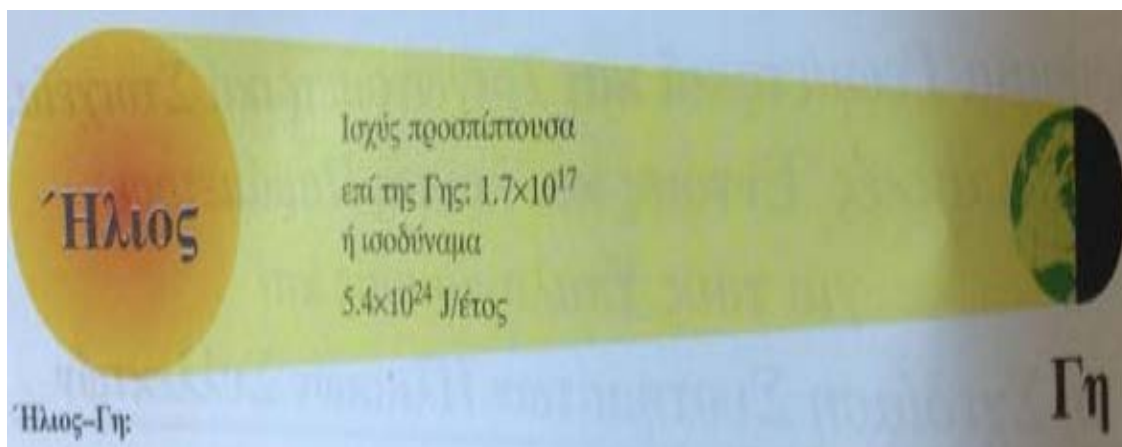
- την ηλιοφάνεια.
- τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα.
- τη σχετική υγρασία.
- τον άνεμο.
- τη βλάστηση.
- το σκιασμό από άλλα κτίρια.
- αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός ενός κτιρίου βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και (κατ' επέκταση) των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και το ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από την λειτουργία. Για τον λόγο αυτό, βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να είναι η απλότητα χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή πολύπλοκων παθητικών συστημάτων και τεχνικών, η μικρή συμβολή του χρήστη του κτιρίου στη λειτουργία των συστημάτων, η χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων, η χρήση τεχνικό-οικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών. Ο βαθμός αξιοποίησης του τοπικού κλίματος εμπεριέχεται στις αρχιτεκτονικές μελέτες διεθνώς διακεκριμένων αρχιτεκτόνων-μελετητών με έργα παραδείγματα και πειραματισμούς που αποτελούν πρότυπες εφαρμογές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, οι οποίες όχι μόνο διδάσκουν, αλλά και μας αποδεικνύουν τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν από την συμβίωση με το περιβάλλον και το κλίμα.

1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

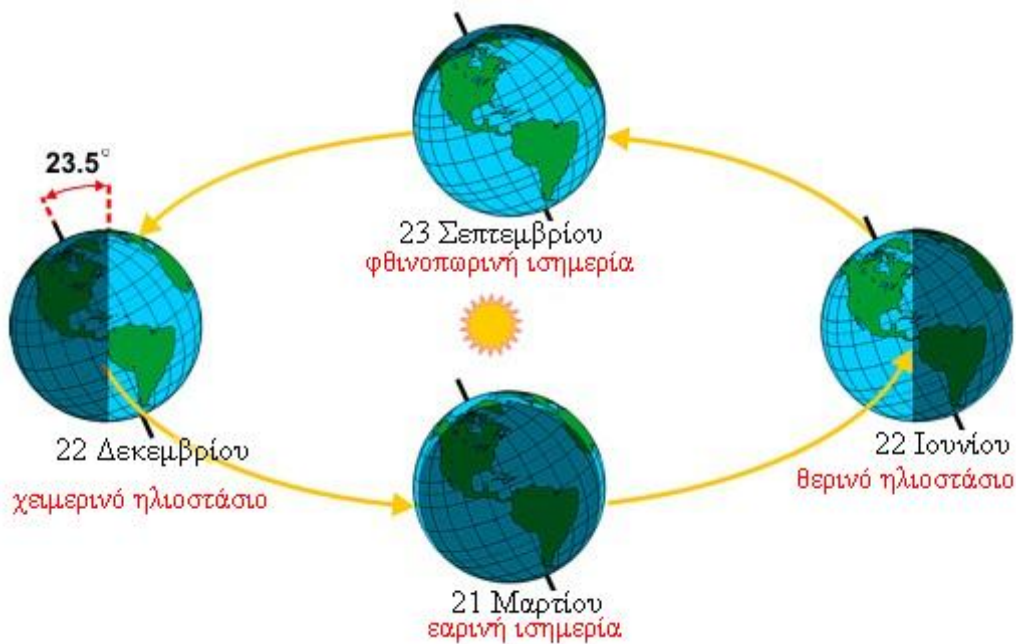
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που εκπέμπονται από τον Ήλιο. Μέρος της ενέργειας κατευθύνεται προς την Γη υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το φάσμα της έχει ένα μεγάλο τμήμα από την περιοχή του ορατού φάσματος (βλ. εικόνα 1.1). Το 1/3 της ακτινοβολίας ανακλάται στο διάστημα καθώς κινείται από τα αραιότερα προς τα πιο πυκνά στρώματα της ατμόσφαιρας, ενώ η υπόλοιπη ακτινοβολία απορροφάται από την ατμόσφαιρα και στην συνέχεια ακτινοβολείται ξανά στο διάστημα.



Εικόνα 1.1: Προσπίπτουσα ισχύς από τον ήλιο στη γη¹

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τη δυνατότητα των ανθρώπων να εκμεταλλεύονται διαφορετικές μορφές ενέργειας. Το 5000 π.Χ. στον Νείλο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η αιολική ενέργεια για την κίνηση των πλοίων, ενώ το 4000 π.Χ. μικροί νερόμυλοι στην Ελλάδα χρησίμευαν για την άλεση δημητριακών αλλά και για παροχή πόσιμου νερού σε οικισμούς. Όσον αφορά τον άνθρακα, η χρήση του αναφέρεται ήδη από το 3000 π.Χ. στην Κίνα ενώ σημαντική χρήση του για μαγείρεμα γινότανε το 100 μ.Χ. στην Αγγλία. Βεβαίως, σε όλη την αρχαϊκή περίοδο, την σημαντικότερη πηγή ενέργειας αποτελούσε η ανθρώπινη μυϊκή δύναμη καθώς και η χρήση ζώων. Ο Αρχιμήδης, τον 3ο π.Χ. αιώνα, έκαψε το Ρωμαϊκό στόλο συγκεντρώνοντας τις ηλιακές ακτίνες με ασπίδες – κάτοπτρα².



Εικόνα 1.2: Η τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο³

1.2 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και φθάνει στην εξωτερική ατμόσφαιρα της γης ισοδυναμεί με το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ακτινοβολίας όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$H = H_b + H_d + H_r$$

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 ζωής 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, δηλαδή μερικώς απορροφημένο από την ατμόσφαιρα, από σκόνες και υδρατμούς φθάνει μειωμένη στην γη όπου η έντασή της κατά το ηλιακό μεσημέρι σε μια καθαρή μέρα στην επιφάνεια της θάλασσας είναι ίση με 103 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 ΚΙΟΤΟ . Επίσης 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 ⁴.

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.

Στο 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.

Η ηλιακή ενέργεια είναι άφθονη, δωρεάν και παντού στον πλανήτη. Όπως έγινε έλεγχος προηγουμένως οι ορυκτές πηγές ενέργειας είναι πεπερασμένες και λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκαλείται ρύπανση του περιβάλλοντος. Η ύπαρξη 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:

$$Q_r = \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

όπου,

Q_r = Το ποσό θερμότητας που επανακτινοβολείται (W)

σ = 5,67 x 10⁻⁸ W/m²K⁴ 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 (ε = 1 για το μέλαν σώμα). Δηλαδή το ε δίνει 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. Για να ισχύει το ενεργειακό ισοζύγιο θα πρέπει η απορροφούμενη από την επιφάνεια της γης θερμότητα να ισούται με την εκπεμπόμενη.

T_r: η μέση θερμοκρασία της Γης σε °K

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που απελευθερώνεται από τον ήλιο και αντιστοιχεί στη μέση απόσταση ήλιου - γης, ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Η απόσταση Γης - Ηλίου δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται συναρτησί 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:

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

όπου

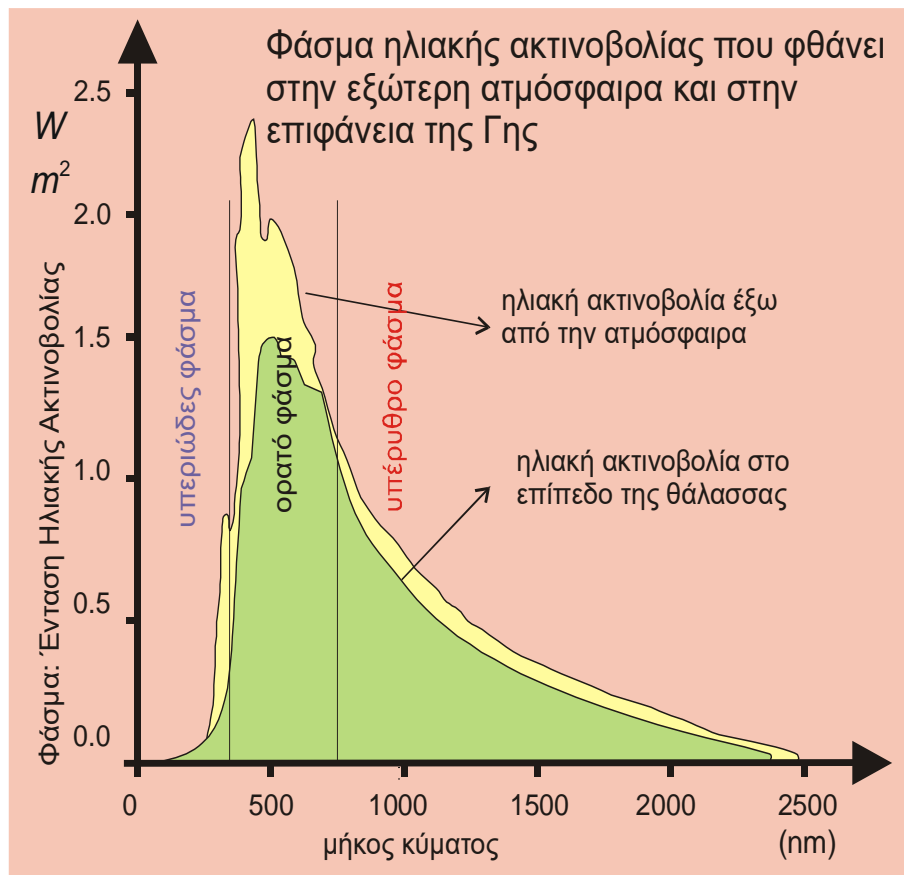
I_{on} = Η πραγματική τιμή της ηλιακής σταθεράς

Isc = Ηλιακή σταθερά βάσει μέσης απόστασης ηλίου-γης 1387 W/m²

n = Ο αύξων αριθμός της ημέρας του χρόνου για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την τιμή της ηλιακής σταθεράς ⁵.

1.3 ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ 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. 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 με βάση την σωματιδιακή μορφή των σωματιδίων.



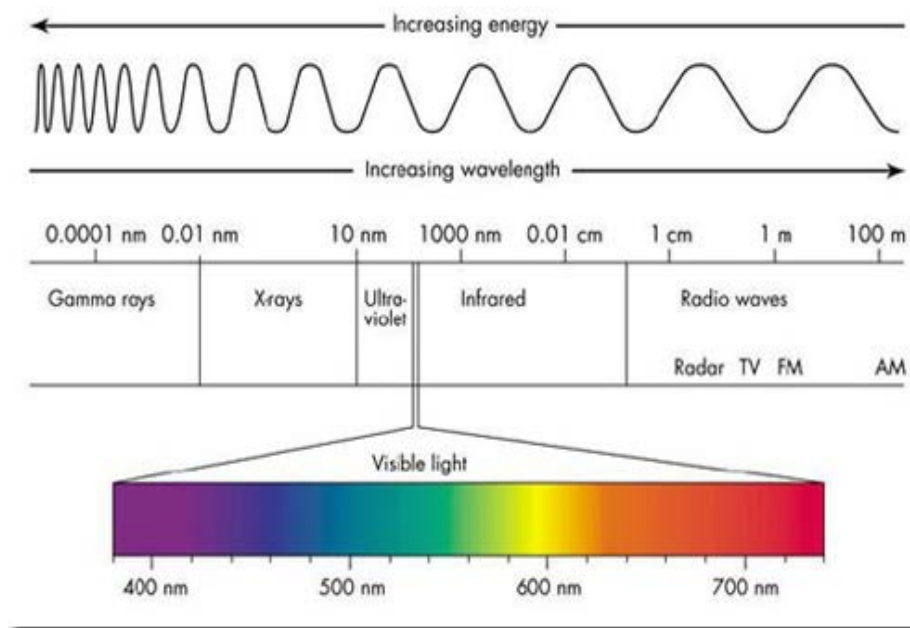
Εικόνα 1.3: Ορατό φάσμα φωτός⁶

Η ενέργεια από τον ήλιο μετατρέπεται ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (θεωρία των κυμάτων) με το αντιπροσωπευτικό της φάσμα, από την σωματιδιακή τους μορφή (φωτόνια) φωτός με ενέργεια που ισούται με.

$$E = h * \nu = h * \frac{c}{\lambda}$$

- $E = \text{ενέργεια}$
- $h = 6.6256 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ (σταθερά αναλογίας)
- $c = 299.792.458 \text{ m/s}$ (ταχύτητα φωτός)
- $\lambda = \text{μήκος κύματος}$
- $u = \text{παίρνει τιμές από το φάσμα των ορατών}$

Πρέπει να αναφερθεί ότι το μήκος κύματος για την ηλιακή ακτινοβολία που είναι κατάλληλη για θερμικές εφαρμογές ευρίσκεται στην περιοχή 380nm - 3000nm και η ακτινοβολία που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα PV-στοιχεία περιορίζεται στην περιοχή των 380nm – 1200nm.



Εικόνα 1.4: Ορατό φάσμα φωτός

Το φωτόνιο αλληλοεπιδρά με τα άτομα άρα σίγουρα και με κάποιο ηλεκτρόνιο καθώς περνάει από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας με αποτέλεσμα να το αναβαθμίζει ενεργειακά.

1.4 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

1.4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 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.

Για να προσδιοριστεί το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ορίζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ως το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει κάθετα σε 1 m^2 επιφάνειας ανά 1 sec .

Η σχέση υπολογισμού της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

$$I = \frac{dE}{dS \times dt} = \frac{dP}{dS} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

E: το ποσό της ηλιακής ενέργειας,

P: η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια,

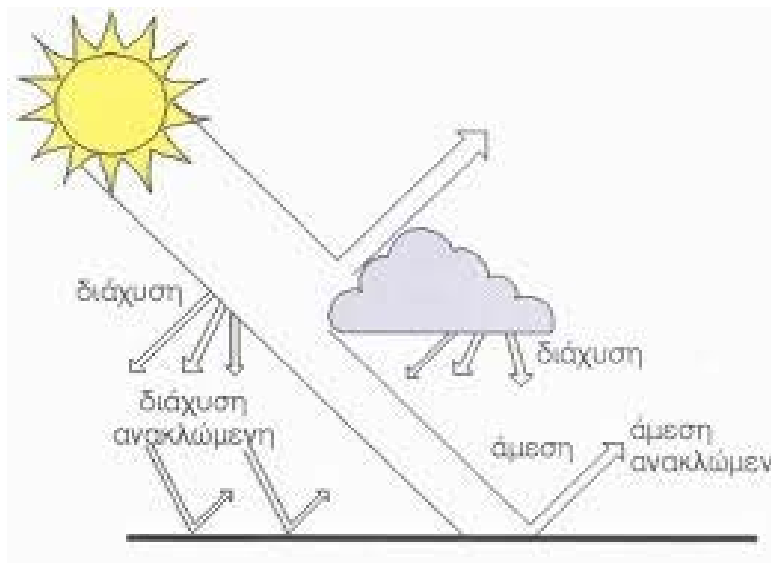
S: το εμβαδό της επιφάνειας και

t : ο χρόνος.

Η ακτινοβολία που φθάνει στην εξωτερική επιφάνεια της Γης μεταβάλλεται εξ' αιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της γης περί τον ήλιο και παίρνει τιμές μεταξύ 1310 και 1399 W/m² και προκύπτει από την παρακάτω σχέση (από σελίδα 29 [2]).

$$I_0 = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot R_0^2} = \frac{3.91 \cdot 10^{23} \text{ kW}}{4 \cdot \pi \cdot (1.5 \cdot 10^{11})^2 \text{ m}^2} = 1.38 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

Η Γη έχει ατμόσφαιρα η οποία αποτελείται από πολλά στρώματα διαφορετικής πυκνότητας το καθένα. Η ακτινοβολία διέρχεται μέσα από αυτά σκεδαζόμενη, δηλαδή με συνεχή μείωση της έντασης αυτής μέχρι την πρόσπτωση της στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 1.7: Οι τρεις συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της από την ατμόσφαιρα μέχρι την επιφάνεια της γης ⁷

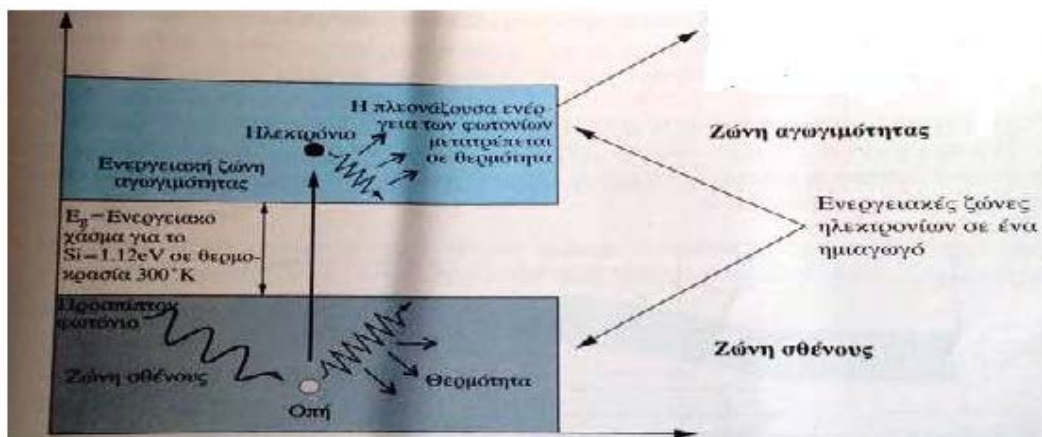
Το ποσό της ελάττωσης αυτής εξαρτάται:

α) από την θέση του ήλιου, την συννεφιά της ημέρας και το υψόμετρο ενός τόπου

β) από την σύσταση της ατμόσφαιρας κάθε στιγμή, καθώς επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο της απορρόφησης το οποίο μειώνει την ένταση της ακτινοβολίας.

1η Ζώνη	2η Ζώνη	3η Ζώνη	4η Ζώνη	5η Ζώνη	6η Ζώνη
Ηράκλειο	Αθήνα	Αργοστόλι	Άρτα	Θεσσαλονίκη	Ιωάννινα
Ιεράπετρα	Καλαμάτα	Κόρινθος	Κέρκυρα	Κομοτηνή	Κόνιτσα
Ρόδος	Νάξος	Μυτιλήνη	Λαμία	Καβάλα	Σέρρες
Σητεία	Σάμος	Πάτρα	Λήμνος	Κατερίνη	
Χανιά	Σύρος	Χίος		Λάρισα	

Εικόνα 1.8: Κατάταξη των κυριότερων πόλεων της Ελλάδας με βάση την προσπίπτουσα ακτινοβολία και θερμοκρασία περιβάλλοντος



Εικόνα 1.9: Αλληλεπίδραση του φωτονίου με ηλεκτρόνιο στην ζώνη σθένους⁸

1.4.1.1 ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατά τη διέλευση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, τα φωτόνια σκεδάζονται και έτσι η έντασή τους ελαττώνεται. Τα συστατικά της ατμόσφαιρας απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας και το κυριότερο στρώμα της ατμόσφαιρας που μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι αυτό του όζοντος. Η Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία, είναι το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια. Μετράτε σε (J/m²). Είναι το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια. Μετράτε σε J/m²·μονάδα χρόνου. Δηλαδή ισχύει ότι:

$$H_b + H_d + H_r = H$$

1.4.1.2 ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_b

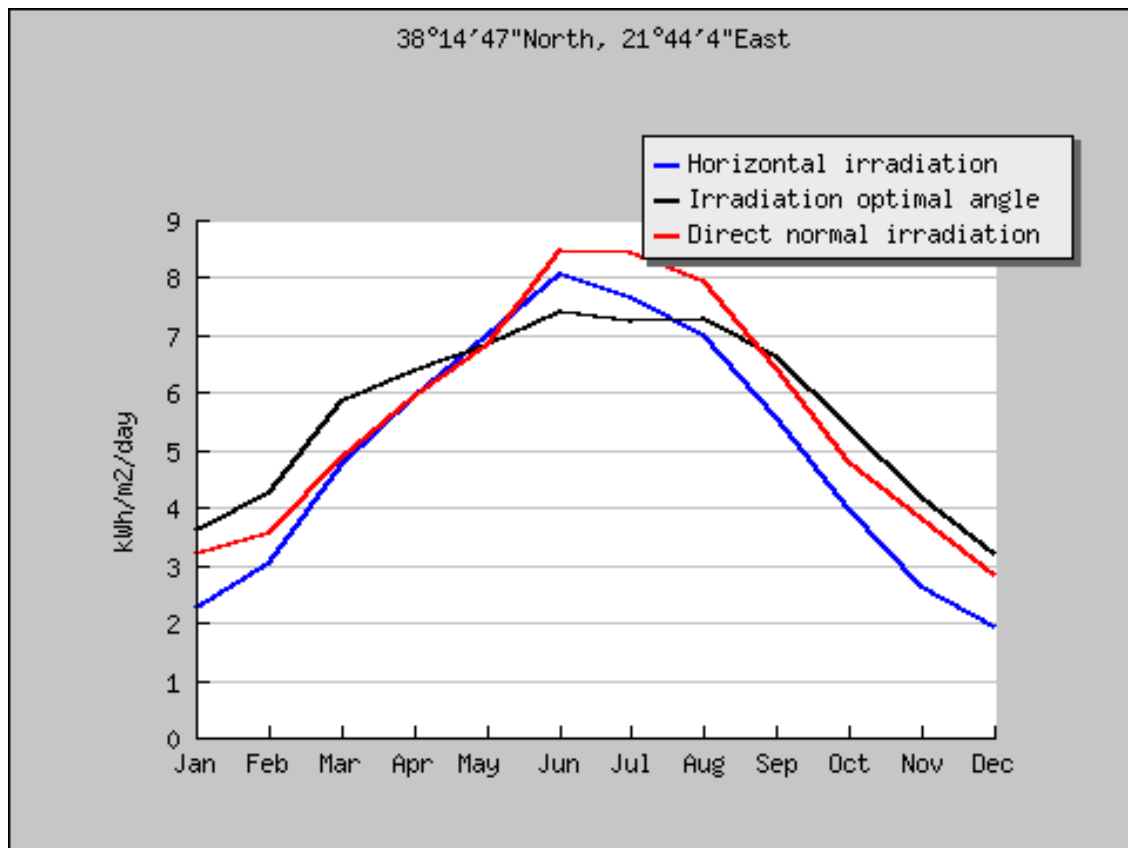
Ως άμεση ηλιακή ακτινοβολία ορίζουμε την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση. Είναι η ακτινοβολία η οποία προέρχεται απευθείας από τον ηλιακό δίσκο. Για τους διάφορους υπολογισμούς όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά, αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μια κάθετη και μία παράλληλη στην επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη ανάλογα με την περίπτωση. Η οριζόντια συνιστώσα δεν αλληλοεπιδρά με την επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη αντίστοιχα και δεν συνεισφέρει στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια. Με αυτό τον τρόπο ευνοείται και σε υπολογισμούς. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία μετράτε σε J/m².

1.4.1.3 ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H_d

Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό ορίζοντα) 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 μετράτε σε J/m^2 .



Εικόνα 1.10: Χρήσεις της Ηλιακής Ενέργειας [17]



Εικόνα 1.11: Η ηλιακή ακτινοβολία για όλους τους μήνες, ολική (άμεση, διάχυτη), που φθάνει στην περιοχή της Πάτρας στο οριζόντιο και στην βέλτιστη γωνία⁹

1.4.1.4 ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ Hr

Είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από διάφορα γειτονικά αντικείμενα (σπίτια, δέντρα, αυτοκίνητα) ή από το ίδιο το έδαφος (από σελίδα 42 [3]). 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 ακτινών 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 ως προς την βέλτιστη κλίση στην περιοχή της Πάτρας, και το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 1.3.

1.4.2 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Στην προηγηθείσα ανάλυση παρατηρήθηκε ότι η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται χρονικά συνεχώς και η ισχύς της δίδεται από τη σχέση:

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

Όπου I_{sc} ηλιακή σταθερά και ισοδυναμεί με 1367 (W/m²)

Για ένα οριζόντιο επίπεδο, το οποίο ευρίσκεται έξω από το όριο της ατμόσφαιρας, η ένταση της ακτινοβολία που δέχεται ισούται με:

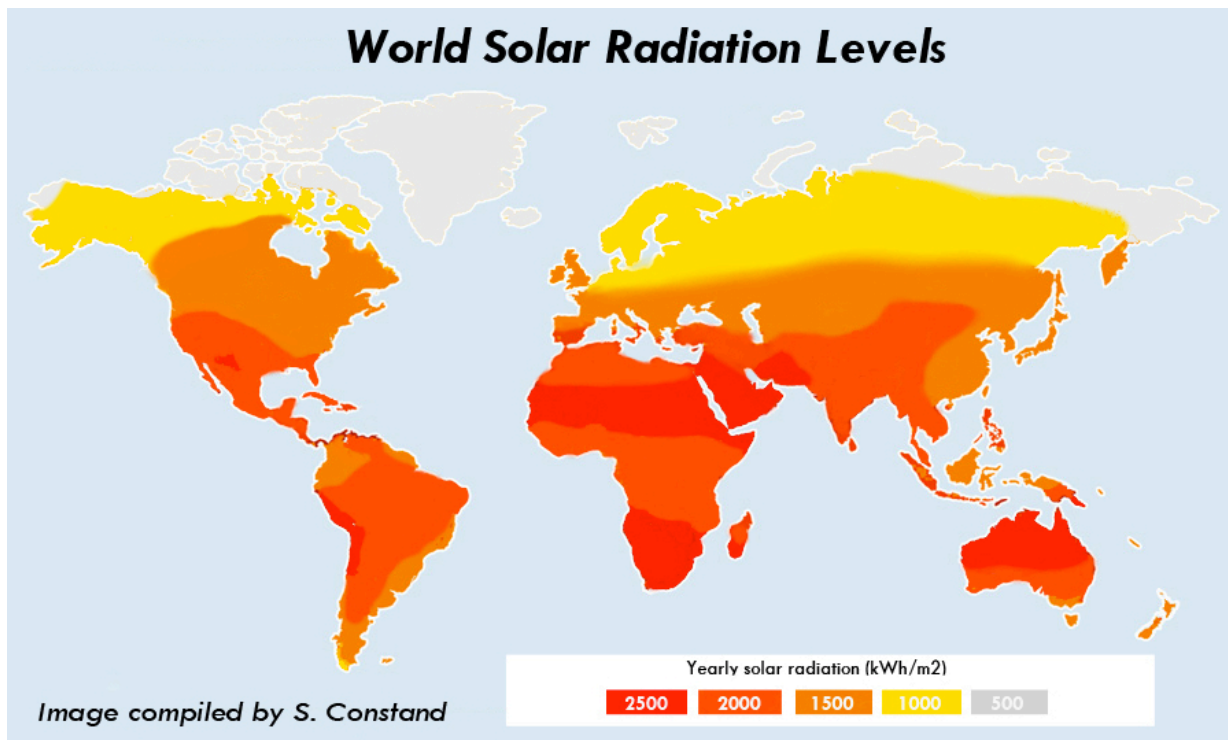
$$I_o = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) (W / m^2)$$

Ολοκλήρωση της ανωτέρω σχέσεως από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου θα δώσει τη συνολική ακτινοβολία που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στο όριο της ατμόσφαιρας, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. [3] από σελ. 42

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cdot \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right)$$

1.4.3 ΎΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ I

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



Εικόνα 1.12: Από την διεθνή βάση δεδομένων PVGIS βλέπουμε χρωματικά τα επίπεδα της ετήσιας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην Γη

1.4.4 ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ

Ως Αέριος Μάζα, m , ορίζεται το πηλίκο του οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας δια μέσου της οποίας περνά η άμεση ακτινοβολία, προς το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ. Για γωνίες μεταξύ των 0° και 70° στο επίπεδο της θάλασσας ισχύει η σχέση:

$$m = (\cos \theta_z)^{-1}$$

Επομένως το m είναι καθαρός αριθμός. Για μεγαλύτερη ακρίβεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι σχέσεις:

$$m = \left[\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.25} \right]^{-1}, \text{ ή}$$

$$m = 35 / \left[(1224 \cos^2 \theta_z) + 1 \right]^{0.5}$$

1.4.5 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.

1.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΟΥ-ΓΗΣ

1.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Είναι γνωστό ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της και ταυτόχρονα γύρω από τον ήλιο σε ετήσια βάση. Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο ακολουθώντας ελλειπτική τροχιά με πολύ μικρή εκκεντρότητα, κάνοντας μία πλήρη περιστροφή κάθε 365.25 μέρες. Το ισημερινό επίπεδο και το επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς σχηματίζουν γωνία 23.45° ή $23^\circ 27'$.

Το καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κατά την μεσημβρία περίπου κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο και ουσιαστικά η θερμοκρασία είναι υψηλότερη έστω και αν η απόσταση Γης-Ηλίου το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατά τον χειμώνα. Όταν η θέση του ήλιου είναι χαμηλά στον ορίζοντα οι ακτίνες του διανύουν μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος τους να απορροφάται αλλά και να εκτρέπεται χωρίς να φθάνει στην επιφάνεια της γης. Η θέση του ηλίου κατά το μεσημέρι είναι υψηλά σε σχέση με τον ορίζοντα. Αντίθετα τον χειμώνα για την ίδια ώρα η θέση του ήλιου είναι χαμηλότερα.

1.5.2 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.

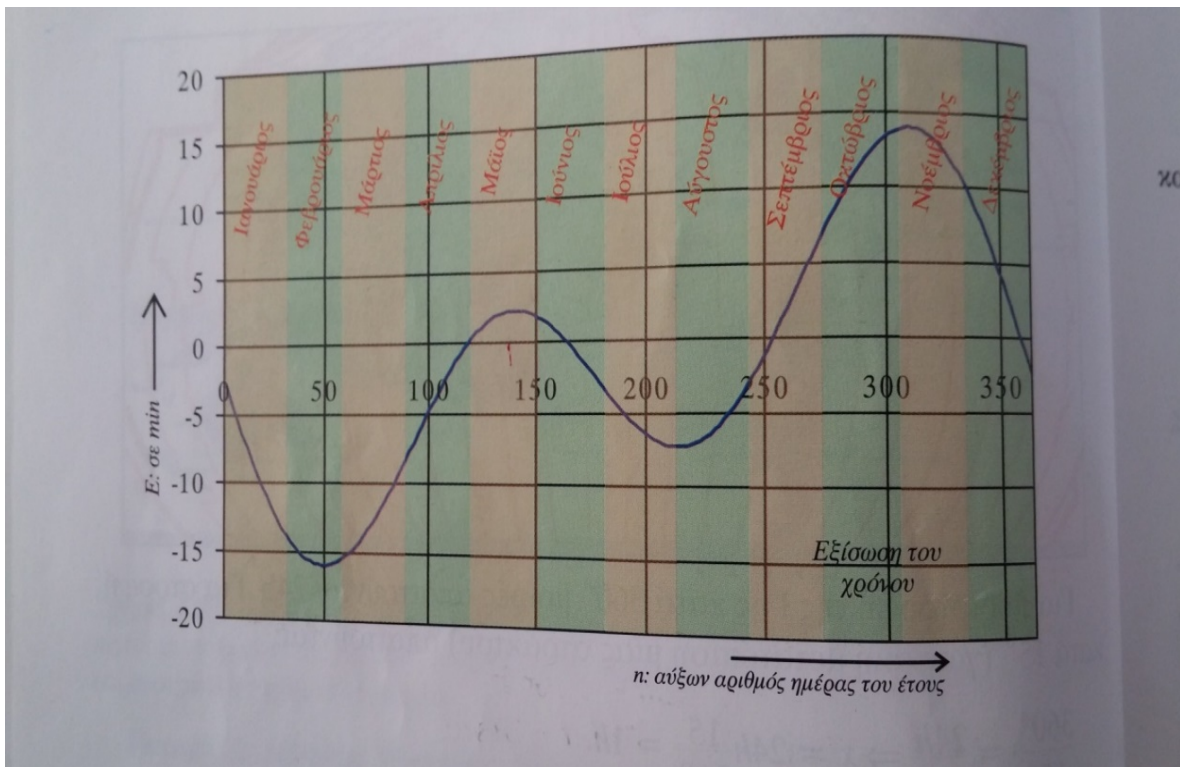
Ωστόσο στην λειτουργία μιας κοινωνίας χρησιμοποιείται ο τοπικός ωρολογιακός χρόνος (Τ.Ω.Χ) ο οποίος είναι συμβατικός σε όλη την επικράτεια και σχετίζεται με τον Α.Η.Χ. έχοντας μια χρονική μετατόπιση που μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του έτους. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι για τον υπολογισμό του Α.Η.Χ. (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:

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

Ή

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



Εικόνα 1.13: Διάγραμμα εξίσωσης του χρόνου ¹⁰

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.

$$E = 0,0172 + (0,4281082 \cdot \cos B) - (7,3514069 \cdot \sin B) - (3,3494657 \cdot \cos 2B) - (9,3617738 \cdot \sin 2B)$$

όπου: $B = \frac{360(\eta-1)}{365}$ και η είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας για την οποία γίνεται ο υπολογισμός του E. Αρχή μέτρησης του η λαμβάνεται πάντα η 1η Ιανουαρίου. Η σχέση που συνδέει τον Τ.Ω.Χ. και Α.Η.Χ. είναι η ακόλουθη:

$$ΑΗΧ = ΤΩΧ - 4\text{min}/\text{μοίρα} (L_{loc} - L_{st}) + E$$

1.5.3 ΓΩΝΙΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και την ένταση αυτής σε μία επιφάνεια θα πρέπει να γνωρίζουμε βασικά γεωμετρικά-τριγωνομετρικά μεγέθη. 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.

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 μεσημέρι., προτείνεται η σχέση:

$$\beta = \varphi - \delta$$

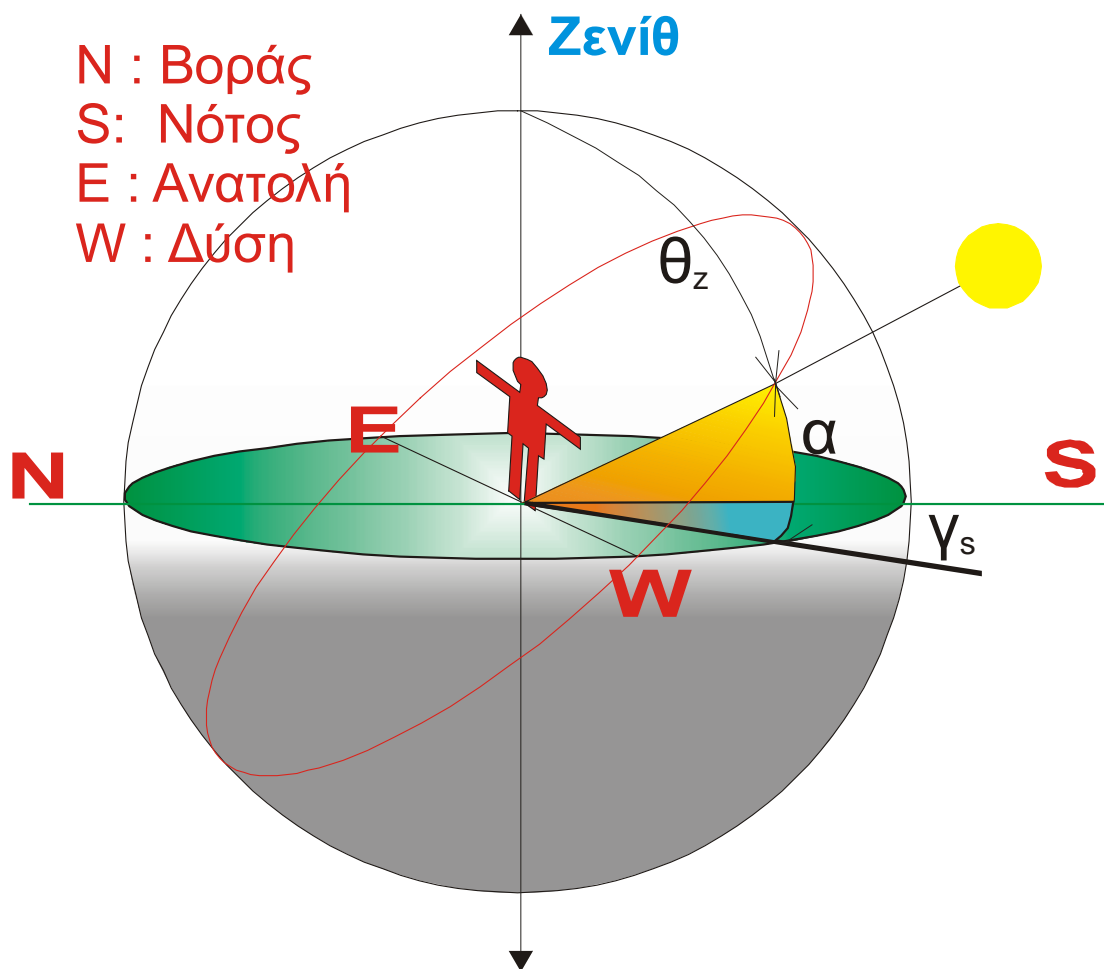
δ : η απόκλιση του ηλίου

φ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου της PV-εγκατάστασης

Πίνακας 1.1: Γεωγραφικά μήκη και πλάτη πόλεων της Ελλάδας

ΠΟΛΗ	Φ	L	ΠΟΛΗ	Φ	L
ΑΜΑΛΙΑΔΑ	37.80	21.35	ΚΩΣ	36.80	27.09
ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΣ	36.20	28.13	ΛΑΜΙΑ	38.90	22.43
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	35.18	25.72	ΛΑΡΙΣΑ	39.63	22.42
ΑΓΡΙΝΙΟ	38.63	21.42	ΛΕΙΒΑΔΙΑ	38.26	22.53
ΑΘΗΝΑ –Ν. ΨΥΧΙΚΟ	38.00	23.77	ΛΕΥΚΑΔΑ	38.83	20.71
ΑΘΗΝΑ –ΡΕΝΤΗΣ	37.96	23.68	ΛΗΜΝΟΣ	39.92	25.24
ΑΙΓΙΟ	38.25	22.08	ΛΗΞΟΥΡΙ	38.20	20.44
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	40.66	22.49	ΛΙΒΑΔΕΙΑ	38.43	22.88
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40.86	25.96	ΜΑΛΕΜΕ	35.53	23.84
ΑΜΦΙΣΣΑ	38.53	22.38	ΜΑΡΑΘΟΣ	38.15	24.00
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	37.92	21.29	ΜΑΡΙΤΣΑ	36.38	28.12
ΑΡΑΞΟΣ	38.15	21.42	ΜΕΓΑΡΑ	37.98	23.37
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38.17	20.47	ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ	38.36	21.43
ΑΡΓΟΣ	37.38	22.44	ΜΥΚΟΝΟΣ	37.44	25.35
ΑΡΤΑ	39.03	20.99	ΜΗΛΟΣ	36.70	24.48
ΑΤΑΛΑΝΤΗ	38.65	23.00	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.10	26.55
ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ (ΣΠΑΤΑ)	37.92	23.94	ΝΑΞΟΣ	37.08	25.38
ΒΟΛΟΣ	39.37	22.95	ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.22	22.80
ΒΟΛΟΣ	39.37	22.93	ΞΑΝΘΗ	41.90	24.54
ΓΡΕΒΕΝΑ	40.08	21.42	ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟ	38.08	22.63
ΔΕΚΕΛΙΑ	38.02	23.78	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41.31	26.32
ΔΡΑΜΑ	41.90	24.10	ΠΑΡΟΣ	37.01	25.13
ΕΔΕΣΣΑ	40.85	21.83	ΠΑΤΡΑ	38.25	21.73

ΕΛΕΥΣΙΝΑ	38.06	23.55	ΠΟΡΤΟ ΧΕΛΙ	37.30	23.15
ΕΠΙΤΑΛΕΙΟ	37.62	21.50	ΠΡΕΒΕΖΑ	38.95	20.75
ΖΑΚΥΝΘΟΣ	37.78	20.90	ΠΥΛΟΣ	36.92	21.70
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.34	25.09	ΠΥΡΓΟΣ	37.67	21.43
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40.68	23.08	ΡΑΦΗΝΑ	38.06	23.98
ΘΗΒΑ	38.32	23.32	ΡΕΘΥΜΝΟ	35.37	24.47
ΙΚΑΡΙΑ	37.85°	26.35	ΡΟΔΟΣ	36.43	28.22
ΙΣΤΙΑΙΑ	38.95	23.15	ΣΑΜΟΣ	37.69	26.91
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39.7	20.82	ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	36.40	25.48
ΚΑΒΑΛΑ	40.9	24.63	ΣΕΡΡΕΣ	41.01	23.55
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37.03	22.12	ΣΕΡΡΕΣ	40.53	23.03
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	39.22	21.55	ΣΗΤΕΙΑ	35.22	26.01
ΚΑΡΠΑΘΟΣ	35.70	27.15	ΣΚΙΑΘΟΣ	39.18	23.51
ΚΑΣΟΣ	35.42	26.92	ΣΚΥΡΟΣ	38.97	24.49
ΚΑΣΤΕΛΙ	35.19	25.33	ΣΟΥΔΑ	35.53	24.15
ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟ	36.13	29.57	ΣΠΑΡΤΗ	37.08	22.43
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	40.45	21.28	ΣΥΡΟΣ	37.41	24.95
ΚΑΤΕΡΙΝΗ	40.17	22.31	ΤΑΝΑΓΡΑ	38.34	23.55
ΚΕΡΚΥΡΑ	39.60	19.92	ΤΡΙΚΑΛΑ	39.33	21.46
ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ	38.12	20.50	ΤΡΙΠΟΛΗ	37.52	22.37
ΚΙΛΚΙΣ	40.99	22.62	ΤΥΜΠΑΚΙ	35.01	24.76
ΚΟΖΑΝΗ	40.29	21.84	ΦΛΩΡΙΝΑ	40.81	21.44
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	37.93	22.93	ΧΑΛΚΙΔΑ	38.47	23.60
ΚΟΤΡΟΝΙ	38.14	23.95	ΧΑΝΙΑ	35.51	24.02
ΚΥΘΗΡΑ	36.29	23.03	ΧΙΟΣ	38.37	26.13
ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ	37.25	21.67	ΧΟΛΑΡΓΟΣ	37.10	23.78

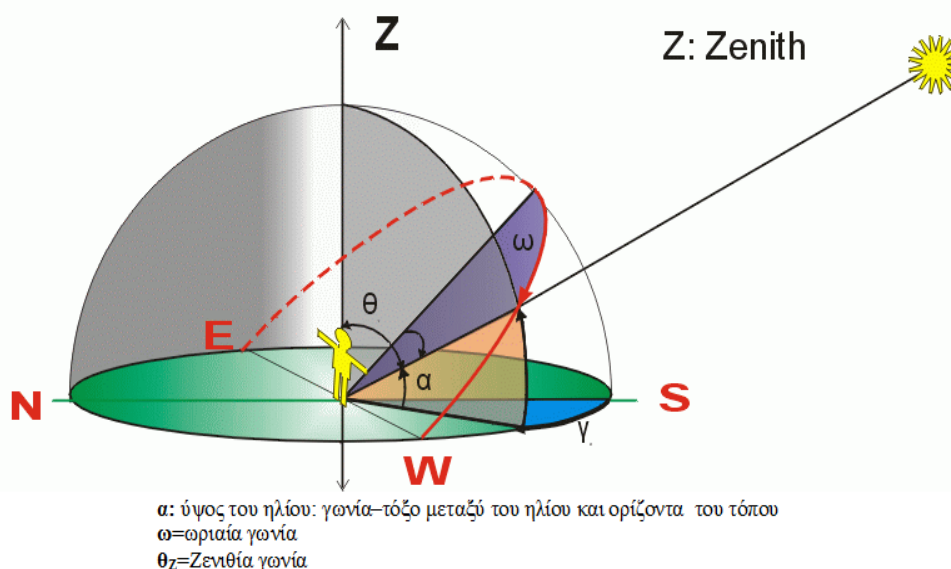


Εικόνα 1.14: Σχήμα με τις βασικές γωνίες ηλιακής γεωμετρίας που συναντάμε¹¹

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 1.6). 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 (+).

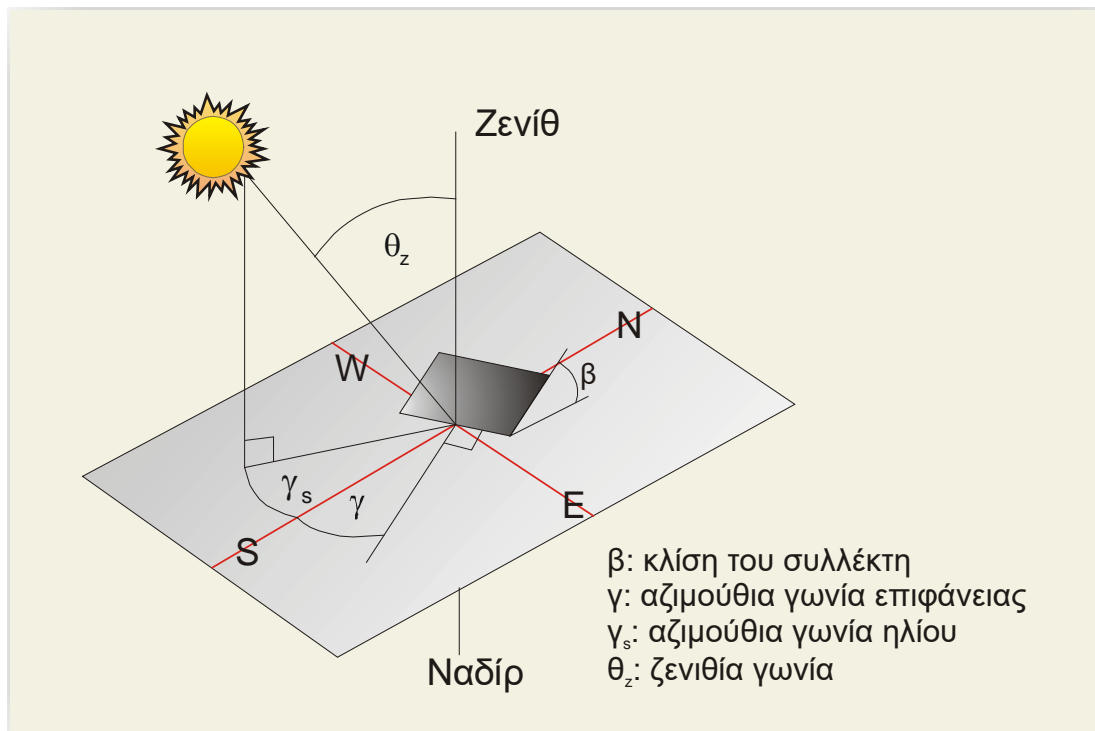
Ύψος ηλίου, α : Για να προσδιορίσουμε την θέση του ήλιου στον ουρανό, συνήθως χρησιμοποιούμε δύο γωνίες. Το ύψος του ήλιου, α και την αζιμουθιακή γωνία του ήλιου, γ_S . Το ύψος του ηλίου ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του οριζοντα και της τροχιάς του ήλιου στον ουρανό. Επίσης είναι η συμπληρωματική 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 1.15: Ωριαία, αζιμούθια, ζενιθία γωνία και ύψος ηλίου (από, σελίδα 46[3])

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 $-90^\circ < \gamma < 90^\circ$.



Εικόνα 1.16: 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 .

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:

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

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 ζενιθία 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: $\omega_{sr} = \cos^{-1}(-\tan\lambda \cdot \tan\delta)$

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

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

Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για ένα κεκλιμένο επίπεδο, ω_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.

1.5.4 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 :

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

Εάν θέσουμε $\gamma=0$ τότε:

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

Για $\beta=0$, και $\gamma=0$, η γωνία πρόσπτωσης θ ταυτίζεται με τη θ_z

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi$$

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

$$\begin{aligned} \cos \theta = & -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (1.11)$$

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

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

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

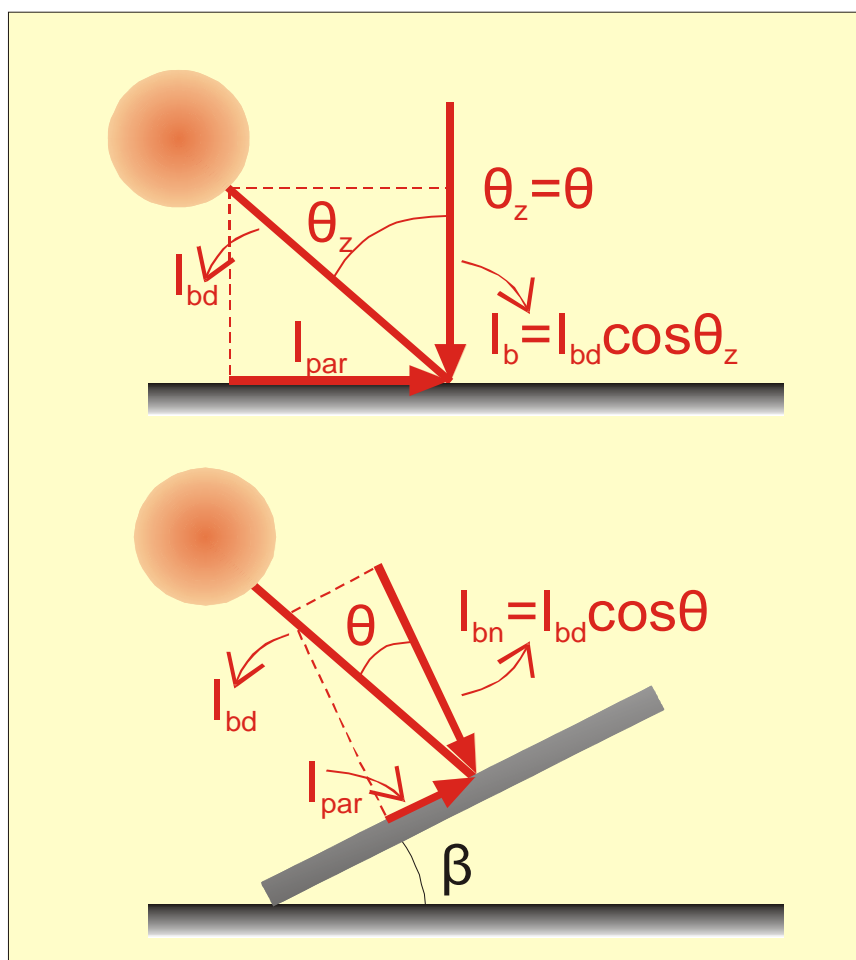
$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\sin \theta_z}$$

1.5.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ R 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 $\beta=0$. 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.

$$R_b = \frac{I_{bn}}{I_b} = \frac{I_{bd} \cos \theta}{I_{bd} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

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.



Εικόνα 1.17: Ζενίθια γωνία στο οριζόντιο επίπεδο, όπου συμπίπτει με την γωνία πρόσπτωσης θ , και η διαφορά όταν έχουμε κεκλιμένο επίπεδο.

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.

Για τους υπολογισμούς, ιδιαίτερα χρήσιμος είναι ο συντελεστής R που δίδει τον λόγο της ολικής έντασης (άμεσης και έμμεσης ή διάχυτης) στο κεκλιμένο επίπεδο (I_T) προς αυτήν στο οριζόντιο (I).

$$R = \frac{I_T}{I}$$

Προφανώς και επειδή το I_T έχει δυο συνιστώσες την άμεση $I_{b,T}$ και την διάχυτη $I_{d,T}$ η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d$$

όπου

$$R_b = \frac{I_{b,T}}{I_b} = \frac{\text{άμεση ακτινοβολία στο κεκλιμένο}}{\text{άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο}}$$

$$R_d = \frac{I_{d,T}}{I_d} = \frac{\text{διάχυτη ακτινοβολία στο κεκλιμένο}}{\text{διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο}}$$

Ο συντελεστής διόρθωσης, R_d , λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας εξαρτάται από την κατανομή της ακτινοβολίας αυτής στον ουρανό. Υπάρχουν δυο περιπτώσεις: Ο πολύ καθαρός ουρανός $R = R_b$ και απαλή συννεφιά $R_d = 1$. Μια βελτιωμένη σχέση για τον υπολογισμό του R είναι η σχέση των Liu και Jordan, οι οποίοι υπολόγισαν την ακτινοβολία που προσπίπτει σε κεκλιμένη επιφάνεια, θεωρώντας ότι συνίσταται από την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη συνιστώσα.

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \frac{1 - \cos\beta}{2} \times r$$

r είναι ο συντελεστής ανακλαστικότητας του χώρου γεινίασης του συλλέκτη, με συνιστώμενες τιμές:

$r \approx 0.2$ για συνηθισμένες συνθήκες εδάφους και

$r \approx 0.7$ για χιονοσκεπείς περιοχές.

Μέχρι τώρα υπολογίστηκε τον λόγο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτήν στο οριζόντιο. Δηλαδή, είτε για στιγμιαία ακτινοβολία ή για ολοκλήρωση των τιμών αυτών ανά ώρα κ.λ.π.

Ωστόσο, για τους υπολογισμούς αυτούς δηλαδή στον σχεδιασμό και σημαντικότερο τη διαστασιολόγηση των συστημάτων ηλιακών συλλεκτών για τις διάφορες εφαρμογές, είναι απαραίτητες οι μηνιαίες τιμές της ακτινοβολίας.

Προσπάθεια καταβάλλεται να υπολογισθεί η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε κεκλιμένο επίπεδο, κλίσης β , και συμβολίζεται με $\overline{H_T}$ και όπου κατ' αναλογία με τη σχέση έχουμε

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}}$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \times \bar{R}_b + \left(\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \times \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + r \times \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right)$$

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \times \bar{R}_b + \bar{H}_d \times \left(\frac{1 + \cos\beta}{2}\right) + r \times \bar{H} \times \left(\frac{1 - \cos\beta}{2}\right)$$

$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$ είναι ο λόγος της μηνιαίας μέσης ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας προς την αντίστοιχη ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Ο λόγος $\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$ (διάχυτη προς ολική ακτινοβολία) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.39 - 4.03 \times \bar{K}_T + 5.53 \times \bar{K}_T^2 - 3.11 \times \bar{K}_T^3$$

Ο παράγοντας \bar{K}_T ονομάζεται συντελεστής αιθριότητας και ορίζεται ως ο λόγος της μηνιαίας ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς την μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο στην περίπτωση που δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Τούτο συμβαίνει μόνο σε μεγάλο ύψος, δηλαδή εκτός ατμόσφαιρας.

$$\bar{K}_T = \frac{\text{Μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο}}{\text{Μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας}}$$

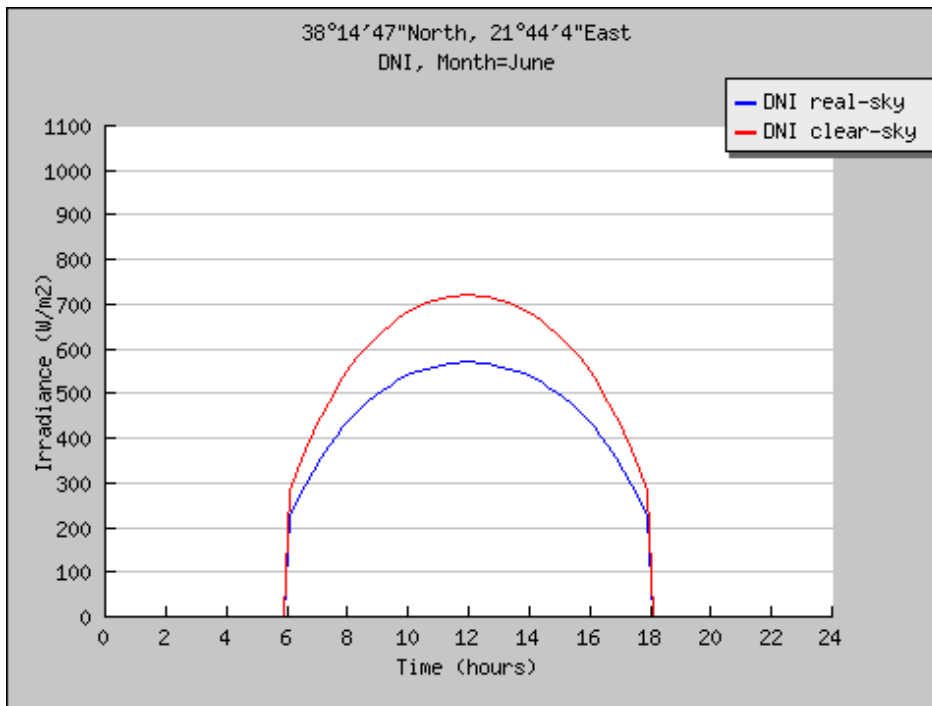
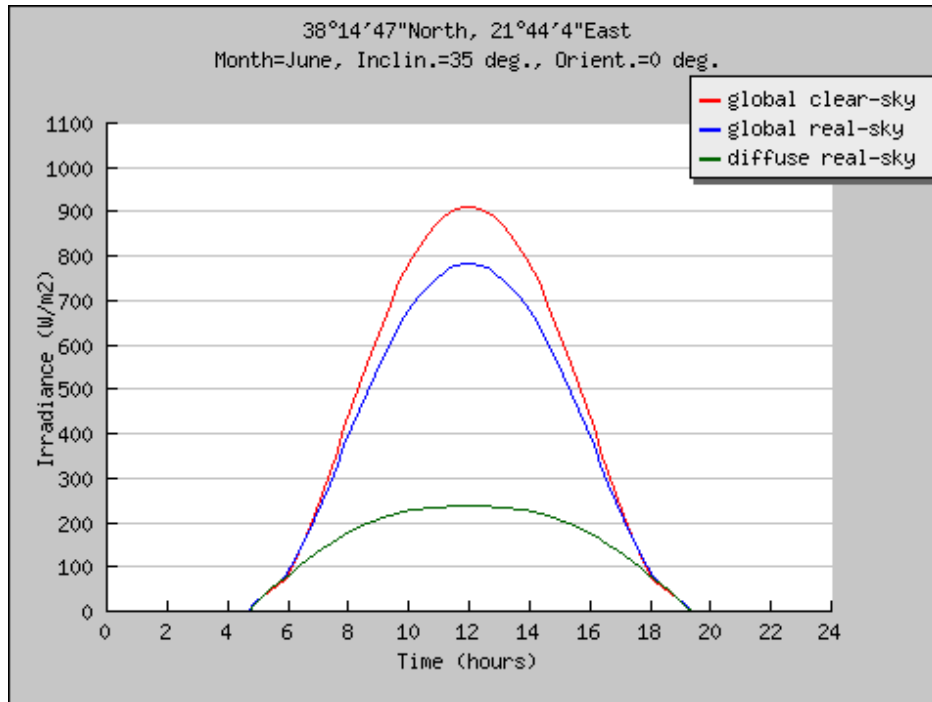
Το \bar{R}_b υπολογίζεται από την σχέση:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \times \cos\delta \times \sin\omega'_s + \frac{\pi}{180} \times \omega'_s \times \sin(\varphi - \beta) \times \sin\delta}{\cos\varphi \times \cos\delta \times \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \times \omega'_s \times \sin\varphi \times \sin\delta}$$

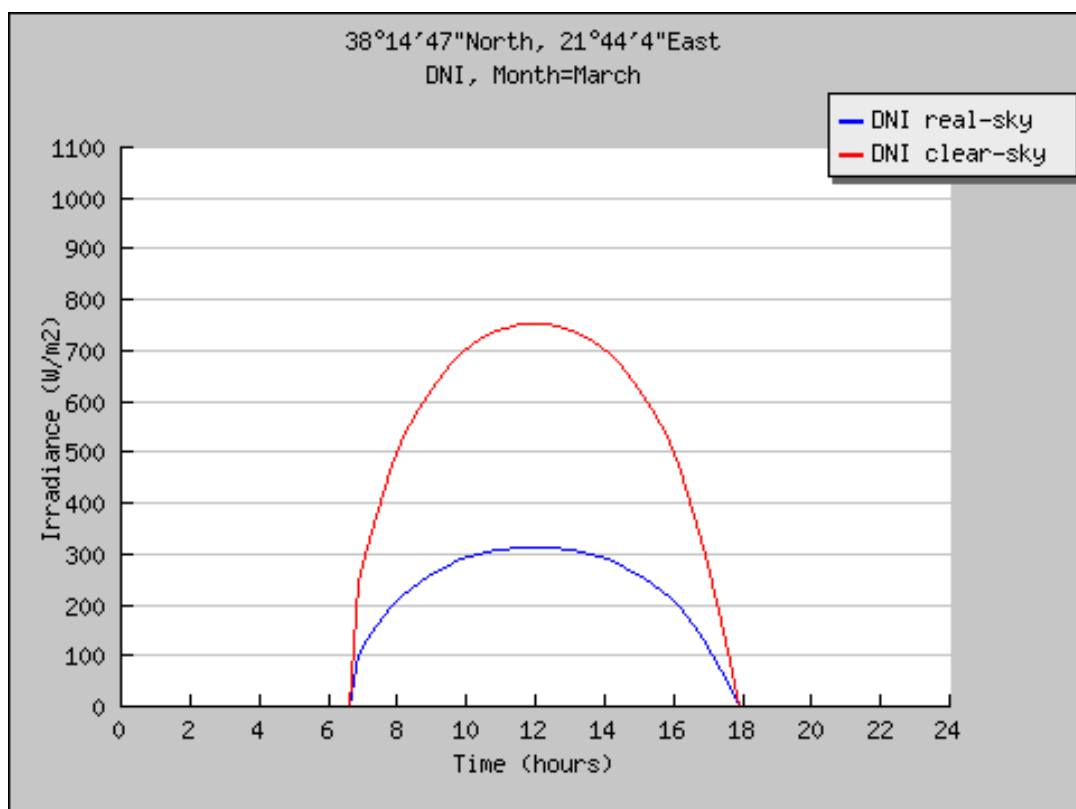
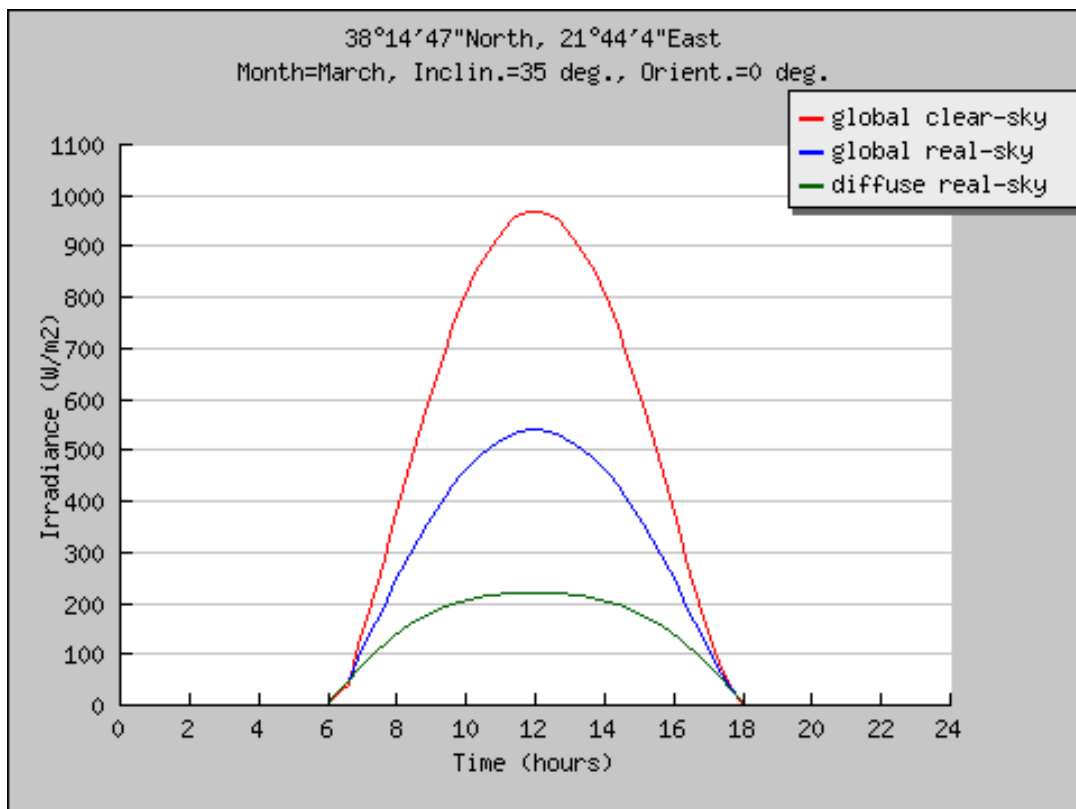
1.5.6 ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ PVGIS

Για την μελέτη της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν πολλές βάσεις δεδομένων, μερικές από αυτές είναι το PVGIS [51], η SODA [52], το Meteororm [51] και άλλες. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην πτυχιακή αυτή είναι το PVGIS. Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (PVGIS) του Ινστιτούτου Ενέργειας και Μεταφορών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αποτελεί μια βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και άλλων κλιματικών δεδομένων για την Ευρώπη και την Αφρική.

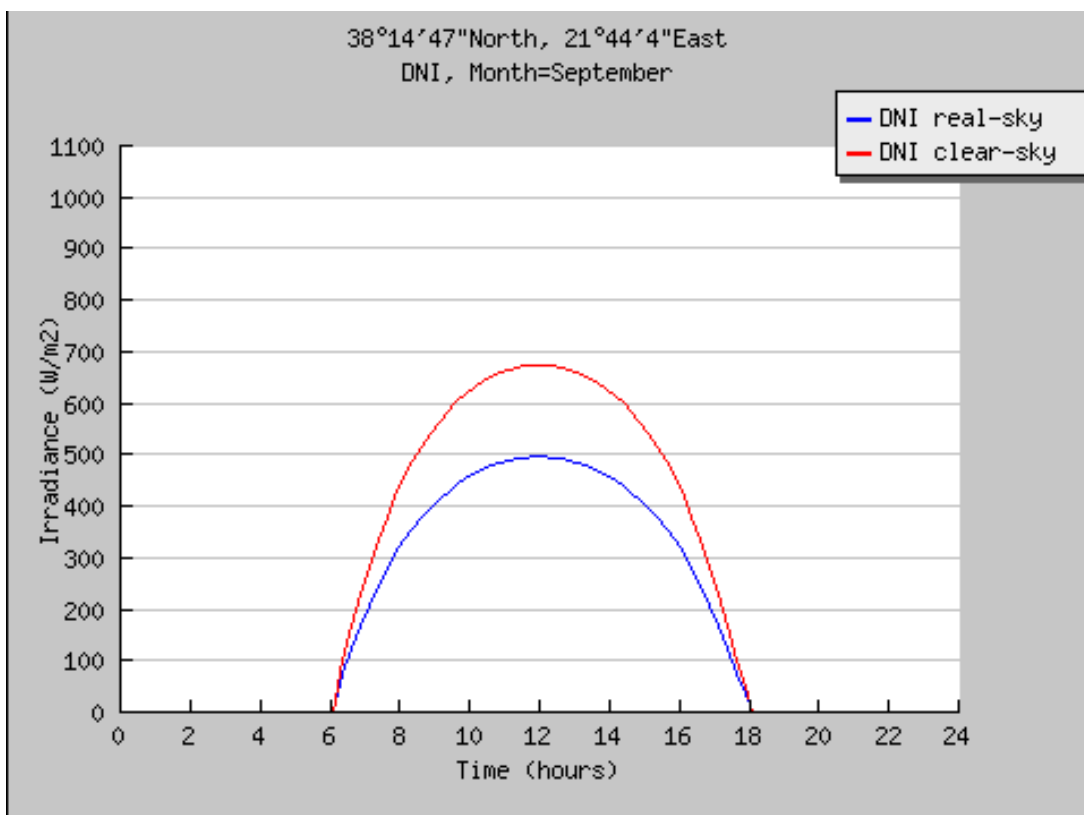
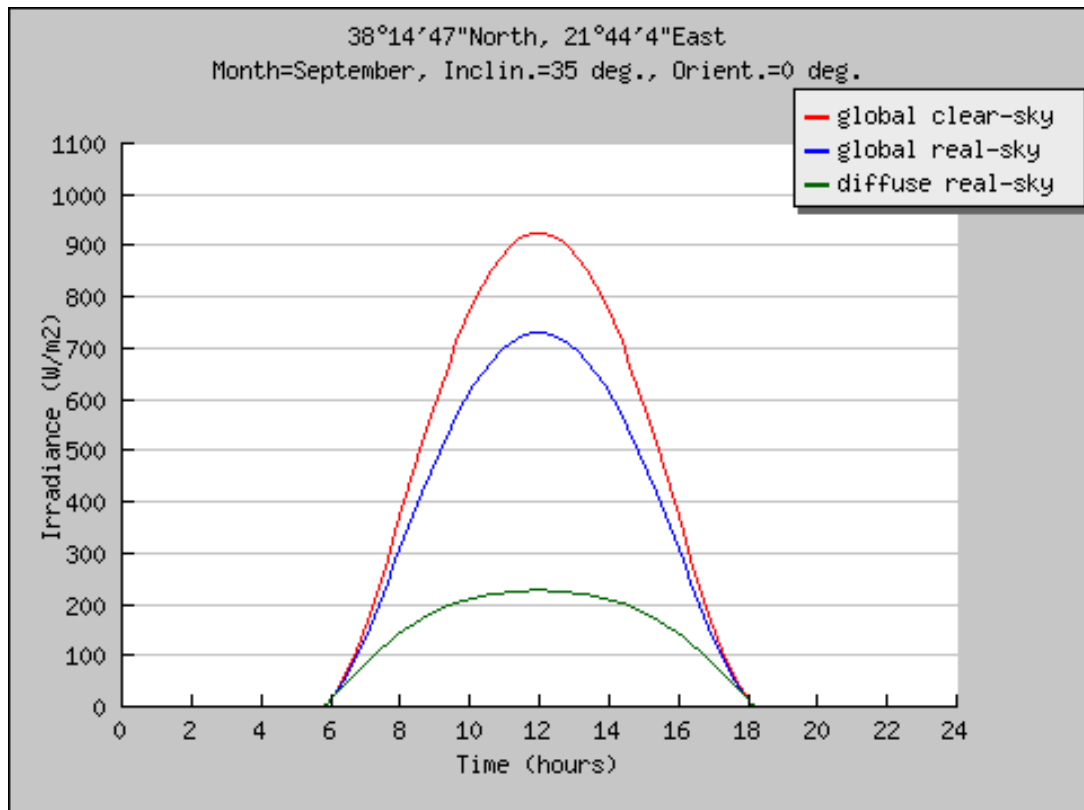
Με τη χρήση διαδραστικών χαρτών καταχωρώντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι δυνατό να υπολογιστεί η απόδοσή του. Η ιστοσελίδα περιλαμβάνει ακόμα εικόνες κινούμενων γραφικών που απεικονίζουν διάφορα κλιματολογικά στοιχεία κατά τη διάρκεια του έτους [20].



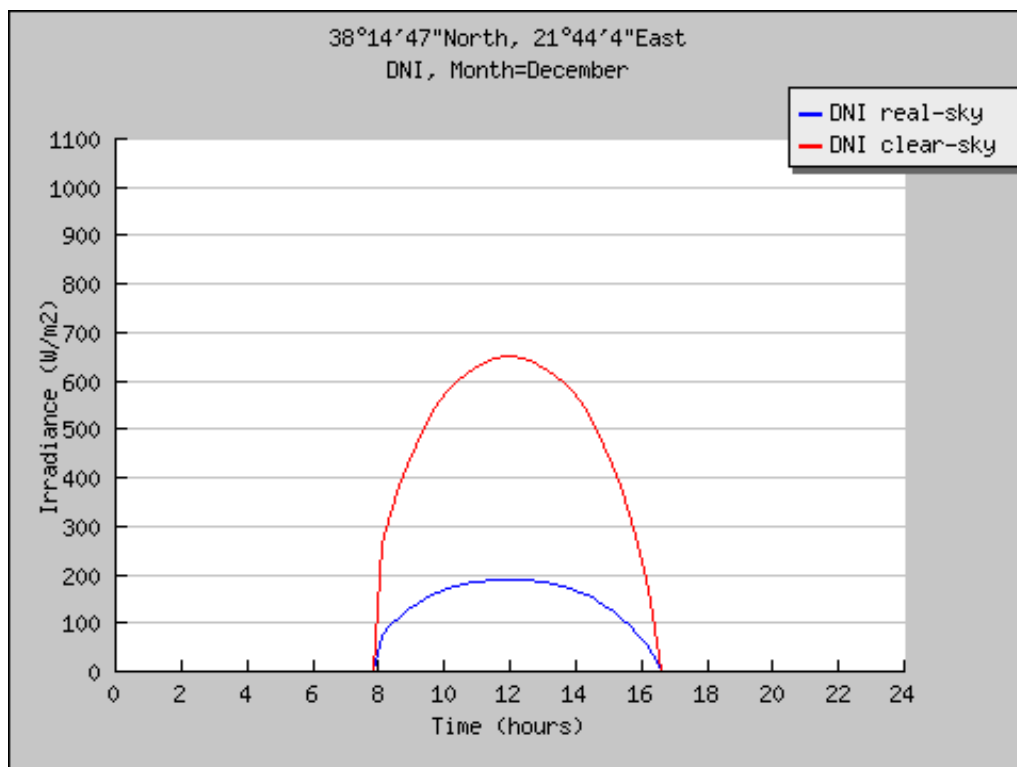
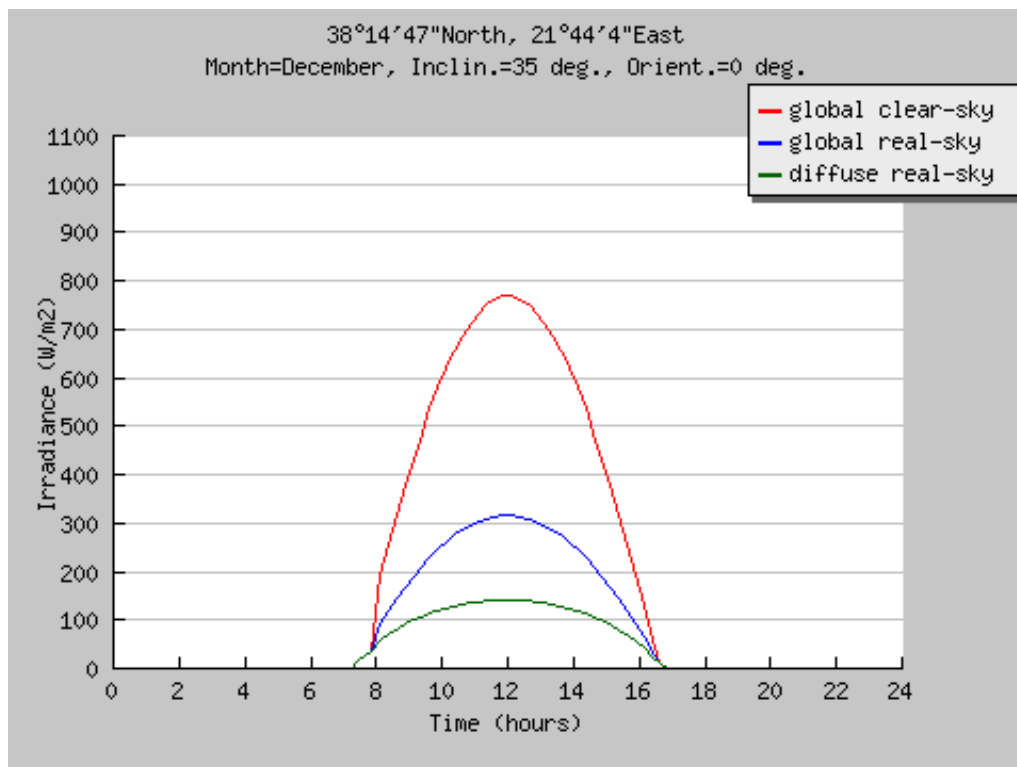
Εικόνα 1.18^a και 1.18^b: Διαγράμματα της ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην Πάτρα όπως δίδονται από το PVGIS για το μήνα Ιούνιο



Εικόνα 1.19^a και 1.19^b: Διαγράμματα της ολικής ακτινοβολίας όπως δίδονται από το PVGIS που προσιπάει στην Πάτρα τον μήνα Μάρτιο [51]



Εικόνα 1.20^α και 1.20^β: Διαγράμματα της ολικής ακτινοβολίας όπως δίδονται από το PVGIS που προσιπτει στην Πάτρα τον μήνα Σεπτέμβριο [51]



Εικόνα 1.21^α και 1.21^β: Διαγράμματα της ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην Πάτρα όπως δίδονται από το PVGIS τον μήνα Δεκέμβριο [51]

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα από την βάση δεδομένων του PVGIS για μέση μηνιαία και μέση ημερήσια ακτινοβολία για ένα μήνα για κάθε εποχή του έτους, στην πόλη των Πατρών, δηλαδή για Δεκέμβρη, Ιούνιο, Σεπτέμβρη και Μάρτη.

Location: 38°14'47" North, 21°44'4" East, Elevation: 15 m a.s.l.,
Inclination of plane: 35 deg
Orientation (azimuth) of plane: 0 deg

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα παραπάνω διαγράμματα είναι για την κάθε εποχή είναι ότι, η ακτινοβολία όσο πλησιάζει στο καλοκαίρι αυξάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Σε αντίθεση με τον χειμώνα όπου η ακτινοβολία έχει μικρότερη τιμή από όλες τις άλλες εποχές. Ενώ άνοιξη με φθινόπωρο η ακτινοβολία έχει σταθερές τιμές.

1.6 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Πυρανόμετρο:

Το Πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε (W/m^2).



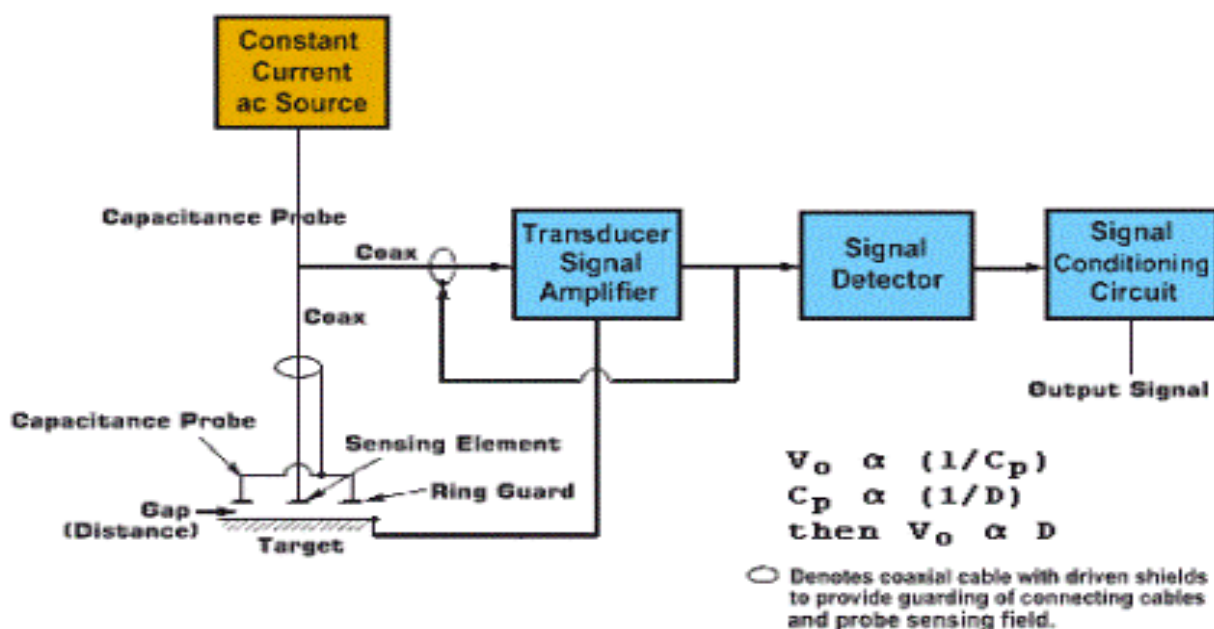
Εικόνα 1.22: Πυρανόμετρο τοποθετημένο στην σταθερή Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Fixed) στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Η ετυμολογία της λέξης πυρανόμετρο προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις πυρ (φωτιά), άνω (ψηλά) και μέτρο. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ολικής ή διάχυτης (ανάλογα με την περίπτωση), μετράται με το Πυρανόμετρο, διότι είναι ένα ακριβές και αξιόπιστο όργανο. Η αρχή λειτουργίας του πυρανόμετρου στηρίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή φαινόμενο Peltier, από το όνομα του Γάλλου Φυσικού (1785-1845) που το μελέτησε. Συγκεκριμένα το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Η ακτινοβολία που προσπίπτει, στην ενεργό επιφάνεια, (μαύρη) του πυρανομέτρου απορροφούμενη θερμαίνει την πλάκα αυτή.

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 εκτιθέμενων στην ηλιακή ακτινοβολία

θερμοζευγών ή θερμοπυλών. 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 Kirr και Ζοηη, 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. 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.



Εικόνα 1.23: Αρχή λειτουργίας πυρανόμετρου

Είναι δυνατόν με τα πυρανόμετρα να μετράται και η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται με μία στεφάνη, η οποία αποτρέπει να βλέπει το πυρανόμετρο. Με κατάλληλη τοποθέτηση της στεφάνης πάνω και γύρω από το πυρανόμετρο, με σκοπό ο βολβός του, να μην βλέπει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία παρά μόνο την διάχυτη.

Συνήθως, με δύο πυρανόμετρα, το ένα χωρίς στεφάνη και το άλλο με στεφάνη, μετράται η ένταση της ολικής ακτινοβολίας και της διάχυτης 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.



Εικόνα 1.24: Πυρανόμετρο με στεφάνι τοποθετημένο στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Μια βέλτιστη ρύθμιση για το χρονικό διάστημα των δεδομένων είναι να λαμβάνεται μέτρηση κάθε δευτερόλεπτο και να εξαχθεί ο μέσος όρος ανά λεπτό. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται, το φάσμα εξόδου του πυρανόμετρου να ταιριάζει στην περιοχή εισόδου. Στην περιοχή εισόδου της συσκευής συλλογής δεδομένων τούτο είναι αναγκαίο για να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη ανάλυση και να γίνει ελαχιστοποίηση του θορύβου. Αυτό μπορεί να γίνει με μέγιστη αναμενόμενη αναλογική έξοδο του πυρανόμετρου στο σύστημα σας και τη λήψη των δεδομένων που μπορεί να χειριστεί μόνο αυτό το σήμα. Οι ανιχνευτές βασίζονται σε παθητικά θερμικά στοιχεία ανίχνευσης που ονομάζονται θερμοστήλες.

Η θεμελιώδης αρχή λειτουργίας ισχύει για όλα τα πυρανόμετρα. Η θερμοστήλη ανταποκρίνεται στη συνολική ενέργεια που απορροφάται από μια μοναδική επίστρωση μαύρη επιφάνεια που αναπτύχθηκε από την Kipp & Zonen και η οποία είναι μη επιλεκτική. Η θερμοστήλη ζεσταίνεται και η θερμότητα που παράγεται ρέει μέσω μιας θερμικής αντίστασης. Η θερμοκρασία μετατρέπεται σε μια μικρή τάση ως συνάρτηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας. Η άνοδος της θερμοκρασίας στην θερμοστήλη είναι εύκολο να επηρεαστεί από τον άνεμο, τη βροχή και θερμική ακτινοβολία και η λεπτή μαύρη επίστρωση πρέπει να προστατεύεται. Ως εκ τούτου, ο ανιχνευτής πρέπει να είναι θωρακισμένος από δύο θόλους. Αυτοί οι θόλοι επιτρέπουν την ίση μετάδοση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε θέση του ήλιου στο ημισφαίριο πάνω από τον ανιχνευτή.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά πυρανόμετρου της εταιρίας Kipp&Zonnen

Φασματική περιοχή (συνολικά)	285 to 2800 nm
Ευαισθησία	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Χρόνος Απόκρισης	< 5 s
Zero offset A	< 7 W/m^2
Zero offset B	< 2 W/m^2
Κατευθυντική ανταπόκριση (upto 80° with 1000 W/m^2 beam)	< 10 W/m^2
Εξάρτηση θερμοκρασίας από το sensitivity (-10 °C to +40 °C)	< 1 %
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας	-40 °C to +80 °C
Μέγιστη ένταση ηλ. Ακτινοβολίας	4000 W/m^2
Οριζοντας	180 °

2. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1.1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρισμού με ηλιακή ενέργεια ονομάζεται Φωτοβολταϊκή Ενέργεια. Ο Edmond Becquerel το 1839 ανακάλυψε ότι ηλεκτρόδια οξειδίου του χαλκού όταν τοποθετηθούν σε υγρό και εκτεθούν στον ήλιο παράγουν ηλεκτρισμό. Ο Charles Fritts το 1880 κατασκεύασε το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο(πλάκα) (cell) από σελήνιο και προέβλεψε ότι θα έλθει η εποχή που αν η στέγη μιας κατοικίας καλυφθεί με παρόμοια κύτταρα (πλαίσια) θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες της κατοικίας σε ηλεκτρισμό. Το 1905 ο Albert Einstein περιέγραψε τη φύση του φωτός και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο το οποίο είναι ουσιαστικό για την Φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Οι PV-γεννήτριες χρησιμοποιούνται ακόμα και για τις ανάγκες συστημάτων επικοινωνίας, συστημάτων μετρήσεων μετεωρολογικών και άλλων φυσικών μεγεθών και φαινομένων, ηλεκτροφωτισμού περιοχής, στάθμευσης κτλ. Όταν το πρόγραμμα της φωτοβολταϊκής (PV) τεχνολογίας ξεκίνησε οργανωμένα σε παγκόσμιο επίπεδο και κυρίως στις Η.Π.Α και την Ευρώπη, πριν από 20 χρόνια, ουσιαστικά δεν υπήρχε αγορά για τις PV-εφαρμογές παρά μόνον σε εξειδικευμένες περιπτώσεις και ιδίως στην διαστημική τεχνολογία.



Εικόνα 2.1: Συνδυασμός ανεμογεννήτριας και PV πλαισίων για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων.

Σε αντίθεση με την κατάσταση που επικρατούσε πριν 20 χρόνια σχετικά με την κάλυψη ενεργειακών αναγκών μέσω PV γεννητριών, διαπιστώνουμε ότι το 1999 οι πωλήσεις PV γεννητριών παγκοσμίως ξεπέρασαν τα 200 MW, με ευρείες εφαρμογές στην παραγωγή, στις μεταφορές, στην αγροτική οικονομία και στον οικιακό τομέα.



Εικόνα 2.2: Συνδυασμός PV-γεννήτριας-ανεμογεννήτριας σε ορεινή περιοχή μακράν του δικτύου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κατά περίπτωση.



Εικόνα 2.3: PV-γεννήτρια με PV στοιχεία τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Τα στοιχεία είναι λεπτά, ελαφρά και ευλύγιστα και προσαρμόζονται εύκολα ακόμα και σε καμπύλες επιφάνειες όπως π.χ. πλοiάρια, οχήματα κλπ.



Εικόνα 2.4: Εγκατάσταση PV πλαισίων σε στέγη για αυτοδύναμη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (ηλεκτρικά φορτία).



Εικόνα 2.5: Εφαρμογές PV σε νέα κτίρια

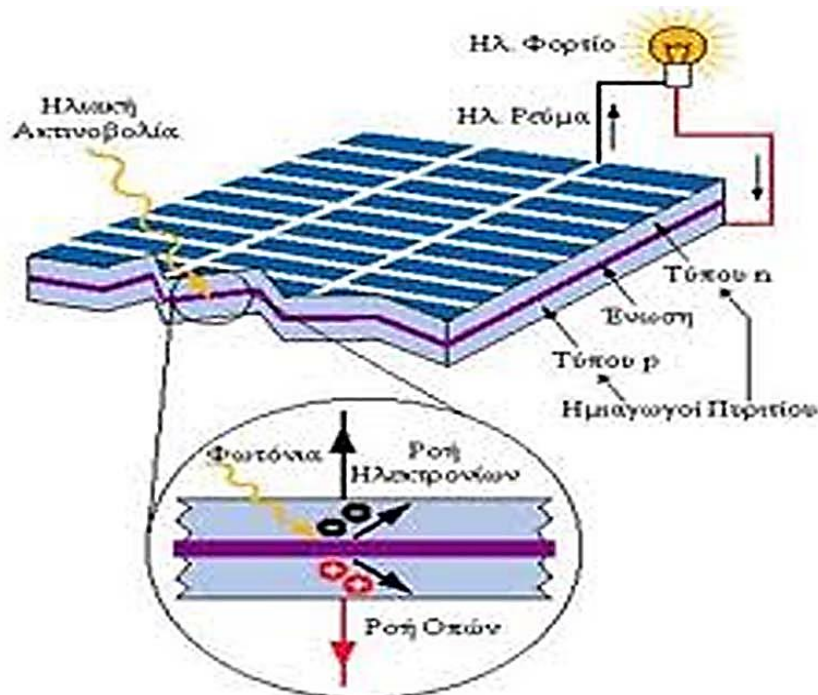
Το PV-σύστημα που είναι εγκατεστημένο στο εργοστάσιο της Ford δεν ρυπαίνει το περιβάλλον με αποβολή CO₂. Η παραγόμενη από το σύστημα ενέργεια είναι 77.6 MWh το χρόνο και προφυλάσσει το περιβάλλον από 2500 τόνους CO₂ που θα αποβάλλονταν από ένα συμβατικό εργοστάσιο παραγωγής ισόποσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια 7 χρόνων.



Εικόνα 2.6: Εγκατεστημένη ισχύς 350MWh στο εργοστάσιο της Mercedes Benz στην Νοτιοδυτική Γερμανία.

2.1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

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 απαιτείται λύση. Η ηλιοφάνεια μεταβάλλεται στην διάρκεια της ημέρας επομένως η ηλεκτρική ενέργεια από τα φ/β πλαίσια δεν είναι σταθερή. Στην εικόνα 1.9 φαίνεται σχηματικά το φ/β φαινόμενο.



Εικόνα 2.7: Το φ/β φαινόμενο σχηματικά ¹²

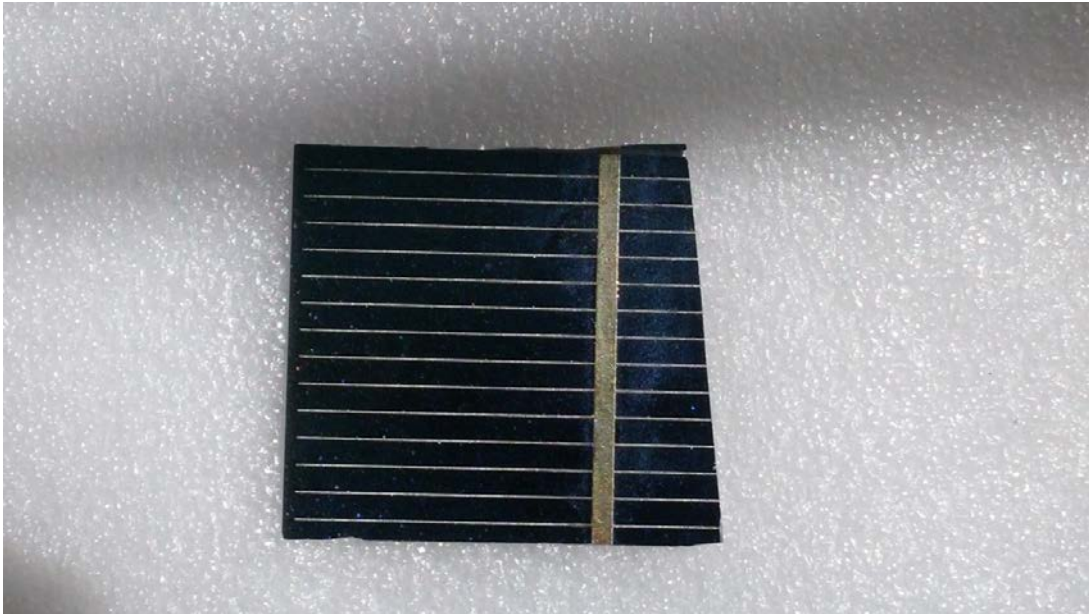
2.1.3 ΤΑ ΥΠΕΡ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ

Το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης πριν 10 χρόνια ήταν 4€/W pick με το πέρασμα των χρόνων αυτό το κόστος έχει μειωθεί κάτω από 1€/W pick. Αυτό δείχνει την έμφαση που έχει δοθεί στην ενεργειακή πολιτική με βάση τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ειδικά στα φ/β πλαίσια όπου θα πρέπει να δίνεται προσοχή στο ενεργειακό όφελος. Ένα σημαντικό κομμάτι 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 νανοσωματίδια.

Επιπλέον τα αυτόνομα συστήματα θα πρέπει να αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κάτι που αποτελεί μειονέκτημα σε σχέση με το κόστος της εγκατάστασης και της λειτουργίας της. Αλλά 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 περιοχή της Κύθνου)
- 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 συνοδικού κόστους της οικοδομής, ειδικά στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια.
- Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον κατά τη λειτουργία τους. ¹³

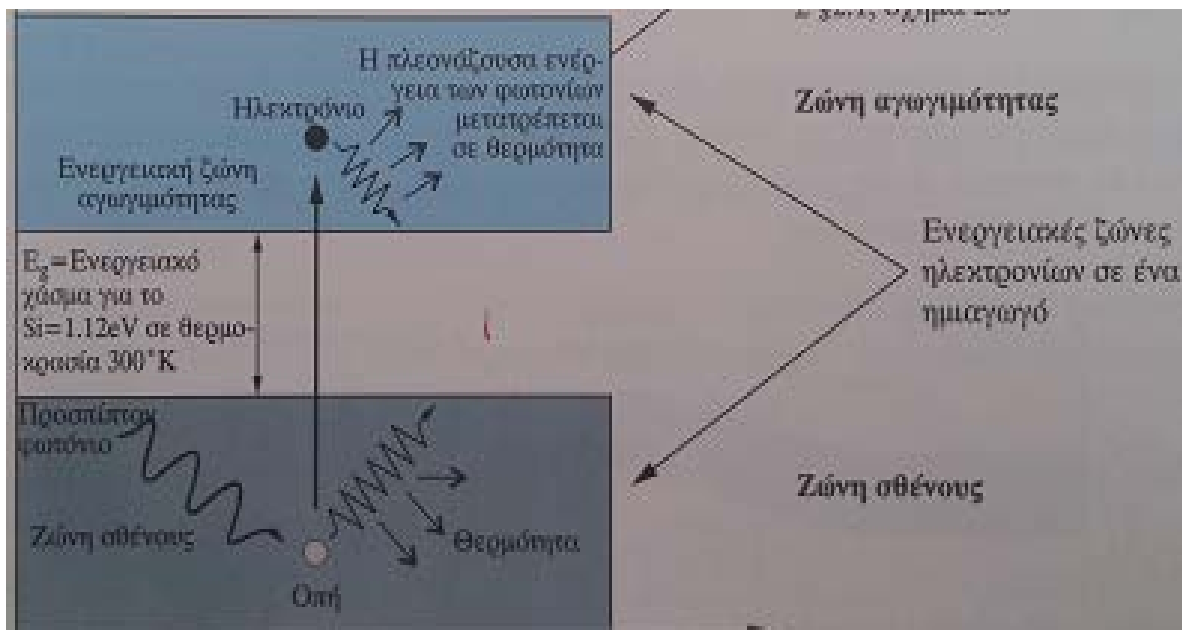


Εικόνα 2.8: φ/β στοιχείο ^{14 15}

Όμως για να προχωρήσουμε σε περαιτέρω ορισμούς και περιγραφές όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα, θα πρέπει να κάνουμε μια αναφορά σε αυτά ως ηλεκτρολογικό στοιχείο. Ένα γνωστό τέτοιο στοιχείο είναι οι ημιαγωγοί. Επίσης θα πρέπει να αναφέρουμε από τι φτιάχνονται, ποια είναι τα είδη τους και πως τα διακρίνουμε, πως λειτουργούν και που οφείλεται αυτό.

2.1.4 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΩΣ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή άτομο πυρίτιο (Si). 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.



Εικόνα 2.9: Δημιουργία ζεύγους e- και οπής από την αλληλεπίδραση φωτονίου με ηλεκτρόνιο που ευρίσκεται στην ζώνη σθένους ¹⁶

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. 17

Οι διάφορες ενεργειακές ζώνες σε ένα ημιαγωγό μπορούν να αναπαρασταθούν με διάφορα επίπεδα το καθένα πάνω από το άλλο.

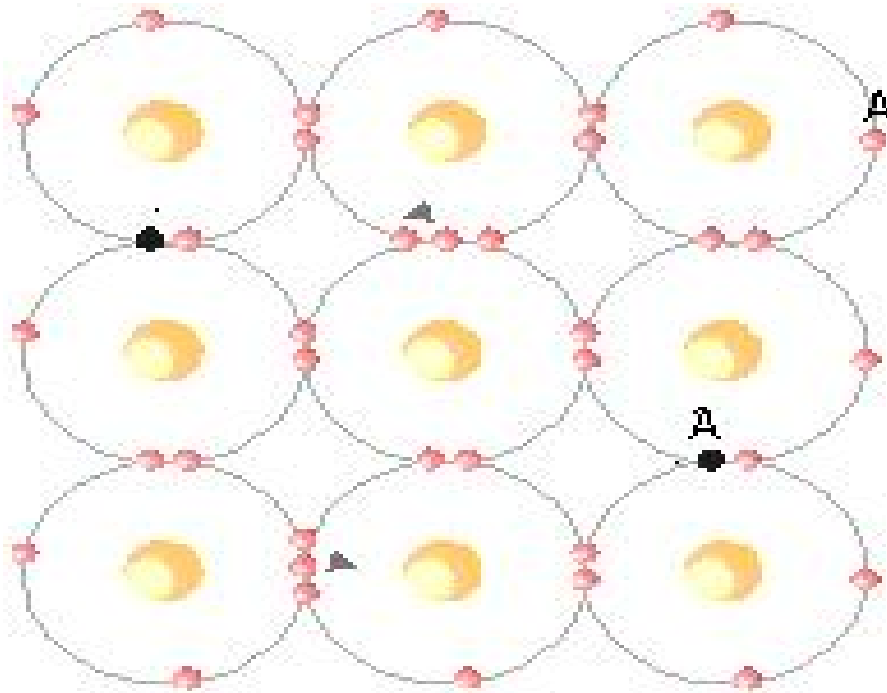
Στο κατώτερο επίπεδο βρίσκεται η ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων των ατόμων.

Στο μέσο βρίσκεται η ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων σθένους .

Τέλος, στο πάνω μέρος έχουμε την ενεργειακή ζώνη των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δηλαδή εκείνων που είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας , για αυτό τον λόγο και ονομάζεται ζώνη ηλεκτρικής αγωγιμότητας .

Η απόσταση ανάμεσα από την ζώνη σθένους και την ζώνη αγωγιμότητας, ονομάζεται ενεργειακό διάκενο ή ενεργειακό χάσμα. Στην ουσία το ενεργειακό χάσμα εκφράζει την

ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους και την μετατροπή του σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο.



Εικόνα 2.10: Μοριακή δομή ενός ημιαγωγού πρόσμιξης

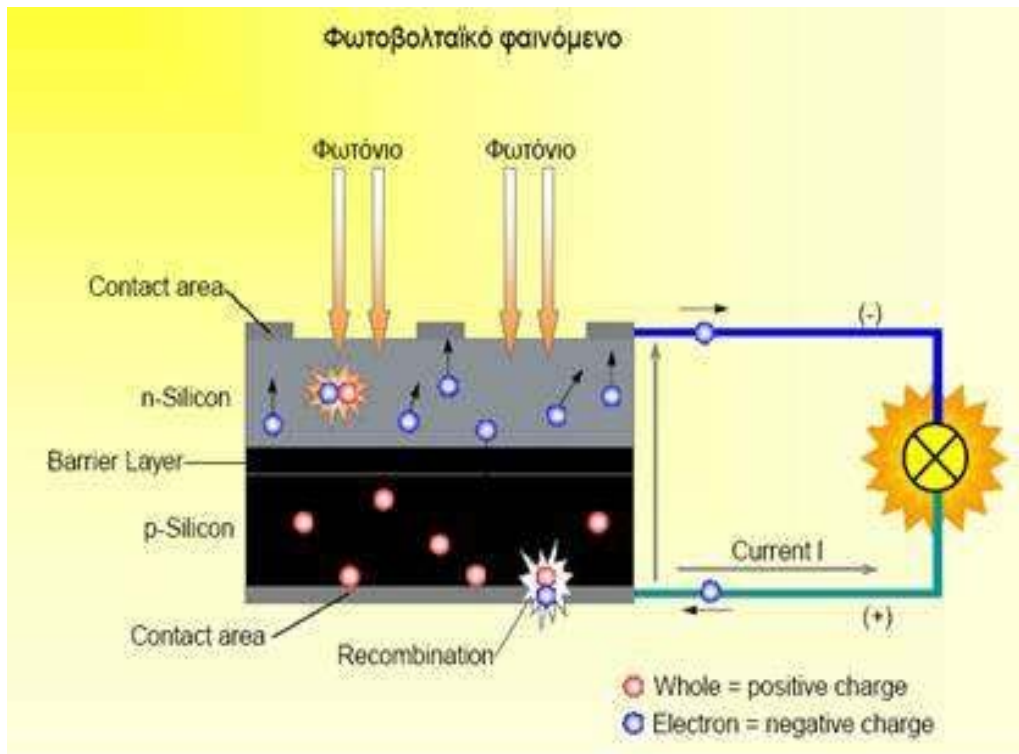
2.2 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ Φ/Β ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

2.2.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος 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.

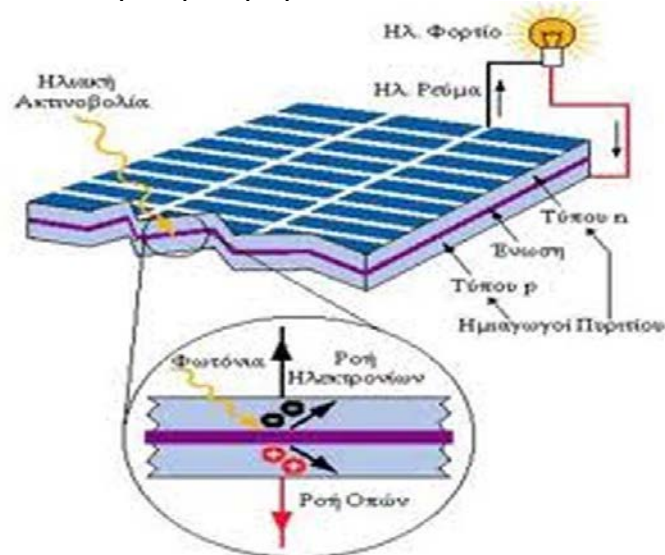
Όπως, λοιπόν τα πακέτα ενέργειας από το ηλιακό φως, προσπίπτουν πάνω στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, διεγείρουν τα ηλεκτρόνια της επαφής όπου προσπίπτει, και αυτά κερδίζοντας ενέργεια, μεταπηδούν στην δεύτερη επαφή. Η μία επαφή έχει ενεργειακό πλεόνασμα σε ηλεκτρόνια ενώ η άλλη έχει ενεργειακές οπές. Τα ηλεκτρόνια καθώς με την ενέργεια που κερδίζουν, μεταφέρονται στην άλλη επαφή, δημιουργούν κίνηση, δηλαδή διαφορά δυναμικού. Έτσι παράγεται ρεύμα και τάση τα οποία είναι ανάλογα φυσικά της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. 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).



Εικόνα 2.11: Φ/Β φαινόμενο ¹⁸

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, απλά γιατί ένα ποσό της ανακλάται στην ατμόσφαιρα.

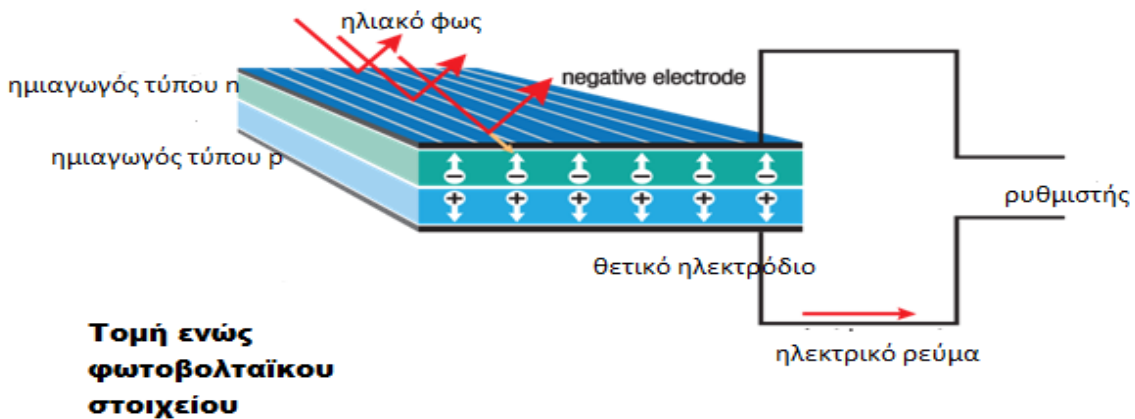


Εικόνα 1.12: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο [3]

Όπως είπαμε παραπάνω, το μέρος της ακτινοβολίας που περιέχει φωτόνια με ενέργεια ή 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.

Για να προκύψει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, απαιτείται η δημιουργία μιας διάταξης δύο φωτοαγωγίμων ημιαγωγικών υλικών σε επαφή και να βρίσκεται στην έκθεση του φωτός. Επίσης θα πρέπει να προστεθεί ότι το φως που προσπίπτει πάνω σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, δεν απορροφάται πλήρως αλλά ένα συγκεκριμένο εύρος μήκους κύματος. Το φως που απορροφάται είναι στην περιοχή από 380nm – 1200nm.



Εικόνα 2.13: Τομή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η διάταξη αυτή, η οποία αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV-cell) και για λόγους ευκολίας γράφεται φωτοβ. στοιχείο. Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται φωτορεύμα.

2.2.2 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 ασφάλι 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 ΦΒ πλαισίων έχει δοκιμαστεί αρκετά χρόνια σε διάφορες εφαρμογές με αρκετά μεγάλη επιτυχία. 19



Εικόνα 2.14: Τμήματα μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών στοιχείων, διακρίνεται το επάργυρο μέρος busbar όπου αυτό είναι ο αγωγός όπου τα ηλεκτρόνια οδηγούνται στην έξοδο και επίσης διακρίνονται και τα fingers 20

2.2.2.1 ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ

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.
21



Εικόνα 2.15: Μονοκρυσταλλικό στοιχείο μαύρου χρώματος 22

2.2.2.2 ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ

Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται 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. 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.²³



Εικόνα 2.16: Πολυκρυσταλλικό στοιχείο 24

2.2.2.3 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, $\alpha\text{-SiGe}$ (~1,4 eV), $\alpha\text{-SiC}$ (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.²⁵



Εικόνα 2.17: Πάνελ λεπτού υμενίου²⁶

2.2.2.4 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. ²⁷



Εικόνα 2.18: Πάνελ άμορφου πυριτίου ²⁸

2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ

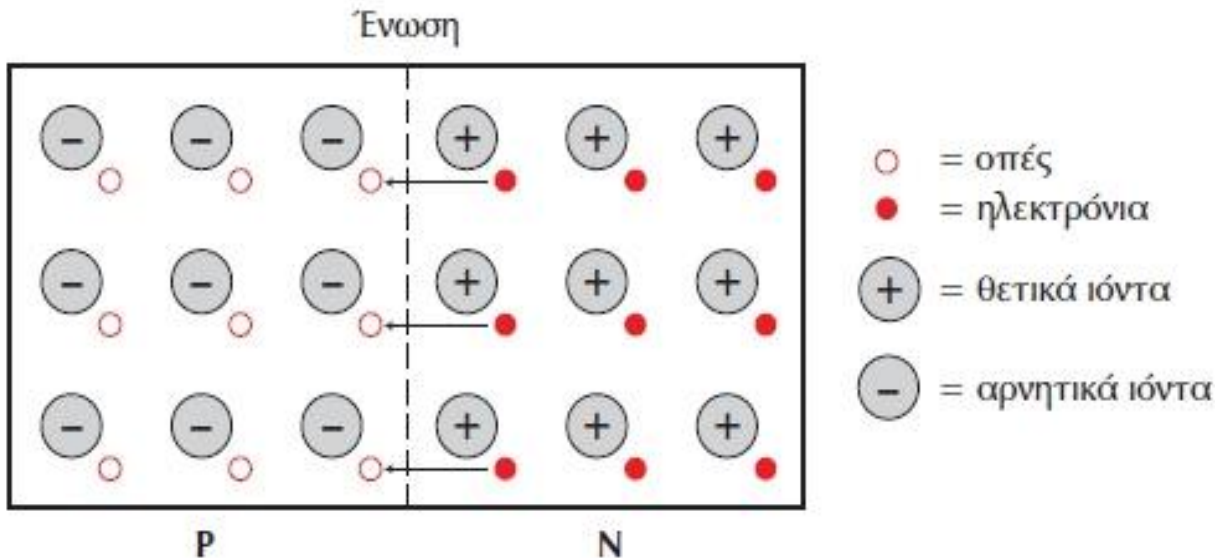
2.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών δημιουργούνται σε όλη την επιφάνεια των επαφών.

- Πρώτον, με την επίδραση φωτισμού, κατάλληλου εύρους μήκους κύματος.
- 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 (περιοχή απογύμνωσης), αφετέρου, έξω απ' αυτήν αλλά πολύ κοντά στα σύνορα των περιοχών τύπου p και n αντίστοιχα.

Πολλοί από τους φορείς αυτούς έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να φτάσουν στις περιοχές όπου υπερτερούν οι όμοιοι προς αυτούς φορείς (φορείς πλειονότητας). Εκεί μπορούν να επιζήσουν, αφού η πιθανότητα να συναντήσουν φορέα μειονότητας και να επανασυνδεθούν, είναι πολύ μικρή. Οι υπόλοιποι θα συναντήσουν, αντίθετο φορέα με τον οποίο θα επανασυνδεθούν και άρα δε συμβάλουν τελικά στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος, μέσα στη ημιαγωγική διάταξη. Η παρουσία πλεγματικών ατελειών λειτουργεί αρνητικά, αυξάνοντας την πιθανότητα επανασύνδεσης ηλεκτρονίων - οπών και κατά συνέπεια, μειώνοντας το χρόνο ζωής των ηλεκτρικών φορέων²⁹.



Εικόνα 2.19: Επαφή p-n σε σχηματική αναπαράσταση

2.3.1.1 ΦΩΤΟΡΕΥΜΑ

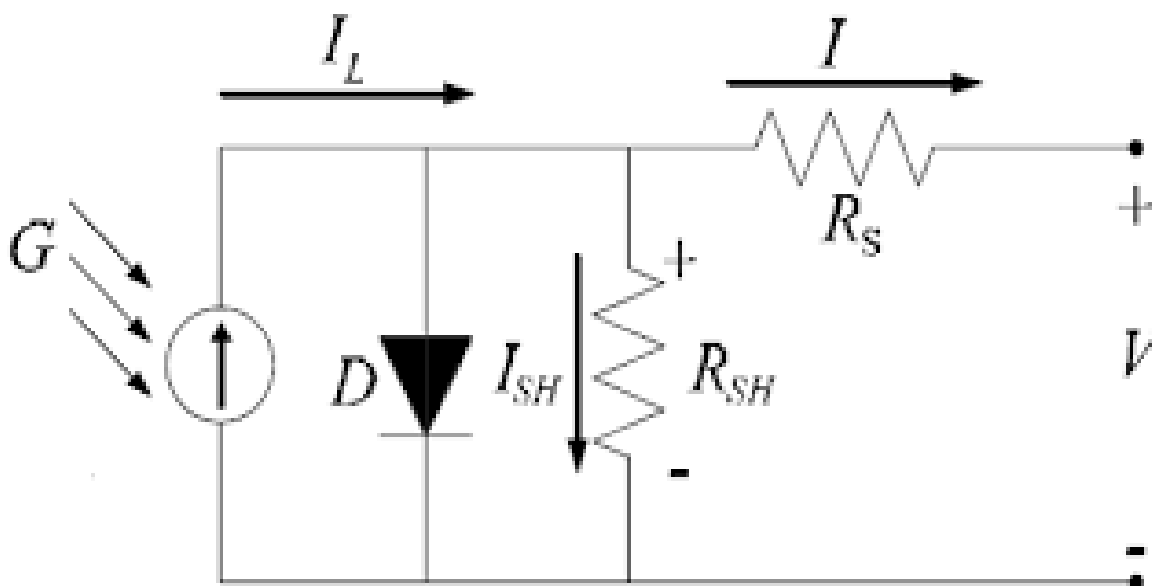
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου προκαλεί την διέγερσή του με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το φωτορεύμα είναι ευθέως ανάλογο της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας $P_{\eta\lambda.\epsilon}$ (W/m^2), που προσπίπτει στο Φ/Β στοιχείο και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών.

2.3.1.2 ΕΙΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Με σκοπό την μελέτη των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών 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 φωτορεύμα, που ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} του Φ/Β στοιχείου (short-circuit current). 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 $R_{sh} > 500\Omega$.³⁰



Εικόνα 2.20: Ηλεκτρικό ανάλογο ενός φ/β στοιχείου. Διακρίνουμε την δίοδο και το ρεύμα I_d .

2.3.2 ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

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:

- α. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουσας στα PV-πλαίσια: 103W/m²
- β. Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού πλαισίου, T_c=250C
- γ. 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:

- α. Ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας 800 W/m².
- β. Θερμοκρασία αέρα (περιβάλλοντος), T_a=20 oC.
- γ. Ταχύτητα ανέμου 1 m/sec.
- δ. Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι.
- ε. 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 oC πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.³¹

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	/

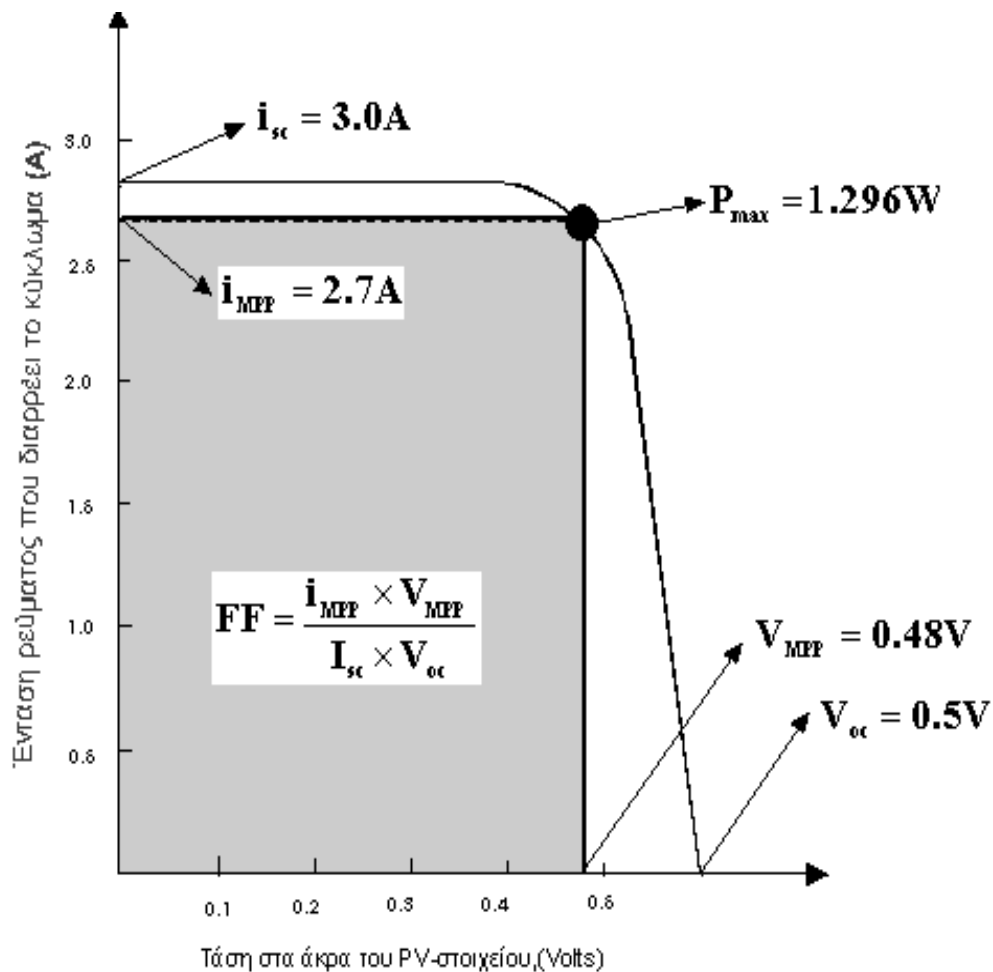
Εικόνα 2.21: Σύγκριση μεθόδων πιστοποίησης φ/β στοιχείων³²

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.

2.3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ I-V

2.3.3.1 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} .



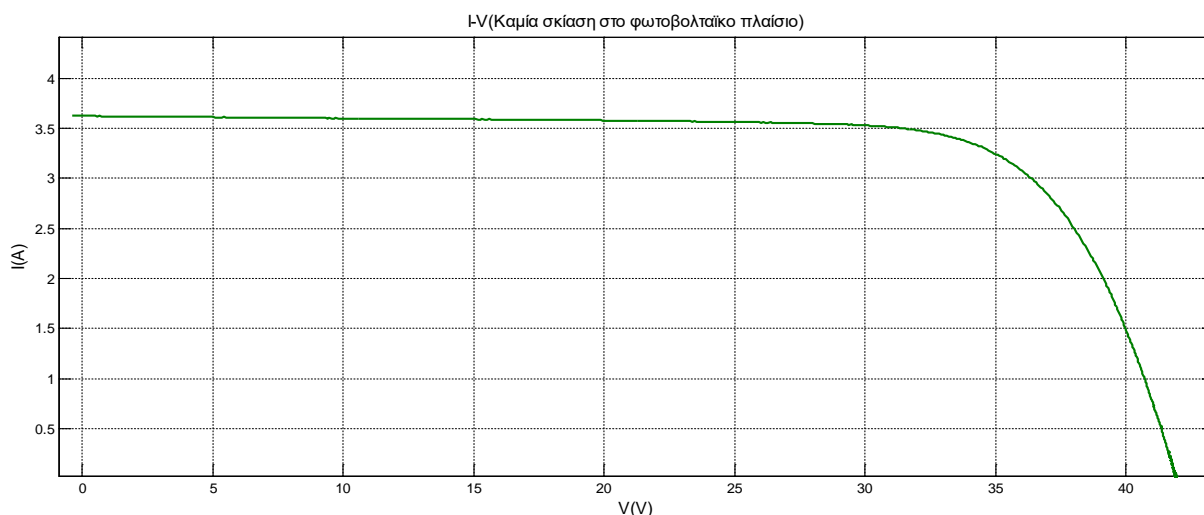
Εικόνα 2.22: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός φ/β στοιχείου ³³

Οι μεταβολές έντασης και τάσεως φαίνονται στην εικόνα 2.6, 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_{mp} για ένα ορισμένο ζεύγος τιμών έντασης I_{mp} και τάσεως V_{mp} . 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.³⁴

2.3.3.2 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 2.23: Χαρακτηριστική καμπύλη $I-V$ ενός ϕ/β στοιχείου

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.

2.3.3.3 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} .

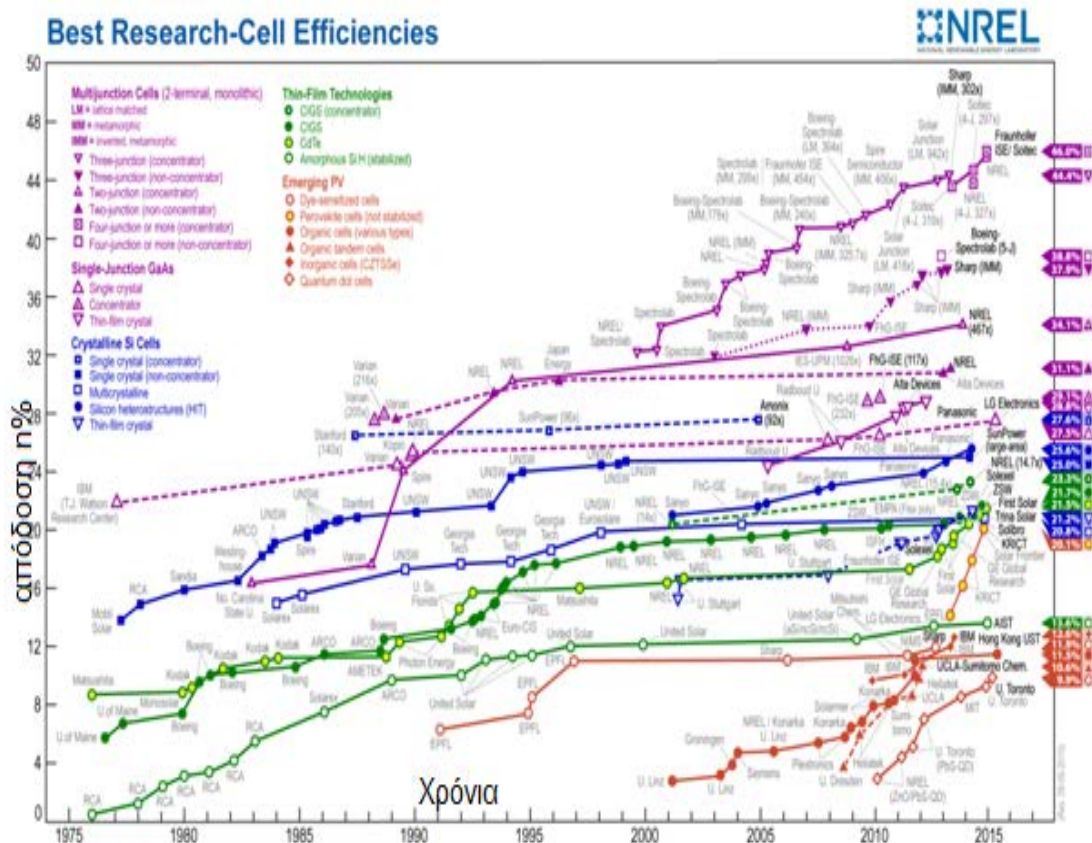
$$FF = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

Η τιμή αναφοράς του δίδεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) για τις οποίες θα μιλήσουμε σε επόμενη παράγραφο. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του FF, τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος, στην περιοχή τάσεων 0-V_{oc}. Σε αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά, αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης.³⁵

2.3.3.4 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 ανοικτού 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 επιφάνειας. Δηλαδή, το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται απόδοση η του Φ/Β στοιχείου.

$$\eta_c = \frac{P_{mpp}}{P_{in}} = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{I_T \times A}$$



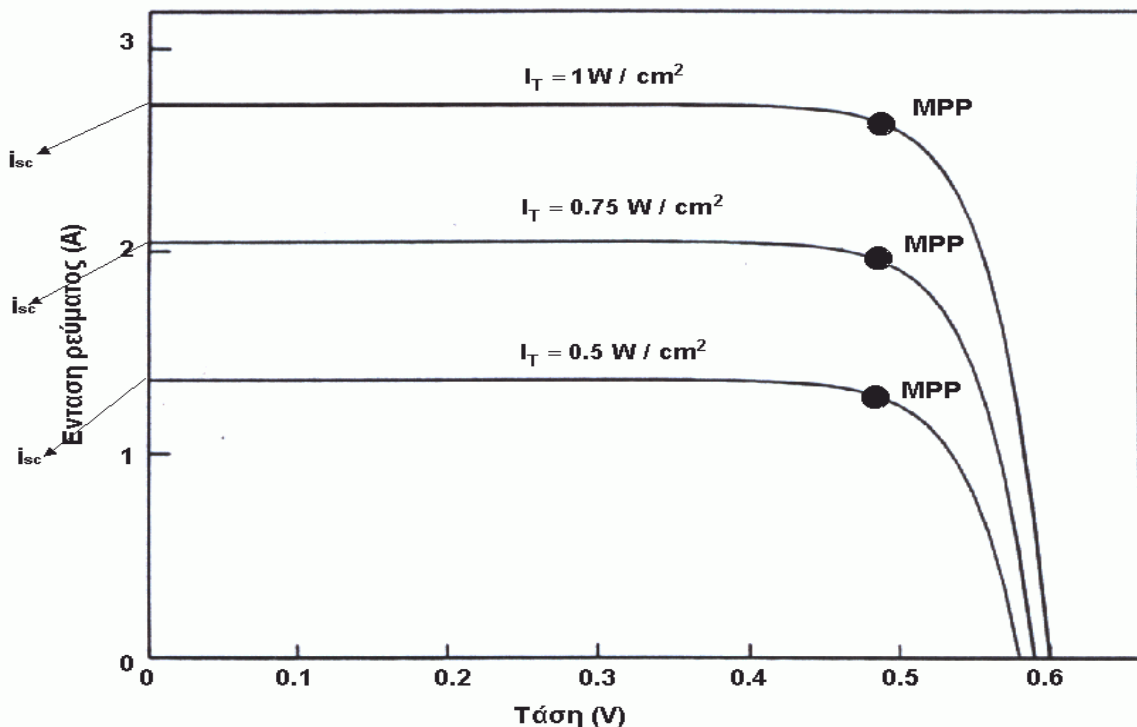
Εικόνα 2.24: Διάγραμμα μέγιστου βαθμού απόδοσης σε όλα τα φωτοβολταϊκά

2.3.3.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΙΣΧΥ ΕΝΟΣ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

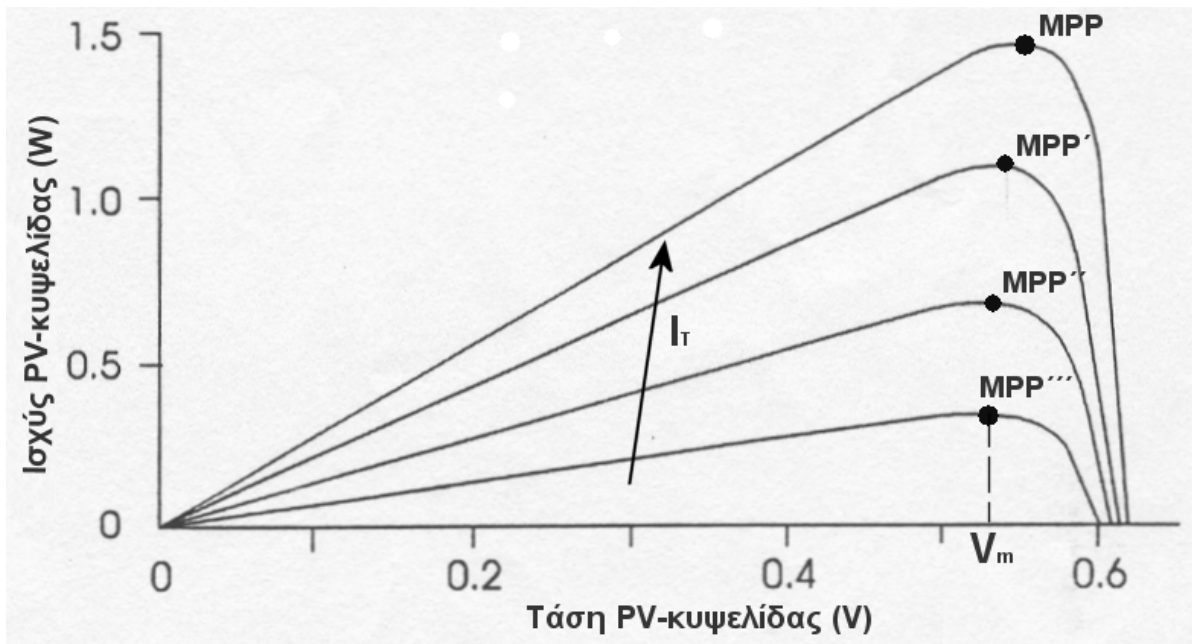
Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση και μάλιστα οι δύο πιο σημαντικοί είναι η ακτινοβολία και η θερμοκρασία. Ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ένας είναι η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

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.

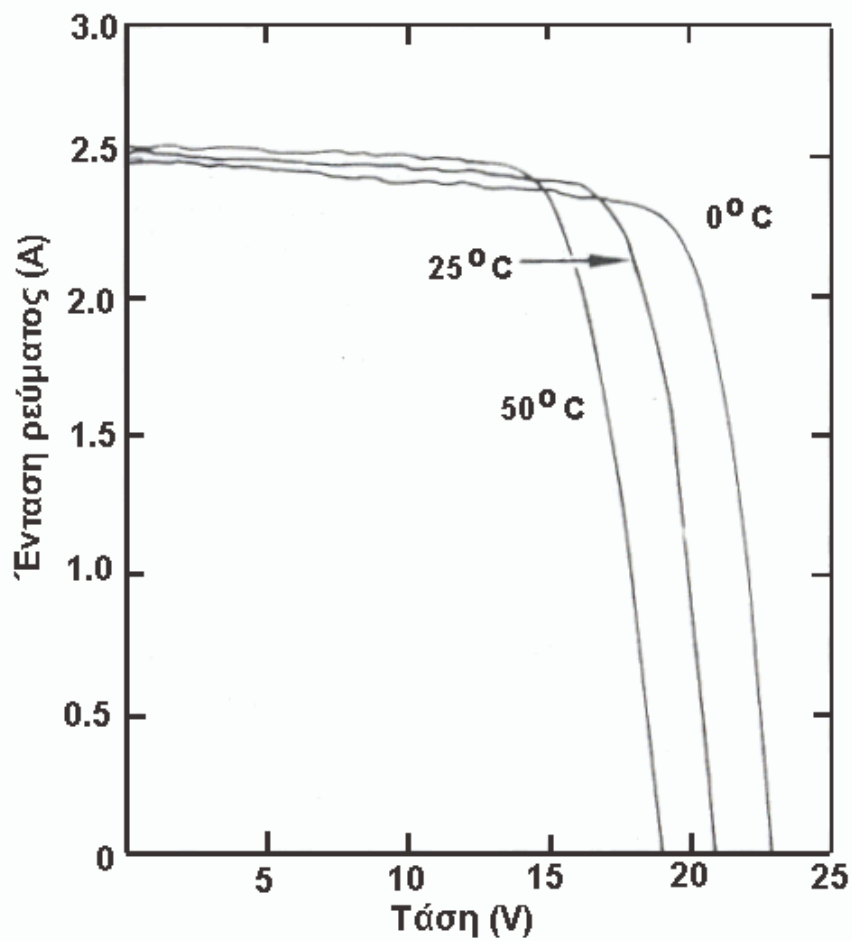
Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση είναι η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο στοιχείο και αυτό προκαλεί μικρή άνοδο του I_{sc} , και μεγάλη κάθοδο του V_{oc} του Φ/Β. Η τάση ανοιχτού κυκλώματος εξαρτάται 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.



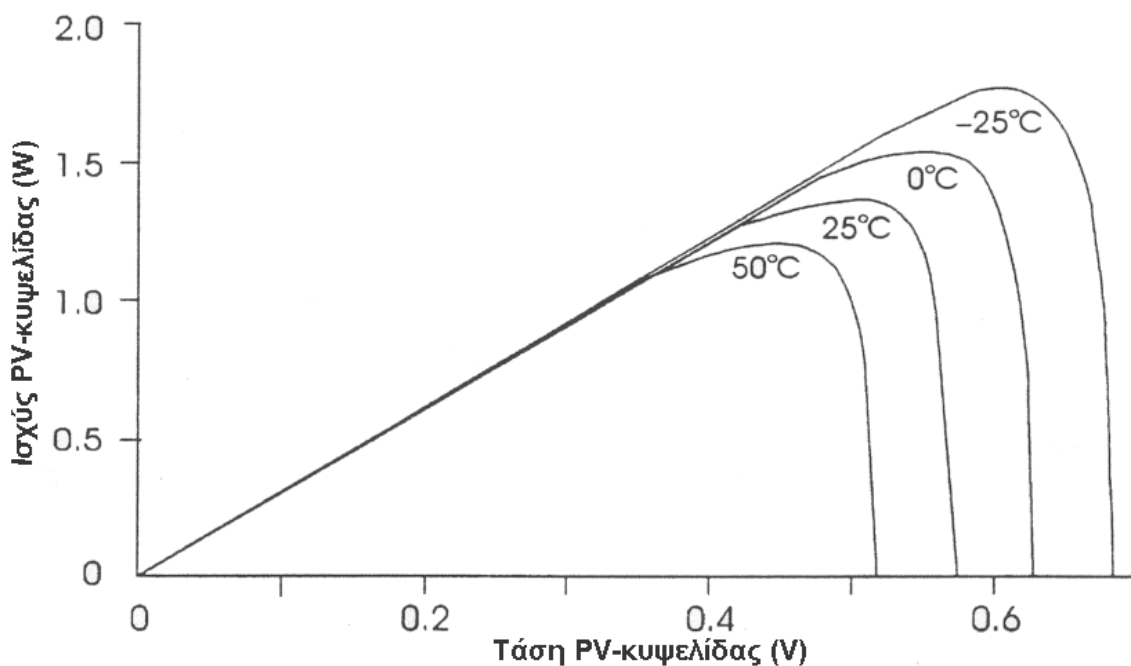
Εικόνα 2.25: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός Φ/β στοιχείου ρεύματος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ³⁶



Εικόνα 2.26: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ισχύος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ³⁷



Εικόνα 2.27: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ρεύματος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική θερμοκρασία ³⁸



Εικόνα 2.28: Χαρακτηριστική καμπύλη ενός φ/β στοιχείου ισχύος-τάσης επηρεασμένη από την διαφορετική θερμοκρασία ³⁹

2.4 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

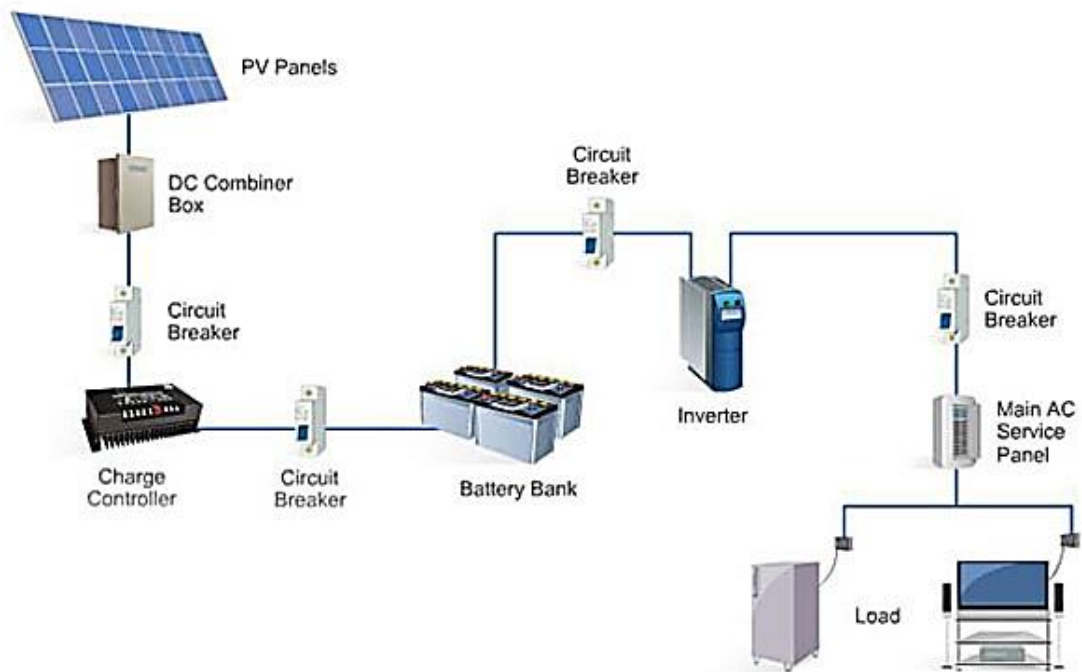
2.4.1 ΑΥΤΟΝΟΜΑ

Σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμεύουν τα απομονωμένα Φ/Β συστήματα, ή αλλιώς off-grid systems. Απομονωμένα είναι τα συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Τροφοδοτούν μόνο τις εκάστοτε ανάγκες για τις οποίες και εγκαταστάθηκαν. Δεν δίνουν ρεύμα στο δίκτυο.

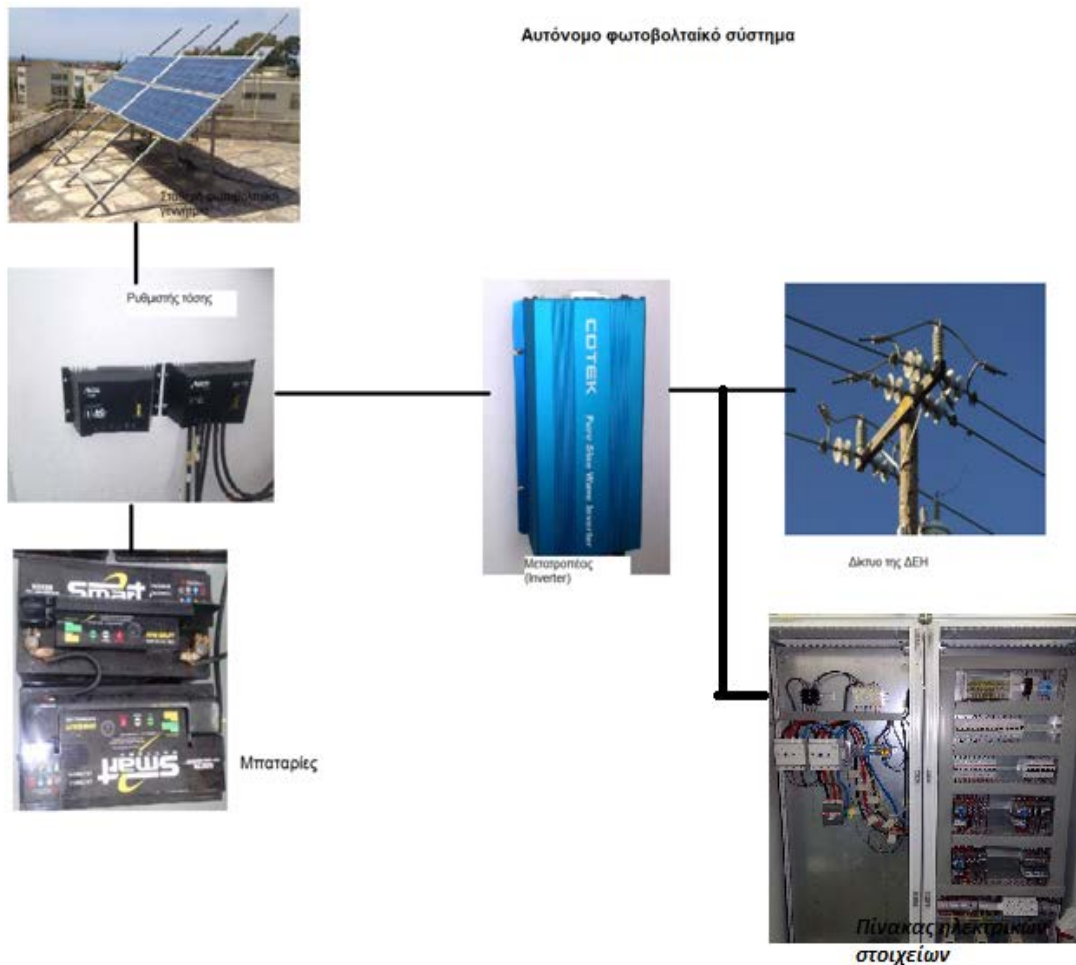
Τα απομονωμένα διακρίνονται σε αυτόνομα και υβριδικά. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να καλύπτουν αποκλειστικά τις ηλεκτρικές ενεργειακές ανάγκες μιας οικείας ή μιας φάρμας κ.α. Το ρεύμα που παράγουν μπορεί να είναι είτε εναλλασσόμενο είτε συνεχές. Επίσης, τα αυτόνομα συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο επιμέρους κατηγορίες : Τα αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση ενέργειας και τα αυτόνομα συστήματα χωρίς αποθήκευση ενέργειας.

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 καλλιεργειών όπου ορισμένα δέντρα δεν χρειάζονται μεγάλες ποσότητες νερού.



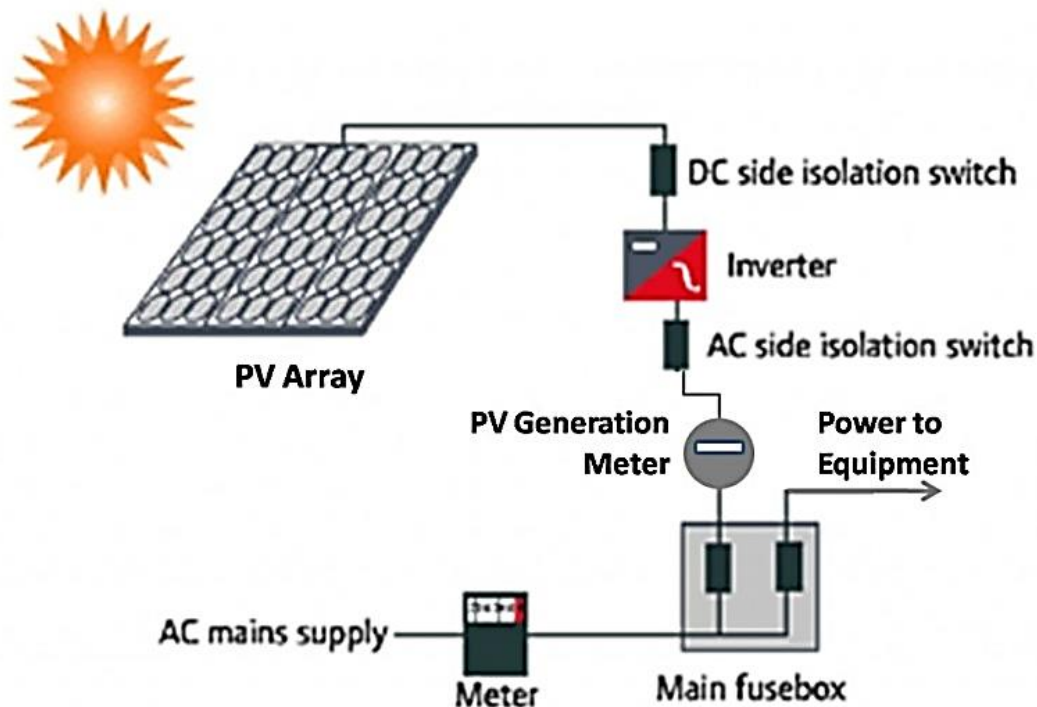
Εικόνα 2.29: Αυτόνομο Φ/Β Σύστημα



Εικόνα 2.30: Αυτόνομο και διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στο εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

2.4.2 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. 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. ⁴⁰



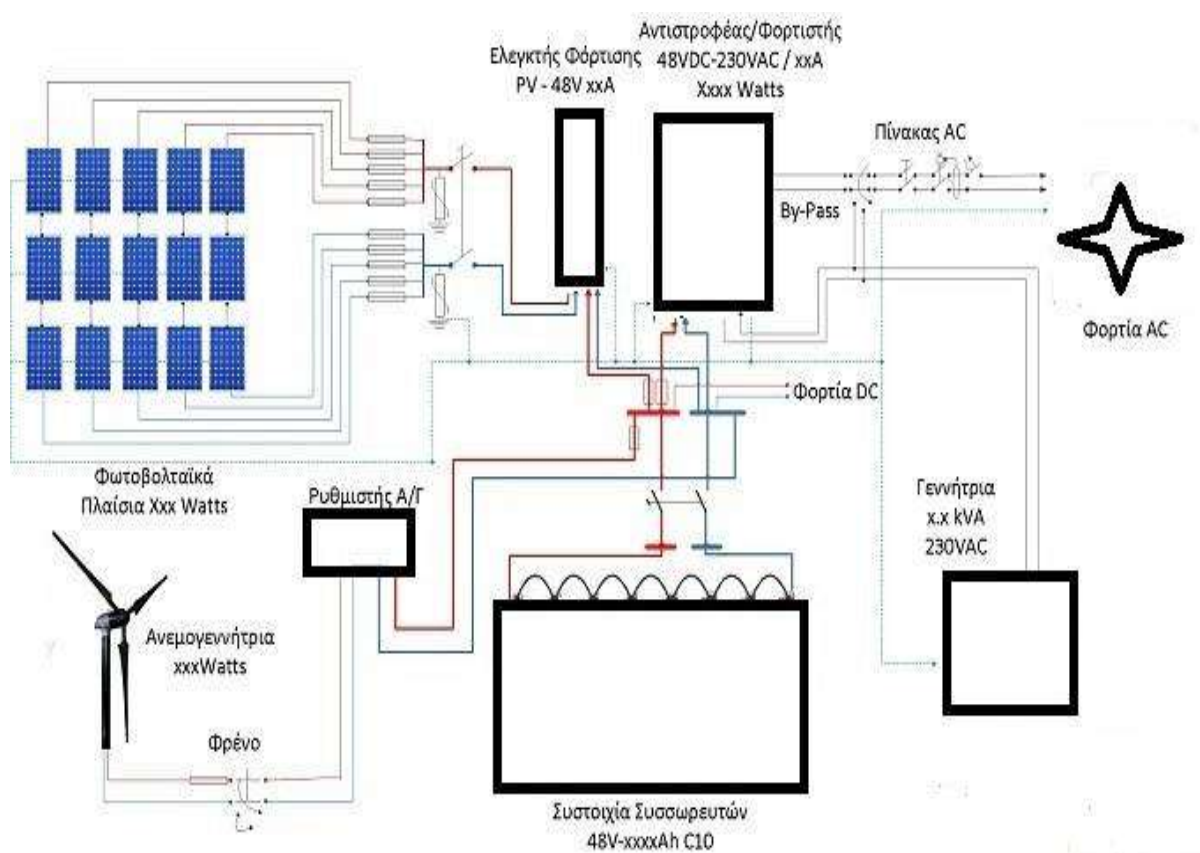
Εικόνα 2.31: Διασυνδεδεμένο Φ/Β Σύστημα

2.4.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ

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



Εικόνα 2.32: Πάνελ σε διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα σε πάρκο ⁴¹



Εικόνα 2.33: Πάνελ συνδεδεμένο υβριδικά μαζί με ανεμογεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

- 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 ⁴²

2.5 Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

2.5.1 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων ή και όλης της εγκατάστασης, αποτελεί ίσως τον πιο σημαντικό ρόλο και 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. 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. 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 πυξίδα που διαθέτουν μηχανικοί.

Όσον αφορά την γωνία κλίσης του πάνελ 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, $\delta = -23,45$ και $\delta = 23,45$.

Παράδειγμα, εάν χρησιμοποιήσουμε τον τύπο $\beta = \varphi - \delta$ για να βρούμε την επιθυμητή κλίση βλέπουμε ότι στα ηλιοστάσια έχουμε για φ έστω 40, κλίση $\beta = 16,50$ για 22η Ιουνίου και $\beta = 63,450$ 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 $\beta = 30^\circ$.

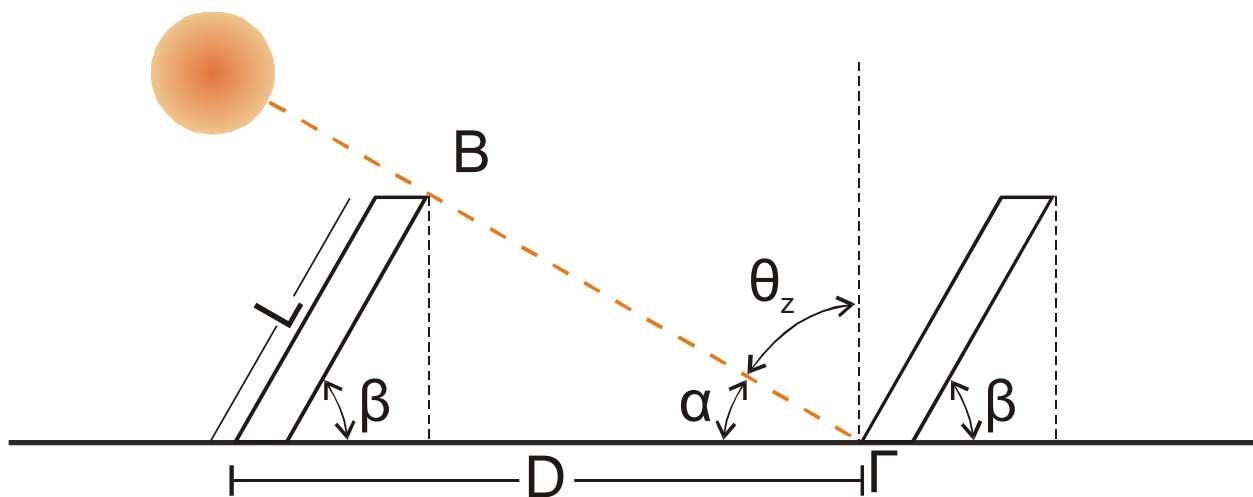


Εικόνα 2.34: Πάνελ προσανατολισμένο νότια στην οροφή του εργαστηρίου ΑΠΕ

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

2.5.2 ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

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 δίοδοι παράκαμψης σε κάθε ΦΒ πλαίσιο.



Εικόνα 2.35: Πάνελ στοιχισμένα ώστε να μην σκιάζονται μεταξύ τους – ελάχιστη απόσταση ⁴³

Άρα, απαιτείται ο προσεκτικός σχεδιασμός της χωροθέτησης των συστοιχιών, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το Φ/B συγκρότημα, για όλο το έτος ενώ ταυτόχρονα το σύνολο των συστοιχιών να καταλαμβάνει, κατά το δυνατόν, μικρότερη έκταση. ⁴⁴

Για να το επιτύχουμε αυτό μπορούμε να κάνουμε την παρακάτω διαδικασία ⁴⁵

Θεωρούμε την σχέση: $\cos\theta_z = \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta$

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' όψη 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:

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

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

$$\text{ή} \quad D = L \times \frac{\sin(\beta + \alpha)}{\sin\alpha} \quad 46$$

Η τοποθέτηση των **φωβολαϊκών** πλαισίων ή και όλης της εγκατάστασης, αποτελεί ίσως τον πιο βασικό παράγοντα για την απόδοσή τους και την σωστή λειτουργία του συστήματος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα αποδοτικό **φωβολαϊκό** σύστημα πρέπει να είναι προσανατολισμένο στον νότο καθώς έτσι, λαμβάνει την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Η σωστή τοποθέτηση των **φωβολαϊκών** πλαισίων σε μια εγκατάσταση παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος, στην βιωσιμότητά του και την λειτουργία του.

2.5.3 ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

2.5.3.1 ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΛΙΣΗ

Η απουσία κινητών μερών κατά την στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε κτίρια.



Εικόνα 2.36: Φ/Β πλαίσια στην στέγη του εργαστηρίου των ΑΠΕ στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Η πιο απλή περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών, δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για τη συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Όταν η γωνία κλίσης ισούται ακριβώς με το ϕ του τόπου, οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο (το μεσημέρι των ισημεριών).⁴⁷

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ).



Εικόνα 2.37: Φωτοβολταϊκή γεννήτρια με σταθερή κλίση (Fixed) στο εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού. Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πάνελ, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση. ⁴⁸



Εικόνα 2.38: Πάνελ στοιχισμένα σε σταθερή βάση για παραγωγή ρεύματος σε οικία στην περιοχή της Πάτρας



Εικόνα 2.39: Φ/β γεννήτρια σε στέγη εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

2.5.3.2 ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρεται, ότι σε μια εγκατάσταση υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζεται εποχιακά η κλίση του συστήματος. Συνήθως επιλέγονται 3 διαβαθμίσεις. Μία για καλή λειτουργία το χειμώνα, μία για το καλοκαίρι και μία για τις ισημερίες. Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν άλλη μέθοδο. Υπάρχουν βάσεις οι οποίες μπορεί να ρυθμίζονται χειροκίνητα κάθε μήνα (για καλύτερη απόδοση) ή δύο φορές το χρόνο, συνήθως Σεπτέμβριο/ Οκτώβριο και Μάρτιο/Απρίλιο.



Εικόνα 2.40: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με συστήματα tracking

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές, ή τράκερ (Tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα παρέχοντας ωστόσο αυξημένες επιδόσεις (kWh/kW_p), κατά μέσο όρο της τάξης του 30%.



Εικόνα 2.41: Διαξονική κινητή βάση παρακολουθήσεις του ηλιακού δίσκου, εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

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.



Εικόνα 2.42: Φ/β πλαίσιο σε τράκερ ενός άξονα (κτίριο ΑΠΕ στο ΤΕΙ δυτικής Ελλάδος)

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 ήλεκτρο-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.⁴⁹



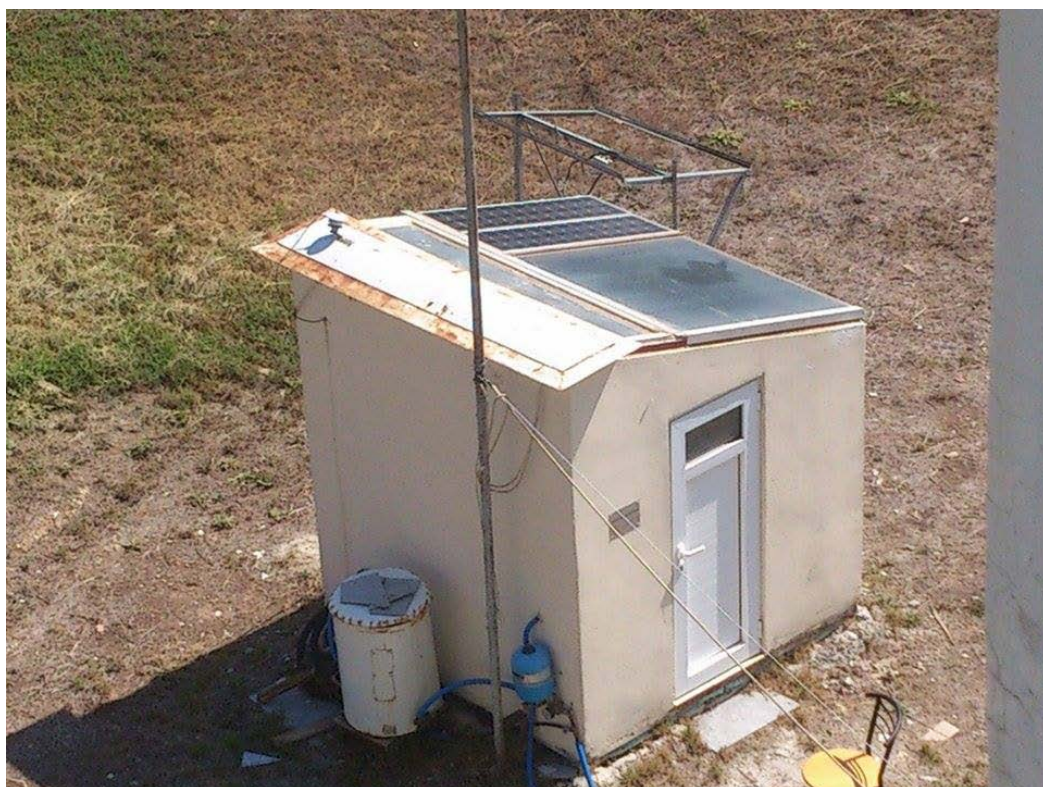
Εικόνα 2.43: Φ/Β Σύστημα σε τράκερ

2.5.3.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ένα Φ/Β σύστημα είναι ενσωματωμένο σε κτίσμα, 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.



Εικόνα 2.44: Ενσωματωμένο σε κτίριο Φ/Β Σύστημα



Εικόνα 2.45: Πάνελ σε αυτόνομο φ/β σύστημα σε στέγη του οικίσκου δοκιμών στο εργαστήριο ΑΠΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

3. ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως, αναφέραμε και παραπάνω, η ηλιακή ενέργεια είναι πρακτικά μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, την οποία δεν εκμεταλλευόμαστε ακόμα στο βαθμό που θα μπορούσαμε. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Είναι σειρά να αναφέρουμε τι ακριβώς είναι τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, ποια είναι, σε ποιες κατηγορίες ανήκουν και ποιες είναι οι εφαρμογές τους. Με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούμε να έχουμε από την ηλιακή ενέργεια, θέρμανση χώρου το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι. Φυσικά χωρίς να εξαρτάται το σύστημα από άλλη συμβατική πηγή ενέργειας εκτός από περιόδους που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια συνεχόμενα για μέρες. Εκεί, μόνο σε αυτή την περίπτωση και ειδικά αν στην κατοικία αυτή υπάρχουν μικρά παιδιά ή ηλικιωμένοι, πάντα έχουμε σαν εφεδρεία μια γεννήτρια πετρελαίου και κάποιον άλλο επιθυμητό τρόπο θέρμανσης, όπως για παράδειγμα μία σόμπα, ή κάτι άλλο που μπορούμε να προμηθευτούμε εύκολα ανά πάσα ώρα και στιγμή.



Εικόνα 3.1: Ηλιακοί συλλέκτες για ξενοδοχειακή μονάδα στην Λισαβόνα

Στην ευρωπαϊκή αγορά έχει ήδη εισχωρήσει ο ηλιακός κλιματισμός, δηλαδή η χρήση της ηλιακής ενέργειας, όχι μόνο για το συνδυασμό παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και

θέρμανσης χώρων, αλλά και ο κλιματισμός τους κατά τη θερινή περίοδο. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες, θεωρείται τεχνικά και οικονομικά αποδοτική, δεδομένων των αρκετά υψηλών απαιτήσεων για κλιματισμό, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονα υψηλή, δωρεάν ηλιακή ενέργεια.

Τέτοιες εγκαταστάσεις επιδρούν θετικά στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας μας, καθώς η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι από 90% - 97% χαμηλότερη ενός συμβατικού κλιματιστικού συστήματος.⁵⁰

Η διάδοση των ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα ξεκίνησε το 1974. Η χώρα μας είναι μέσα στη ομάδα που προηγείται τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα. Στα Ελληνικά προϊόντα πιστοποιείται η αξιοπιστία τους τόσο από τα αποτελέσματα δοκιμών κατά EN όσο και από τα πιστοποιητικά κατά SolarKeymark που διαθέτουν. Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν 2,8 GWh εγκατεστημένης ισχύος. Σε περισσότερα συστήματα είναι ηλιακοί θερμοσίφωνες που αποτρέπουν την εκπομπή 2 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα κάθε χρόνο.

Η βιομηχανία του κλάδου έχει ετήσιο κύκλο εργασιών της τάξης των 300 εκατομμυρίων ευρώ και εξασφαλίζει 3500 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης. Σήμερα, τα θερμικά ηλιακά εξασφαλίζουν ήδη 40.000 θέσεις εργασίας πλήρους απασχόλησης στην Ευρώπη (περίπου 1 θέση εργασίας ανά 80 kWh νέας εγκατεστημένης ισχύος). Οι Ευρωπαίοι κατασκευαστές προηγούνται καθαρά στο τομέα της τεχνολογίας των θερμικών ηλιακών. Οι βιομηχανίες των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προηγούνται ήδη στον τομέα ανάπτυξης νέων θέσεων εργασίας. Οι συνολικές πωλήσεις της Ευρωπαϊκής Βιομηχανίας ηλιακών ξεπέρασε πρόσφατα τα 3 δισεκατομμύρια Ευρώ.⁵¹



Εικόνα 3.2: Ηλιακοί συλλέκτες συνδεδεμένοι σε οροφή συγκροτήματος γραφείων

3.2 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

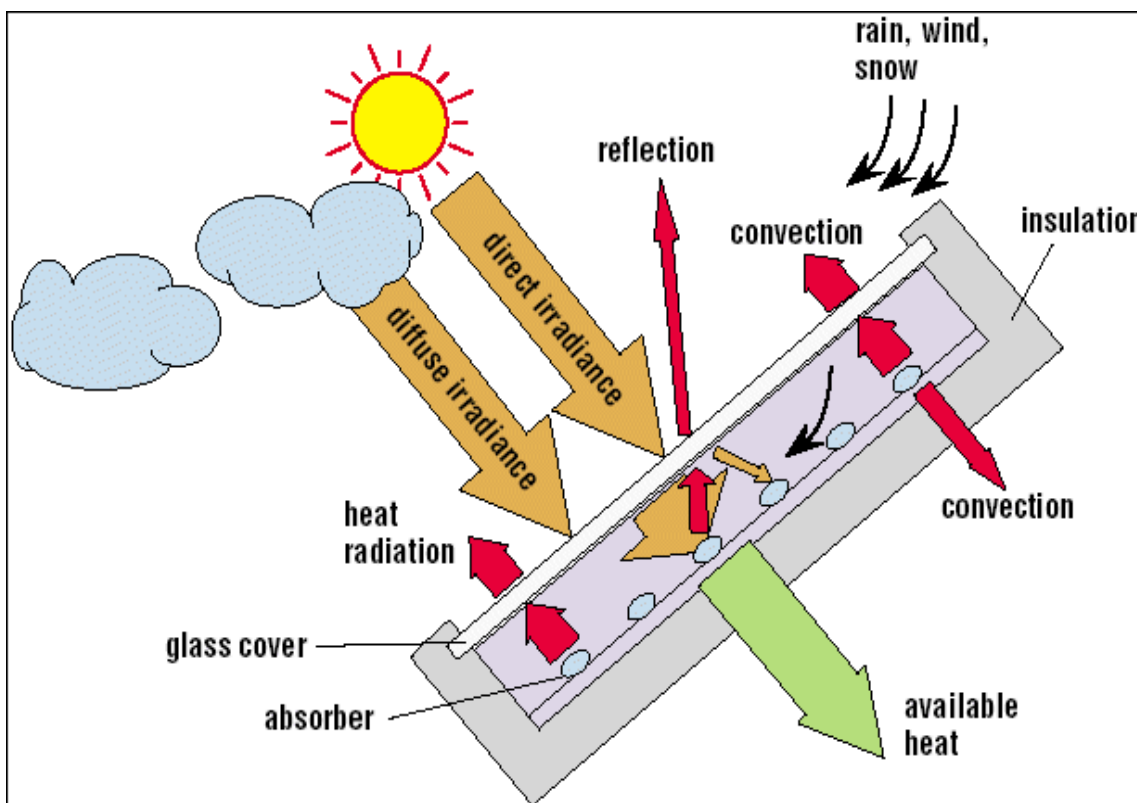
3.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή ενός κτιρίου με νότιο προσανατολισμό και κλίση ανάλογη του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής όπου γίνεται η εγκατάσταση και ανάλογη της εποχής που χρειαζόμαστε περισσότερο την ενέργεια, ώστε να στην επιφάνεια του συλλέκτη να προσπίπτει όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια.

Όπως και στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, έτσι και οι ηλιακοί συλλέκτες, μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε συστήματα παρακολούθησης του ήλιου. Αυτό έχει ήδη εφαρμοσθεί αλλά σε μεγάλα ηλιακά πάρκα όπου έχουν φτιαχτεί καθαρά για παραγωγή ρεύματος ή συμπαραγωγή ρεύματος θερμότητας. Η ηλιακή ακτινοβολία που είναι κατάλληλη για θερμικές εφαρμογές ευρίσκεται στην περιοχή 380nm - 3000nm.

Τα ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κλπ.

Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες.⁵²



Εικόνα 3.3: Αρχή λειτουργίας ηλιακού συλλέκτη

Οι συλλέκτες αυτοί περιλαμβάνουν μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό, το οποίο παγιδεύει τη θερμότητα. Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει τη θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το πιο απλό και διαδεδομένο ενεργητικό ηλιακό σύστημα της εποχής μας είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.⁵³

Οι χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας συλλέκτες είναι επίπεδες πλάκες που παγιδεύουν την ηλιακή ενέργεια, χρησιμοποιώντας το «φαινόμενο του θερμοκηπίου», για να ζεστάνουν νερό μέσα στο πλαίσιο. Αυτά τα συστήματα δεν παράγουν ηλεκτρισμό αλλά ζεστό νερό για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

Αντίθετα, οι υψηλής θερμοκρασίας συλλέκτες συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με κάτοπτρα ή φακούς σε ένα ντεπόζιτο νερού μετατρέποντάς το σε ατμό, ο οποίος κινεί ατμογεννήτρια η οποία στη συνέχεια παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για να λειτουργήσουν αποδοτικά, τα ηλιοθερμικά συστήματα, απαιτείται άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες ή τα κάτοπτρα. Εάν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια η απόδοσή τους μειώνεται αισθητά. Αυτή είναι και μία βασική διαφορά των ηλιοθερμικών συστημάτων σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν χρειάζονται ηλιοφάνεια για να παράγουν ηλεκτρισμό.

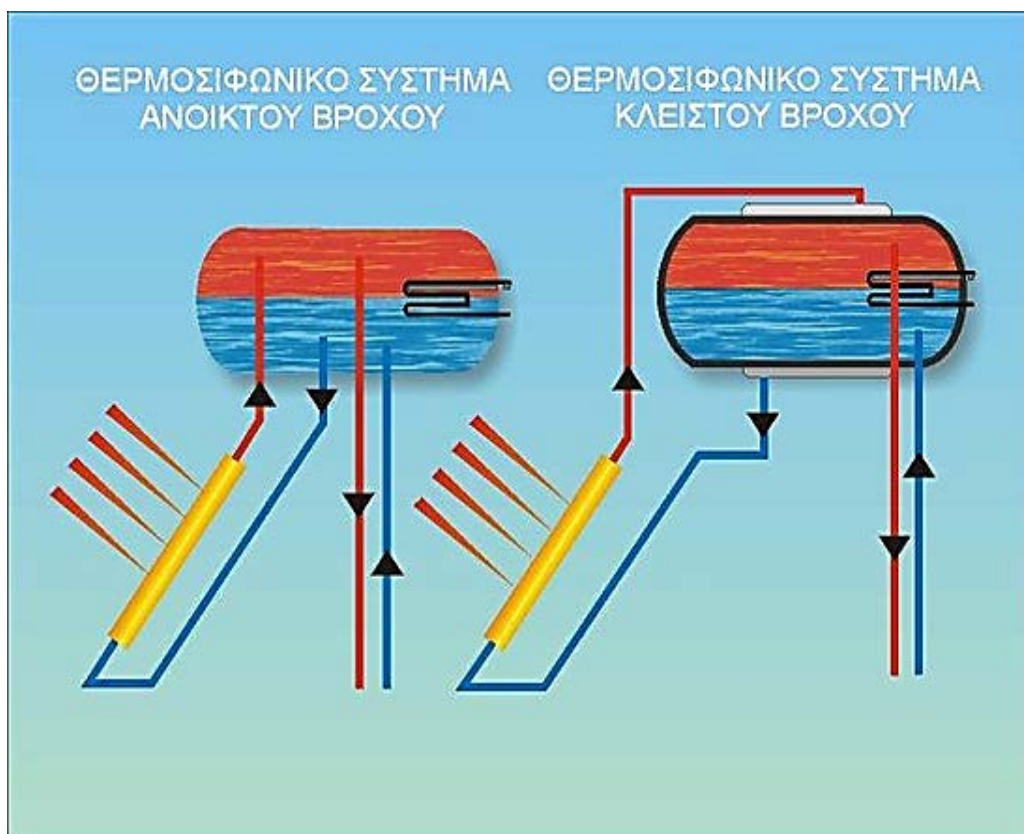
Παρ' όλα αυτά, τα ηλιοθερμικά συστήματα είναι πιο αποδοτικά καθώς μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια πρώτα σε θερμική και μετέπειτα σε ηλεκτρική, ενώ τα φωτοβολταϊκά τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική.⁵⁴

Βάσει του ISO/DIS 9488 η ταξινόμηση των παραπάνω συστημάτων ανάλογα με το μηχανισμό λειτουργίας τους είναι η ακόλουθη:

- Αυτόνομα συστήματα, χωρίς βοηθητική θερμαντική πηγή.
- Συστήματα προθέρμανσης, τα οποία προθερμαίνουν νερό και στη συνέχεια τροφοδοτούν άλλα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.
- Υβριδικά συστήματα, τα οποία αξιοποιούν ηλιακά και συμβατικά συστήματα, ώστε να μπορούν να καλύπτουν θερμαντικές ανάγκες, ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας.

Ανάλογα με το μέσον που χρησιμοποιούν για συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας, τα διάφορα συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν ακολούθως σε:

- Συστήματα αέρος, για θέρμανση χώρων και ξήρανση αγροτικών προϊόντων και για βιομηχανικές εφαρμογές.
- Συστήματα υγρού, για ευρύτερη θέρμανση χώρων, παραγωγή ζεστού νερού για οικιακή και όχι μόνο χρήση, συστήματα κλιματισμού, θέρμανση νερού για πισίνες και τέλος ως πηγή ενέργειας για αντλίες θερμότητας.⁵⁵



Εικόνα 3.4: Θερμοσιφωνικά συστήματα

3.2.2 ΑΠΛΟ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα Θερμοσιφωνικά συστήματα στηρίζονται στη φυσική μεταφορά του νερού στους συλλέκτες και στη δεξαμενή, η οποία βρίσκεται επάνω από το συλλέκτη. Η αρχή λειτουργίας του θερμοσιφωνικού συστήματος είναι απλή. Το νερό θερμαίνεται στο συλλέκτη, διαστέλλεται κι επομένως γίνεται ελαφρύτερο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό της δεξαμενής. Αυτή η διαφορά στην πυκνότητα του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική κυκλοφορία του, μέσω του συλλέκτη και τη μεταφορά του θερμού νερού στην αποθηκευτική δεξαμενή, της οποίας το ψυχρότερο νερό αντικαθιστά το ζεσταμένο στο συλλέκτη, συνεχίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο την κυκλοφορία του.

Απαραίτητη προϋπόθεση, προκειμένου να είναι εφικτή η φυσική κυκλοφορία του νερού, αποτελεί η τοποθέτηση της αποθηκευτικής δεξαμενής σε υψηλότερο σημείο από τους συλλέκτες. Το ευνοϊκό Ελληνικό κλίμα επιτρέπει την τοποθέτηση της δεξαμενής στις οροφές των κατοικιών, χωρίς μεγάλες απώλειες θερμότητας από το θερμό νερό προς το περιβάλλον. Αυτή είναι και η πλέον κοινή περίπτωση που συναντάται. Ο τυπικός ηλιακός θερμοσίφωνας (Εικόνα 3.5) αποτελείται από:

- Τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες,
- Μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού,
- Τις απαραίτητες σωληνώσεις και
- Τα εξαρτήματα (βαλβίδα ασφαλείας, εξαεριστικό κ.τ.λ.)⁵⁶



Εικόνα 3.5: Τυπικός Ηλιακός Θερμοσίφωνας

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ανάλογα με τον αριθμό ενεργειακών πηγών που μπορούν να εκμεταλλευτούν κατηγοριοποιούνται σε:

- Διπλής ενέργειας: Ο θερμοσίφωνας λειτουργεί εκμεταλλεόμενος είτε την ηλιακή ενέργεια είτε το ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ. κατά την διάρκεια συννεφιάς οπότε η ηλιακή ενέργεια δεν είναι αρκετή για να ζεστάνει το νερό). Για τον σκοπό αυτό, υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση τοποθετημένη εντός του τμήματος αποθήκευσης.
- Τριπλής ενέργειας: Λειτουργεί όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας διπλής ενέργειας αλλά έχει επιπλέον μια είσοδο για να εκμεταλλευτεί ως θερμαντικό μέσο το ζεστό νερό του καλοριφέρ που παράγεται από τον λέβητα κεντρικής θέρμανσης. Προϋπόθεση για την εγκατάσταση ηλιακού θερμοσίφωνα τριπλής ενέργειας είναι να υπάρχει η κατάλληλη υποδομή στο οίκημα υπό την μορφή ξεχωριστών σωληνώσεων (ανά διαμέρισμα εάν πρόκειται για πολυκατοικία) που να συνδέουν το λεβητοστάσιο με τον χώρο εγκατάστασης του ηλιακού θερμοσίφωνα (ταράτσα ή σκεπή).

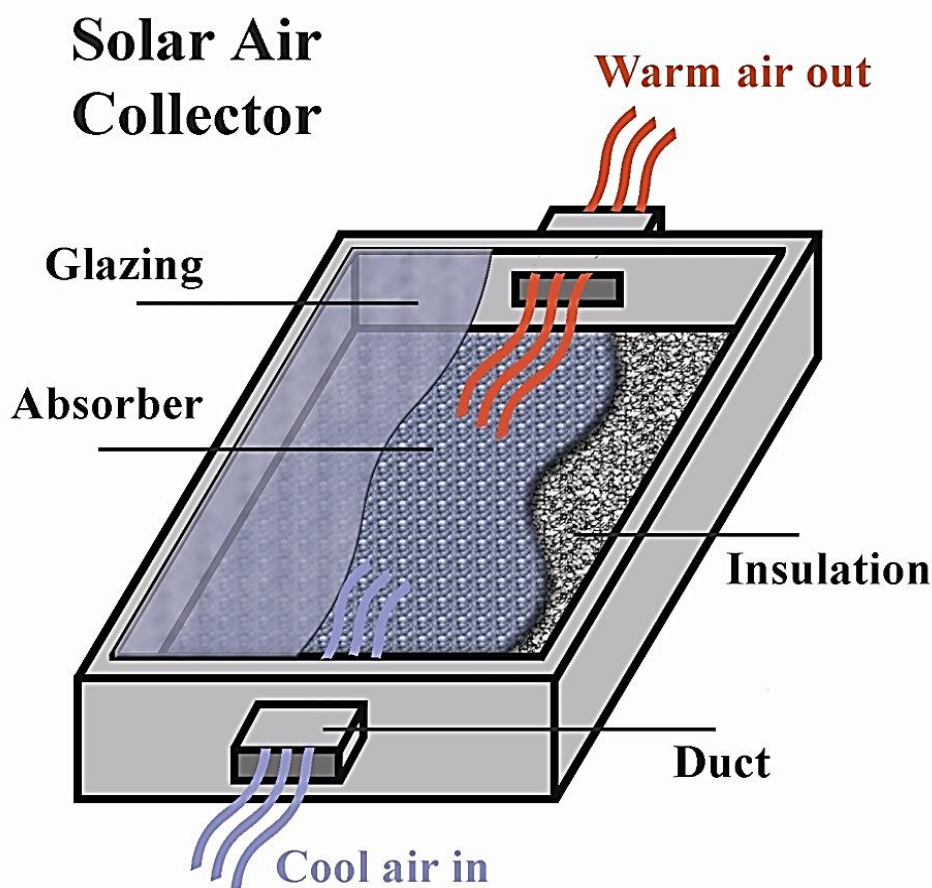
Επίσης, διακρίνουμε δύο είδη ηλιακών θερμοσιφώνων ανάλογα με το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου:

- Ανοιχτού κυκλώματος: Απευθείας θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε).
- Κλειστού κυκλώματος: έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης (το θερμαινόμενο μέσο κυκλοφορεί σε ιδιαίτερο κύκλωμα, το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε χωρίς να γίνεται ανάμιξή τους, μέσω εναλλάκτη θερμότητας).

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοιχτού κυκλώματος είναι φτηνότεροι και απλούστεροι αλλά έχουν σοβαρά προβλήματα σε χαμηλές θερμοκρασίες γιατί δεν εμπεριέχουν αντιψυκτικά μίγματα (το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε). Στους ηλιακούς θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος, μπορεί το θερμαινόμενο μέσο να είναι και άλλο ρευστό ή νερό με αντιψυκτικό μέσο για προστασία της συσκευής.⁵⁷

3.2.3 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΡΕΥΣΤΟ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα επιτυγχάνεται μέσω των θερμικών ηλιακών συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούν συλλέκτες και δεξαμενές αποθήκευσης ως χωριστά υποσυστήματα, ενώ η μεταφορά ενέργειας μέσω θερμαινόμενου ρευστού (νερού ή αέρα) πραγματοποιείται είτε με φυσική ροή, είτε με κυκλοφορητή.



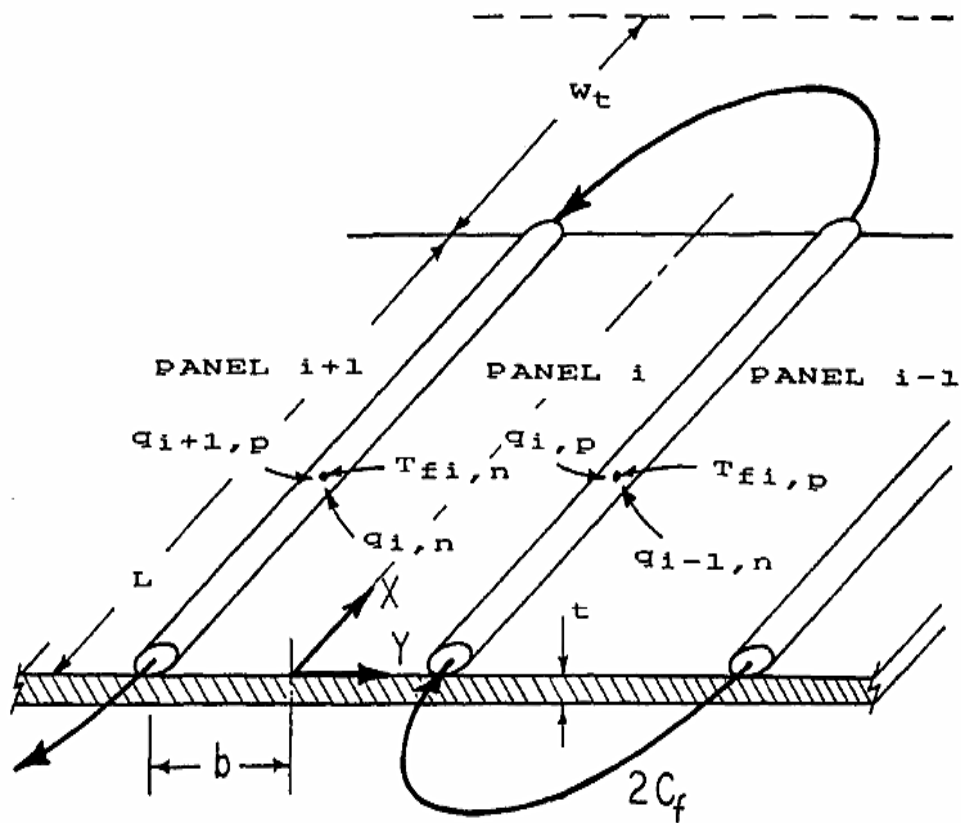
Εικόνα 3.6: Τυπικός Ηλιακός Συλλέκτης Αέρα

3.2.3.1 ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΕ ΥΓΡΟ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΜΕΣΟ

Υπάρχουν πάρα πολλά είδη συλλεκτών γιατί πολύ απλά πλέον η επιστήμη έχει προχωρήσει και την θέση του απλού νερού πήραν και άλλα πολλά ρευστά. Εδώ θα αναφέρουμε μερικά είδη τα οποία μάθαμε ότι υπάρχουν από την βιβλιογραφία μας.

1) Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης μέλανος υγρού:

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου έχουν την ιδιαιτερότητα ότι δεν χρησιμοποιούν το νερό ως εργαζόμενο μέσο, αλλά κάποιο μέλαν υγρό υψηλής απορροφητικότητας, το οποίο ρέει διαμέσων διάφανων καναλιών. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται απευθείας από το ρευστό, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η θέρμανση των άλλων στοιχείων του συλλέκτη. Κατ' αυτόν τον τρόπο, το ρευστό είναι το θερμότερο στοιχείο του συλλέκτη και επομένως δεν απαιτούνται άλλα μέταλλα στον σχεδιασμό.



Εικόνα 3.7: Ελικοειδής Ηλιακός Συλλέκτης νερού

2) Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης παράλληλων σωλήνων:

Αυτός ο τύπος συλλέκτη αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή ηλιακών συλλεκτών, για αυτό και θεωρείται ο τυπικός επίπεδος ηλιακός συλλέκτης. Η χρήση του συνίσταται σε οικισμούς, για εξοικονόμηση ενέργειας, σε ξενοδοχειακές μονάδες και μικρές επιχειρήσεις, ενώ όταν δεν υπάρχει υαλοπίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση πισινών.

3) Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης με ελικοειδείς σωλήνες:

Ο συλλέκτης αυτός κατασκευάστηκε με σκοπό να υπερκεράσει τα προβλήματα ανομοιομορφίας που παρουσιάζει ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης παράλληλων σωλήνων. Δυστυχώς, όσον αφορά την κατανομή της θερμοκρασίας στην απορροφητική επιφάνεια, τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά. (Εικόνα 3.7) ⁵⁸

3.2.3.2 ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΑΕΡΑ

1) Ανάστροφος επίπεδος ηλιακός συλλέκτης:

Οι συμβατικοί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αέρα με μέγιστη θερμοκρασία ίση με 100°C. Ήταν επομένως αναγκαίο να εφευρευθούν ηλιακοί συλλέκτες που να υπερκεράσουν αυτόν τον περιορισμό. Αυτό πραγματοποιείται όταν οι θερμικές απώλειες μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας ελαττωθούν. Ένας τρόπος είναι η χρήση ανάστροφου συλλέκτη, ο οποίος δίνει την δυνατότητα συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας σε υψηλή θερμοκρασία της τάξης των 200°C.

2) Επίπεδος συλλέκτης συνεχούς ροής αέρα:

Στους συλλέκτες αυτούς χρησιμοποιείται μια ανακλαστική επιφάνεια, η οποία δημιουργεί ένα κενό χώρο μεταξύ του απορροφητικού πιάτου και της μόνωσης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές απώλειες που οφείλονται στο κάτω μέρος του συλλέκτη.

3) Επίπεδος συλλέκτης με διαιρούμενο κανάλι αέρα:

Ένας τρόπος βελτίωσης της απόδοσης των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι η τοποθέτηση φραγμάτων στο κανάλι που διαρρέει ο αέρας, έτσι ώστε να δημιουργούνται δύο ή και περισσότερα παράλληλα τμήματα του καναλιού ίδιου μεγέθους. Αυτά τα τμήματα είναι συνδεδεμένα σε σειρά έτσι ώστε ο αέρας να ρέει διαδοχικά σε αυτά.

4) Επίπεδος διάτρητος συλλέκτης χωρίς υαλοπίνακα:

Οι επίπεδοι διάτρητοι συλλέκτες αποτελούν ανακάλυψη των τελευταίων χρόνων και σκοπό έχουν να αντικαταστήσουν τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες αέρα που λειτουργούν με υαλοπίνακα. Τα αποτελέσματα ερευνών ως προς την αποτελεσματικότητά τους είναι ενθαρρυντικά.⁵⁹

3.2.3.3 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Στα φυσικής κυκλοφορίας Θερμοσιφωνικά συστήματα, το νερό της δεξαμενής θερμαίνεται μέσω των ηλιακών συλλεκτών και κυκλοφορεί με φυσικό τρόπο, διαμέσου των σωλήνων του συλλέκτη. Τα ηλιακά συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας αποτελούνται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την δεξαμενή ζεστού νερού, τον κυκλοφορητή (αντλία) και το διαφορικό θερμοστάτη. Σε αντίθεση με το απλό θερμοσιφωνικό σύστημα, η λειτουργία των εν λόγω συστημάτων γίνεται με μηχανικά μέσα, δηλαδή τον κυκλοφορητή νερού ο οποίος τίθεται σε λειτουργία ανάλογα με τις «οδηγίες» του διαφορικού θερμοστάτη.

Ο διαφορικός θερμοστάτης συγκρίνει τη θερμοκρασία του νερού στους συλλέκτες και στο δοχείο αποθήκευσης και όταν η θερμοκρασία του νερού στους συλλέκτες είναι πιο ψηλή τότε ενεργοποιεί τον κυκλοφορητή. Ο κυκλοφορητής θα σταματήσει να λειτουργεί όταν δεν ισχύουν οι προαναφερόμενες συνθήκες. Τα ηλιακά συστήματα βεβιασμένης κυκλοφορίας τα συναντούμε κυρίως σε εφαρμογές όπου χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού, με πολλούς συλλέκτες.⁶⁰

3.3 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

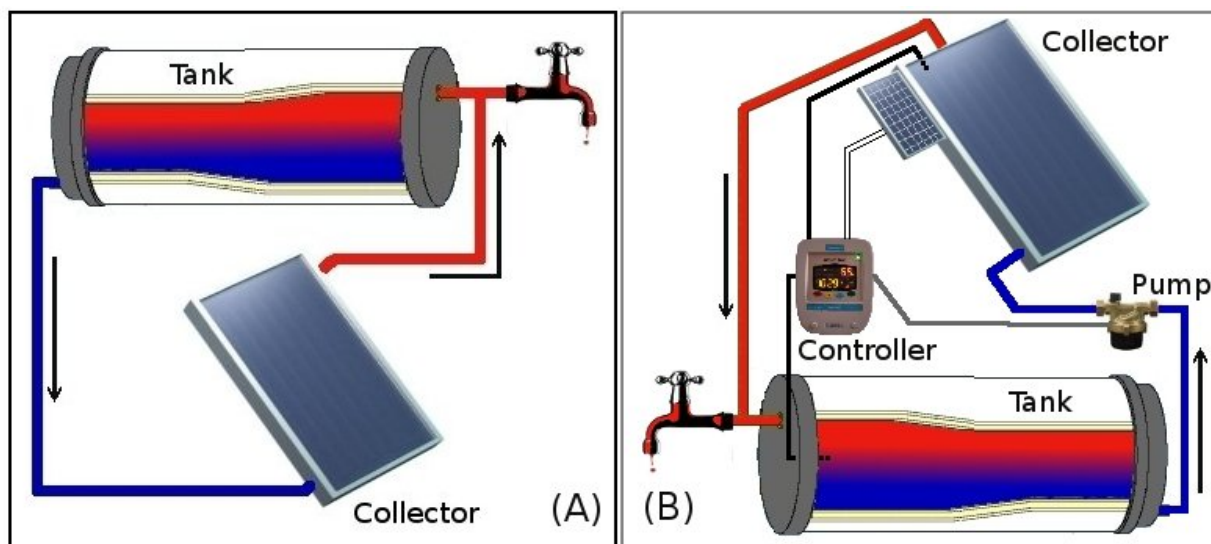
3.3.1 ΕΠΙΠΕΔΟΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι σε εγκαταστάσεις θέρμανσης χώρου και νερού χρήσης. Ένας τυπικός επίπεδος συλλέκτης, είναι ένα θερμομονωμένο μεταλλικό κουτί με ένα γυάλινο ή πλαστικό κάλυμμα και μία απορροφητική επιφάνεια σκούρου χρώματος. Το κάλυμμα, μπορεί να είναι είτε διάφανο, είτε διαθλαστικό. Το γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο, προτιμάται καθώς έχει την ιδιότητα να εκπέμπει το μεγαλύτερο ποσοστό της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας. Το κάλυμμα αυτό, επιτρέπει στο φως να φτάσει στην απορροφητική πλάκα, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει την ανακλώμενη από την επιφάνεια ακτινοβολία να επιστρέψει

στο περιβάλλον, όπως σε ένα θερμοκήπιο αλλά και την θερμότητα να διαφύγει. Οι πλευρές και η βάση, είναι συνήθως μονωμένες ώστε να ελαχιστοποιούνται, οι απώλειες.⁶¹

Η λειτουργία ενός επίπεδου συλλέκτη επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Ηλιακούς παράγοντες πχ ένταση ακτινοβολίας, γωνία κλίσης συλλέκτη κ.α.
- Συνθήκες περιβάλλοντος πχ θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα ανέμου κ.α.
- Συνθήκες λειτουργίας πχ θερμοκρασία εργαζόμενου μέσου, θερμικές ιδιότητες του ρευστού, προσανατολισμός του συλλέκτη



Εικόνα 3.8: Φυσική και Βεβιασμένη κυκλοφορία

3.3.1.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η απορροφητική πλάκα, είναι συνήθως μαύρη επειδή τα σκούρα χρώματα απορροφούν περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ακτινοβολία, διαπερνά το κάλυμμα και πέφτει επάνω στη απορροφητική πλάκα η οποία θερμαίνεται, μετατρέποντας την ακτινοβολία σε θερμότητα. Στη συνέχεια, η θερμότητα μεταφέρεται στο ρευστό που ρέει μέσα από το συλλέκτη. Οι απορροφητικές πλάκες, είναι τις περισσότερες φορές καλυμμένες με επιλεκτική επίστρωση, η οποία απορροφά περισσότερη ακτινοβολία και είναι πιο ανθεκτική από την απλή μαύρη μπογιά. Είναι συνήθως μεταλλικές, από χαλκό ή αλουμίνιο τα οποία είναι και τα δύο καλοί αγωγοί της θερμότητας. Ο χαλκός, αν και ακριβότερος, είναι καλύτερος αγωγός της θερμότητας και οξειδώνεται δυσκολότερα σε σχέση με το αλουμίνιο.⁶²

Οι σωλήνες που ρέει το υγρό μπορούν είτε να συγκολληθούν είτε να αποτελούν ένα ενιαίο κομμάτι με την πλάκα. Οι σωλήνες αυτοί επίσης συνδέονται και στα δύο τους άκρα με συλλέκτες (header tubes). Το διαφανές κάλυμμα χρησιμοποιείται για την μείωση των απωλειών συναγωγής από την πλάκα απορρόφησης μέσω του περιορισμού του στάσιμου στρώματος αέρα μεταξύ της πλάκας απορρόφησης και του γυαλιού. Μειώνει επίσης και τις απώλειες ακτινοβολίας από τον συλλέκτη αφού το γυαλί είναι μεν διάφανο για την χαμηλού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία αλλά εμφανίζεται σχεδόν αδιαφανές για την μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία (υπέρυθρη ακτινοβολία, IR) η οποία εκπέμπεται από την πλάκα απορρόφησης (φαινόμενο του θερμοκηπίου).⁶³

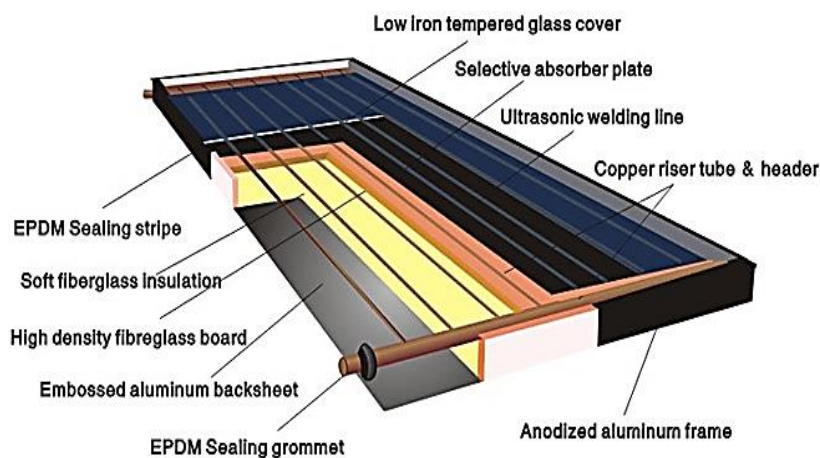


Εικόνα 3.9: Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης

3.3.1.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Ένας ηλιακός συλλέκτης αποτελείται τα εξής:

- Υαλοπίνακας: Ένα ή και περισσότερα στρώματα γυαλιού ή άλλου διαθερμικού (radiation - transmitting) υλικού
- Σωλήνες, πτερύγια ή περάσματα: βοηθούν στην αγωγή και στην κατεύθυνση του υγρού από την είσοδο στην έξοδο.
- Απορροφητική πλάκα: Επίπεδη, κυματοειδής ή αυλακωτή πάνω στην οποία οι σωλήνες, τα πτερύγια ή τα περάσματα είναι συνδεδεμένα. Η πλάκα μπορεί να είναι και ακέραια με τους σωλήνες.
- Διανομείς ή manifolds: για την υποδοχή ή απόρριψη του ρευστού.
- Θερμομόνωση: για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας από την πίσω και την πλαϊνή πλευρά του συλλέκτη.
- Θήκη: για συγκράτηση και προστασία των προηγούμενων εξαρτημάτων από σκόνη υγρασία κλπ. ⁶⁴



Εικόνα 3.10: Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης – αποτελούμενα μέρη

3.3.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές στην καθημερινή μας ζωή αλλά και στην βιομηχανία, σε πολλούς τομείς. Όπως αναφέραμε παραπάνω, ο πιο γνωστός συλλέκτης και ευρύτατα χρησιμοποιούμενος, είναι ο επίπεδος. Και για το μικρό του κόστος αλλά και για την εύκολη χρήση του σε οικιακές εφαρμογές.

Σε ένα οικιακό δίκτυο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν 1-2 επίπεδοι συλλέκτες όσον αφορά ζεστό νερό χρήσης και φυσικά περισσότεροι όταν το οίκημα είναι πολυπληθές (π.χ. πολυκατοικία). Εκτός από ζεστό νερό χρήσης, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες και για θέρμανση χώρου.

Για τον ίδιο ακριβώς λόγο οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην βιομηχανία, π.χ. για θέρμανση δεξαμενών νερού. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ευρύτερα, έως στην θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών. Στις βόρειες χώρες υπάρχουν ολόκληρες πόλεις όπου το νερό χρήσης, ζεσταίνεται με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες πριν φτάσει στα σπίτια, όπου το ψύχος είναι δριμύ.

Μια μεγάλη ποικιλία από επίπεδους συλλέκτες, έχουν κατασκευαστεί με διαφορετική σχεδίαση και υλικά. Έχουν χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση υγρών όπως νερού, νερού σε συνδυασμό με πρόσθετα αντιπηκτικά ή αέρα. Ο κύριος τους σκοπός είναι να συγκεντρώσουν όση περισσότερη ηλιακή ενέργεια γίνεται στο χαμηλότερο δυνατό κόστος.



Εικόνα 3.11: Επίπεδοι Ηλιακοί Συλλέκτες σε κατοικία σε περιοχή με ψυχρό κλίμα

Οι συλλέκτες πρέπει επίσης να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ανεξάρτητα από τις αντίθετες συνέπειες της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου, της διάβρωσης και του εμφράγματος εξαιτίας της οξύτητας, αλκαλικότητας ή σκλήρυνσης του θερμαινόμενου υγρού, πήξης του νερού ή εναπόθεσης σκόνης υγρασίας στην επιφάνεια του υαλοπίνακα είτε σπάσιμο αυτού εξαιτίας θερμικής διαστολής, χαλαζιού, βανδαλισμού κλπ. ⁶⁵

3.3.2 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΚΕΝΟΥ

Σε γενικές γραμμές, είναι πιο αποδοτικοί από τους επίπεδους συλλέκτες. Αποδίδουν καλύτερα στην άμεση αλλά και στην έμμεση ακτινοβολία. Αυτό το χαρακτηριστικό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το κενό ελαχιστοποιεί τις απώλειες, προς το περιβάλλον, καθιστά τους συλλέκτες αυτούς ιδιαίτερος χρήσιμους σε περιοχές όπου τον χειμώνα παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες και ηλιοφάνεια. Δεύτερον, λόγω του κυκλικού τους σχήματος, η ηλιακή ακτινοβολία είναι κάθετη σε αυτούς κατά το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας σε αντίθεση με τους επίπεδους συλλέκτες στους οποίους, λόγω της σταθερής τους θέσης, δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία κάθετα μόνο κατά το μεσημέρι.

Οι συλλέκτες κενού, μπορεί να επιτυγχάνουν υψηλότερες θερμοκρασίες και καλύτερη απόδοση, είναι όμως ταυτόχρονα και ακριβότεροι από τους επίπεδους συλλέκτες, για αυτό και η επιλογή του ενός ή του άλλου τύπου, απαιτεί μελέτη της κάθε εγκατάστασης ώστε να επιλεγθεί ο καταλληλότερος. ⁶⁶



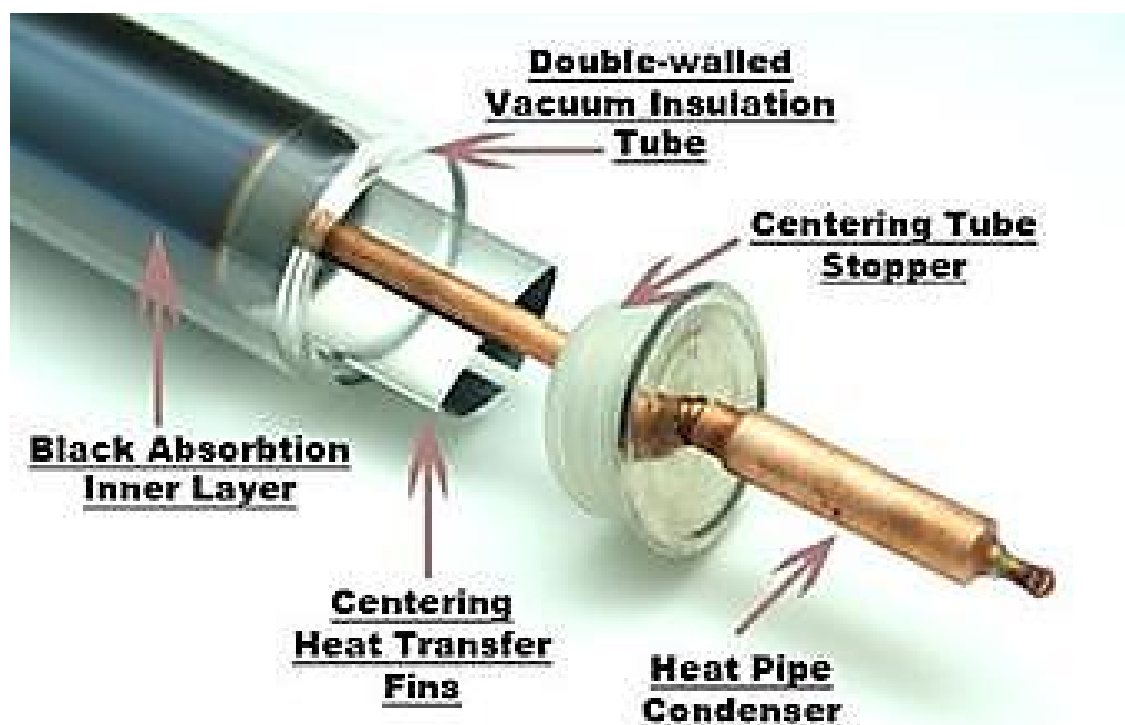
Εικόνα 3.12: Ηλιακοί Συλλέκτες κενού σε στέγη κατοικίας

3.3.2.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Οι συλλέκτες κενού, θερμαίνουν νερό για εφαρμογές που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες. Σε έναν σωλήνα κενού, το φως του ήλιου περνάει από το εξωτερικό γυαλί, προσπίπτει στον απορροφητικό σωλήνα και μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία στη συνέχεια παραλαμβάνεται από το υγρό που ρέει μέσα του. Ένα σύστημα συλλεκτών κενού, είναι πιο ευέλικτο, καθώς μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν σωλήνες ανάλογα με τις ανάγκες.

Ένας συλλέκτης εκκενωμένου σωλήνα (κενού) φαίνεται στην παραπάνω εικόνα 3.13. Ο συλλέκτης κενού, χρησιμοποιεί την εναλλαγή της υγρής - αέριας φάσης για την μεταφορά θερμότητας με υψηλή απόδοση. Περιέχει ένα σωλήνα θερμότητας τοποθετημένο μέσα σε ένα εκκενωμένο σωλήνα. Ο σωλήνας, ο οποίος είναι ένας σφραγισμένος σωλήνας χαλκού, είναι συγκολλημένος με πτερύγιο χαλκού που συμπληρώνει τον κενό χώρο (πλάκα απορρόφησης). Η προεξοχή της μεταλλικής κορυφής συνδέεται με τον σφραγισμένο σωλήνα (συμπυκνωτής).

Ο σωλήνας θερμότητας περιέχει μια μικρή ποσότητα υγρού (π.χ. μεθανόλης), η οποία υπόκειται σε κύκλο εξάτμισης – συμπύκνωσης. Σε αυτόν τον κύκλο η ηλιακή ακτινοβολία εξατμίζει το υγρό, το οποίο στην συνέχεια συμπυκνώνεται και απελευθερώνει την λανθάνουσα θερμότητά του στο ρευστό.⁶⁷



Εικόνα 3.13: Εσωτερικό ενός σωλήνα από συλλέκτη κενού

3.3.2.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΕΝΟΥ

Όταν κατασκευάζονται οι ηλιακοί συλλέκτες κενού, αφαιρείται ο αέρας από τον χώρο μεταξύ των δύο σωλήνων, δημιουργώντας κενό. Οι απώλειες λόγω αγωγή και συναγωγής εξαλείφονται, καθώς δεν υπάρχει αέρας για να μεταδώσει την θερμότητα. Υπάρχουν βέβαια και οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας οι οποίες έχουν περιθώρια

μείωσης μέσω της κατάλληλης επιλογής της επιλεκτικής επιφάνειας του απορροφητικού σωλήνα και του υλικού του εξωτερικού σωλήνα. Παρόλα αυτά, αυτές οι απώλειες είναι πολύ μικρές σε σχέση με την ενέργεια την οποία παραλαμβάνει το υγρό.

3.3.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Οι συλλέκτες αυτοί, επιτυγχάνουν πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες από προς επίπεδους συλλέκτες. Παρόλα αυτά προς μπορούν να εστιάσουν μόνο άμεση ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλή απόδοση σε ημέρες με συννεφιά. Αυτού του τύπου συλλέκτες, είναι πιο χρήσιμοι σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια κοντά στον ισημερινό.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν αντανακλαστικές επιφάνειες (καθρέφτες) ώστε να συγκεντρώσουν την ενέργεια του ήλιου σε έναν απορροφητήρα, ο οποίος ονομάζεται δέκτης. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες επιτυγχάνουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αλλά σε αντίθεση με τους συλλέκτες κενού, μπορούν να λειτουργήσουν μόνο όταν είναι διαθέσιμη άμεση ακτινοβολία. Η αντανακλαστική επιφάνεια, συγκεντρώνει την ακτινοβολία που συλλέγεται από μία μεγάλη επιφάνεια σε μία πολύ μικρότερη απορροφητική επιφάνεια με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες. Μερικοί συλλέκτες, είναι σχεδιασμένοι να συγκεντρώνουν την ακτινοβολία σε ένα σημείο ενώ άλλοι σε μια λεπτή γραμμή. Εκεί βρίσκεται ο δέκτης και μέσα από αυτόν περνάει ένα υγρό στο οποίο μεταδίδεται η θερμότητα.⁶⁸

3.4 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αποθήκευση θερμότητας είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού. Χωρίς αυτή, το ζεστό νερό θα ήταν διαθέσιμο μόνο όταν έχει ήλιο. Μια δεξαμενή αποθήκευσης επιτρέπει στο ηλιακό σύστημα να λειτουργεί όποτε υπάρχει ενέργεια και να παρέχει την ενέργεια αυτή όταν χρειάζεται. Το μέγεθος του χώρου αποθήκευσης μπορεί να είναι είτε όσο χρειάζεται για να διατηρεί τη θερμότητα για 24 ώρες, ώστε το νερό που θερμάνθηκε το πρωί να χρησιμοποιείται το απόγευμα, είτε, σε εξαιρετικές περιπτώσεις, αρκετά μεγαλύτερο, ως χώρος αποθήκευσης για τις ενδιάμεσες εποχές. Τις ζεστές μέρες, ένας μεγαλύτερος αποθηκευτικός χώρος μπορεί να θερμαίνεται σταδιακά και να διατηρεί αυτή τη θερμότητα κατά τις νεφελώδεις ημέρες που μπορεί να ακολουθήσουν. Τα περισσότερα οικιακά συστήματα χρησιμοποιούν την ημερήσια αποθήκευση.

Ο χώρος αποθήκευσης ζεστού νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως απλός παροχέας ζεστού νερού ή για να προθερμαίνει το νερό σε ένα υπάρχον οικιακό σύστημα θέρμανσης νερού ή χώρου. Αν επιλεγεί άμεσο σύστημα, παράλληλα με το χώρο αποθήκευσης θα χρειαστεί και ένας εναλλάκτης θερμότητας. Ο εναλλάκτης διαχωρίζει το υγρό που ρέει μέσα στους συλλέκτες από εκείνο που ρέει στη βρύση του σπιτιού.

Θα πρέπει να επιτρέπει, επίσης, στη θερμότητα που απορροφάται μέσα στους συλλέκτες να περνάει στο νερό που αποθηκεύεται στη δεξαμενή.⁶⁹

3.5 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Επιλέγεται ο χώρος που θα τοποθετηθεί ο ηλιακός ώστε η επιφάνεια του συλλέκτη να βλέπει προς τον νότο και να μην σκιάζεται από δέντρα ή άλλες παρακείμενες οικοδομές.

Σημαντικό είναι να υπάρχει δυνατότητα σωστής στήριξης στο δάπεδο. Είτε αυτό είναι βάση με σκυρόδεμα, είτε βάση μεταλλική βιδωμένη. Η απόσταση του ηλιακού συλλέκτη από το σημείο κατανάλωσης του ζεστού νερού χρήσης είτε το νερού προς άλλες εφαρμογές (μπάνιο, κουζίνα, κλιματισμός με ψύκτη, κλπ) να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη, καθαρά για λόγους απωλειών.

Ο συλλέκτης τοποθετείται όπως στο σχέδιο και στηρίζεται στο δάπεδο ή στην στέγη χρησιμοποιώντας ράβδους στήριξης. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και όταν υπάρχουν δύο συλλέκτες οι οποίοι ενώνονται μεταξύ τους. Η βάση και ο συλλέκτης βιδώνονται καλά στο δάπεδο.

Οι ηλιακοί συλλέκτες εκτός από τaráτσα και σκεπή μπορούν να τοποθετηθούν:

- Πάνω στην στέγη
- Ενσωματωμένοι στην στέγη
- Σε τοίχο ή προβόλους
- Σε επίπεδη στέγη με βάση στήριξης,



Εικόνα 3.14: Ηλιακοί συλλέκτες ενσωματωμένοι σε κτήριο

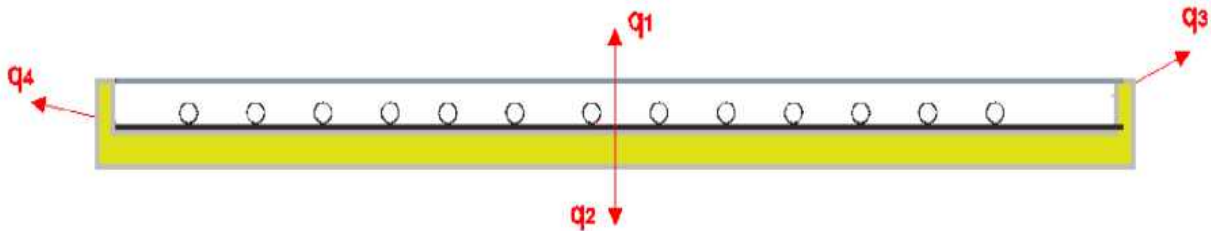
3.6 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

3.6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι απώλειες ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι κυρίως ενεργειακές απώλειες που χάνονται υπό την μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας προς τον περιβάλλοντα χώρο μέσω των μηχανισμών της μετάδοσης θερμότητας. Ο συλλέκτης χάνει θερμότητα από την μπροστινή του μεριά, αλλά και από τις πλάγιες και πίσω όψεις του με αγωγή. Συγκεκριμένα όσον αφορά τις απώλειες από τις πλάγιες και πίσω όψεις, δεν είναι μεγάλες λόγω των κατασκευαστικών προδιαγραφών τους που προβλέπουν μόνωση.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα ενεργειακών απωλειών συναντάται κατά την μεταφορά θερμότητας διαμέσου του υαλοπίνακα που υστερεί σε μόνωση (για αυτό άλλωστε

συναντάμε όλο και πιο συχνά συλλέκτες με διπλό τζάμι). Εκτός των άλλων θερμότητα χάνεται και υπό την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια μέσω του υαλοπίνακα όπως ορίζει ο νόμος Stefan - Boltzmann, για αυτόν το λόγο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών.



Εικόνα 3.15: Ροή ενεργειακών απωλειών ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη σε τομή.

3.6.2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΙΣΩ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΕΣ ΟΨΕΙΣ U

Οι θερμικές απώλειες από τις πλάγιες και πίσω όψεις ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, γίνονται μέσω του μηχανισμού της αγωγής εφόσον παρεμβάλλονται τα υλικά κατασκευής του ανάμεσα στην μαύρη συλλεκτική επιφάνεια και το περιβάλλον. Προκειμένου να προσδιορίσουμε αναλυτικά την διαδικασία υπολογισμού των θερμικών απωλειών μέσω αγωγής ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, θα αναφερθούμε στον νόμο του Fourier που περιγράφει πως :

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας q από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Ειδικότερα ισχύει

$$q = k \cdot A \cdot \frac{|\Delta T|}{x}$$

Όπως προκύπτει η ροή θερμότητας έχει μονάδες [W] και είναι λογικό, διότι είναι μορφή ενέργειας. Θέλοντας να απλοποιήσουμε την παραπάνω σχέση εργαζόμαστε προκειμένου να ορίσουμε έναν συντελεστή ο οποίος να είναι χαρακτηριστικός και ορισμένος ανεξάρτητα από την θερμοκρασιακή διαφορά και την επιφάνεια μετάδοσης ώστε να είναι χρήσιμος μελλοντικά στον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών :

$$q = k \cdot A \cdot \frac{|\Delta T|}{x} \text{ [W]} \Leftrightarrow q \cdot x = k \cdot A \cdot \Delta T \text{ [W} \cdot \text{m]} \Leftrightarrow \frac{q}{A \cdot \Delta T} = \frac{k}{x} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$R_T = \frac{x}{k} \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Συντελεστής Θερμοπερατότητας U

Η θερμοπερατότητα U εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από το ένα άκρο του υλικού-κατασκευής στο άλλο, όταν και από τα δυο αυτά άκρα έρχεται σε επαφή αέρας. Δηλαδή η θερμοπερατότητα περιλαμβάνει την θερμοδιαφυγή του υλικού και την θερμική μετάβαση για τις δυο πλευρές. Οι μονάδες μέτρησης του είναι W και υπολογίζεται ανάλογα με τα στρώματα υλικών.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \dots + \frac{X_v}{k_v} + \frac{1}{a_o}}$$

Όπου :

X/k προφανώς είναι οι επιμέρους θερμικές αντιστάσεις RT των στρωμάτων της κατασκευής ή στην περίπτωση του συλλέκτη η μόνωση και το εξωτερικό κέλυφος. a_i και a_o είναι συντελεστές θερμικής μετάβασης στην επαφή με τον αέρα από την μια και την άλλη άκρη αντίστοιχα. Τιμές των συντελεστών αυτών βρίσκονται στην βιβλιογραφία ή προσδιορίζονται πειραματικά.

Συντελεστές απωλειών (Θερμοπερατότητας) πίσω και πλάγιων επιφανειών

Προφανώς και ο συντελεστής απωλειών για την πίσω επιφάνεια προκύπτει :

1

$$U_{\pi} = \frac{1}{\frac{X_{\pi i, \mu}}{k_{\mu}} + \frac{X_{\mu \epsilon \tau}}{k_{\mu \epsilon \tau}}}$$

$$U_{\pi \lambda} = \frac{\left(\frac{1}{\frac{X_{\pi \lambda, \mu}}{k_{\mu}} + \frac{X_{\mu \epsilon \tau}}{k_{\mu \epsilon \tau}}} \right) S d}{A_c}$$

Όπου :

k_{μ} : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης που χρησιμοποιείται

$k_{\mu \epsilon \tau}$: Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εξωτερικού μετάλλου

$X_{\pi i, \mu}$: Το πάχος της μόνωσης στην πίσω όψη [m]

$X_{\pi \lambda, \mu}$: Το πάχος της μόνωσης στις πλάγιες όψεις [m]

$X_{\mu \epsilon \tau}$: Το πάχος του εξωτερικού μετάλλου [m]

S : Το μήκος της περιμέτρου του συλλέκτη [m]

d : Το πάχος του συλλέκτη [m]

A_c : Η επιφάνεια του συλλέκτη [m²]

Υπολογίζοντας τον συντελεστή απωλειών για τις πλάγιες υπλ και πίσω υπι όψεις του συλλέκτη, προκύπτει ο συνολικός συντελεστής απωλειών u_{μ} των μεταλλικών όψεων και ισχύει :

$$U_{\mu} = U_{\pi \lambda} + U_{\pi i}$$

3.6.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ υτζ

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών από τον υαλοπίνακα, αποτελεί μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας συναγωγής και ακτινοβολίας. Οι απώλειες θερμότητας από την μπροστινή μεριά ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, οφείλονται στους εξής παράγοντες :

- Έχουμε απώλειες κατά την ροή της θερμότητας από την μαύρη συλλεκτική επιφάνεια προς τον υαλοπίνακα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής.
- Η μαύρη συλλεκτική επιφάνεια εφόσον έχει θερμοκρασία υψηλότερη από εκείνη του υαλοπίνακα, ακτινοβολεί προς αυτόν σύμφωνα με τον νόμο των Stefan - Boltzmann.

- Θερμότητα μεταφέρεται μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και από τον υαλοπίνακα προς το περιβάλλον
- Επίσης ισχύει πως ο υαλοπίνακας ακτινοβολεί όπως και στην παραπάνω περίπτωση κατά Stefan - Boltzmann θερμότητα προς το περιβάλλον.

Παρακάτω αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού των απωλειών που προαναφέραμε σχετικά με την συμπεριφορά του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη προς το περιβάλλον μέσω του υαλοπίνακα.

α) Στην περίπτωση της μεταφοράς θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι μέσω συναγωγής, ορίζουμε τον συντελεστή απωλειών και ο υπολογισμός του προκύπτει από τον ορισμό του αριθμού Nusselt λύνοντας ως προς τον συντελεστή h

$$h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{Nu k}{L}$$

Nu Είναι ο αριθμός Nusselt που παριστάνει την δυναμικότητα του μηχανισμού της συναγωγής σε σχέση με την αγωγή. Είναι αδιάστατος αριθμός μικρότερος της μονάδας και τυπικά εάν ο αριθμός αυτός γίνει μονάδα, τότε αυτό σημαίνει πως ισχύουν οι νόμοι της αγωγής.

k Παριστάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αέρα ανάμεσα από το τζάμι και την συλλεκτική επιφάνεια. Δηλαδή του μέσου που μεταφέρεται η θερμότητα.

L Αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών που ανταλλάσσουν θερμότητα. Στην προκειμένη περίπτωση το L είναι η απόσταση μεταξύ του υαλοπίνακα και της μαύρης επιφάνειας σε [m].

β) Κατά το ακτινοβολούμενο ποσό θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι, ορίζουμε τον συντελεστή απωλειών που προφανώς υπολογίζεται μέσω του νόμου του Planck και Stefan - Boltzmann :

$$h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{(T_{\sigma} + T_{\tau\zeta})(T_{\sigma^2} + T_{\tau\zeta^2})\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\varepsilon_{\tau\zeta}} - 1}$$

Όπου:

T_σ Είναι η θερμοκρασία που βρίσκεται η συγκεντρωτική πλάκα σε [°C]

T_{τζ} Είναι η θερμοκρασία του γυάλινου καλύμματος σε [°C]

σ Αντιπροσωπεύει την σταθερά Stefan - Boltzmann

ε_σ και ε_{τζ} Θεωρούνται οι αδιάστατοι συντελεστές εκπομπής της απορροφητικής επιφάνειας και του τζαμιού αντίστοιχα.

Όπως είναι λογικό, η θερμότητα μεταφέρεται από το γυάλινο κάλυμμα του συλλέκτη προς το περιβάλλον μέσω του οριακού στρώματος του. Κατά συνέπεια αυτού του είδους η μετάδοση της θερμότητας εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και από άλλες περιβαλλοντολογικές καταστάσεις όπως π.χ την βροχή.

Κατά κανόνα, οι συνθήκες που επικρατούν στον εξωτερικό χώρο και κατά συνέπεια στο περιβάλλον ενός ηλιακού συλλέκτη αντιστοιχούν σε τυρβώδης ροή. Έτσι όπως και σε κάθε νόμο μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή θα ορίσουμε τον συντελεστή απωλειών από το τζάμι στο περιβάλλον

$$h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon} = \frac{Nuk}{L}$$

Οι όροι της παραπάνω έχουν αναλυθεί στην περίπτωσης συναγωγής μεταξύ τζαμιού και συλλεκτικής επιφάνειας. Η διαφορά στην περίπτωση αυτή όμως θα είναι στον υπολογισμό του Nu που αντιστοιχεί για τυρβώδη ροή.

β) Οι απώλειες θερμότητας από το τζάμι στο περιβάλλον μέσω του μηχανισμού της ακτινοβολίας, εξαρτάται προφανώς από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι θα ισχύουν τα ίδια με την περίπτωση ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια, με την διαφορά ότι εδώ δεν περιλαμβάνεται ο συντελεστής εκπομπής της μαύρης πλάκας. Ορίζουμε επί το πλείστον τον συντελεστή απωλειών μέσω ακτινοβολίας

$$h_{\alpha, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon} = \epsilon_{\tau\zeta} \sigma (T_{\tau\zeta} + T_{\sigma\upsilon\rho}) (T_{\tau\zeta}^2 + T_{\sigma\upsilon\rho}^2)$$

Όπου :

Τουρ Είναι η θερμοκρασία του ουράνιου θόλου για ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος. Οι υπόλοιποι όροι έχουν αναλυθεί παραπάνω.

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta} + h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau\zeta}} + \frac{1}{h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon} + h_{\alpha, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon}}}$$

Προφανώς και ο ολικός συντελεστής απωλειών του συλλέκτη θα είναι το άθροισμα όλων των συντελεστών απωλειών. Δηλαδή :

$$U_0 = U_{\mu} + U_{\tau\zeta} \Leftrightarrow U_0 = U_{\pi\lambda} + U_{\pi\iota} + U_{\tau\zeta}$$

4. Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΩΝ Α.Π.Ε ΤΟΥ Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βάσει όλων των προαναφερθέντων στην Εισαγωγή, ο ενεργειακός οικίσκος του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, έχει σαν σκοπό να παρουσιάσει πως είναι δυνατόν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στο κέλυφος ενός κτιρίου, να πραγματοποιήσουν καλύτερη διαχείριση των παραγόμενων φορτίων με την βοήθεια συστήματος διαχείρισης τύπου Data Logger. Ο Ενεργειακός οικίσκος που θα εξετάσουμε, βρίσκεται στην περιοχή του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας στον χώρο του Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και είναι ορατός από την οδό Θεοδοκοπούλου. Το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής που βρίσκεται είναι $38,22^\circ$ και $21,75^\circ$ αντίστοιχα. Στον συγκεκριμένο ενεργειακό οικίσκο παράγεται με την χρήση φωτοβολταϊκών ηλεκτρική ενέργεια για φωτισμό και την λειτουργία ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και θερμού νερό για την θέρμανση του χώρου και για οικιακή χρήση μέσω ηλιακών συλλεκτών που έχουν τοποθετηθεί σε αυτόν.



Εικόνα 4.1: έξυπνος ενεργειακός οικίσκος του εργαστηρίου Α.Π.Ε. του ΤΕΙ Πατρών

Ο ενεργειακός οικίσκος, έχει ενσωματωμένες στο κέλυφος του τεχνολογίες ΑΠΕ που του επιτρέπουν να είναι ενεργειακά αυτόνομος. Τέτοιες τεχνολογίες είναι :

1. Ιδιοκατασκευή τύπου επίπεδου Ηλιακού συλλέκτη στην νότια πρόσοψη ενσωματωμένη στον τοίχο η οποία αποτελεί αυτή καθαυτή μέρος του τοίχου.
2. Ιδιοκατασκευή τύπου επίπεδου Ηλιακού συλλέκτη που αποτελεί μέρος της στέγης.
3. Δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια που αποτελούν μέρος της στέγης.

Οι δύο παραπάνω ιδιοκατασκευές ηλιακών συλλεκτών επιτρέπουν στον οικίσκο να θερμαίνει νερό προς θέρμανση χώρου και χρήση, ενώ μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων παράγεται ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους καταναλωτές.

4.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ–ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΙΑΣΗΣ

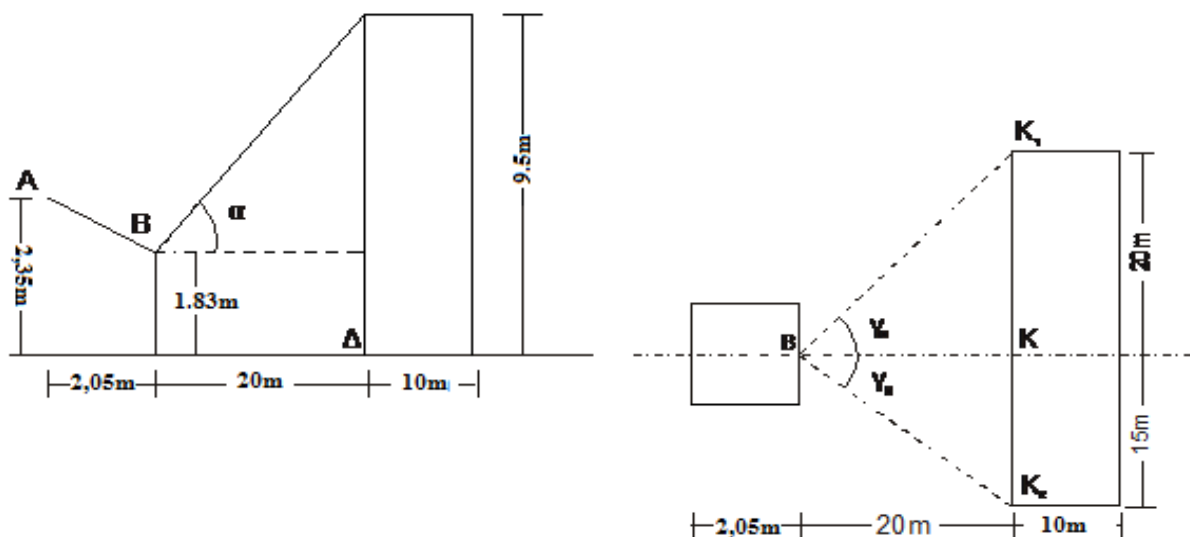
Ο σχεδιασμός του οικίσκου έλαβε υπόψη την δυνατότητα παράγωγης θερμικής ενέργειας από διάφορα μέρη του κελύφους ώστε κυρίως τον χειμώνα να παράγεται θερμική ενέργεια ικανή για να καλύψει τα φορτία του. Όπως όλα τα βιοκλιματικά κτίρια έτσι και ο συγκεκριμένος οικίσκος προσανατολίστηκε προς τον νότο. Στην νότια πλευρά του κατασκευάστηκε και τοποθετήθηκε ένα ειδικό σύστημα που είναι ηλιακός συλλέκτης και στην οροφή του τοποθετήθηκαν φωτοβολταϊκά πλαίσια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και ένας επιπρόσθετος ηλιακός συλλέκτης για την συμπλήρωση παραγωγής θερμικών φορτίων.



Εικόνα 4.2: Ο ενεργειακός οικίσκος στον προαύλιο χώρο του Τ.Ε.Ι. Πατρών και παράπλευρα εμπόδια σε αυτόν

Στην προγενέστερη πτυχιακή του συμφοιτητή μας κύριου Πουλημένου, υπάρχει αναλυτική μελέτη προσανατολισμού και σκίασης της οποίας τα κύρια μέρη παρατίθενται εδώ.

Για το προσδιορισμό του προσανατολισμού του οικίσκου δοκιμών πραγματοποιήθηκε μελέτη σκίασης από παράπλευρα κτίρια και διάφορα φυσικά εμπόδια που τυχόν να εμποδίζουν την ηλιακή ενέργεια να φτάνει σε αυτόν. Με βάσει την θεωρία που αναπτύσσεται στο σύγγραμμα (Ηλιακή Μηχανική Ι) του καθηγητή κ Σωκράτη Καπλάνη, πραγματοποιήθηκε μελέτη σκίασης του οικίσκου. Για να γίνει προσδιορισμός των περιόδων σκίασης είναι αναγκαία η αποτύπωση τους σε ένα πολικό διάγραμμα (ηλιακό χάρτη).



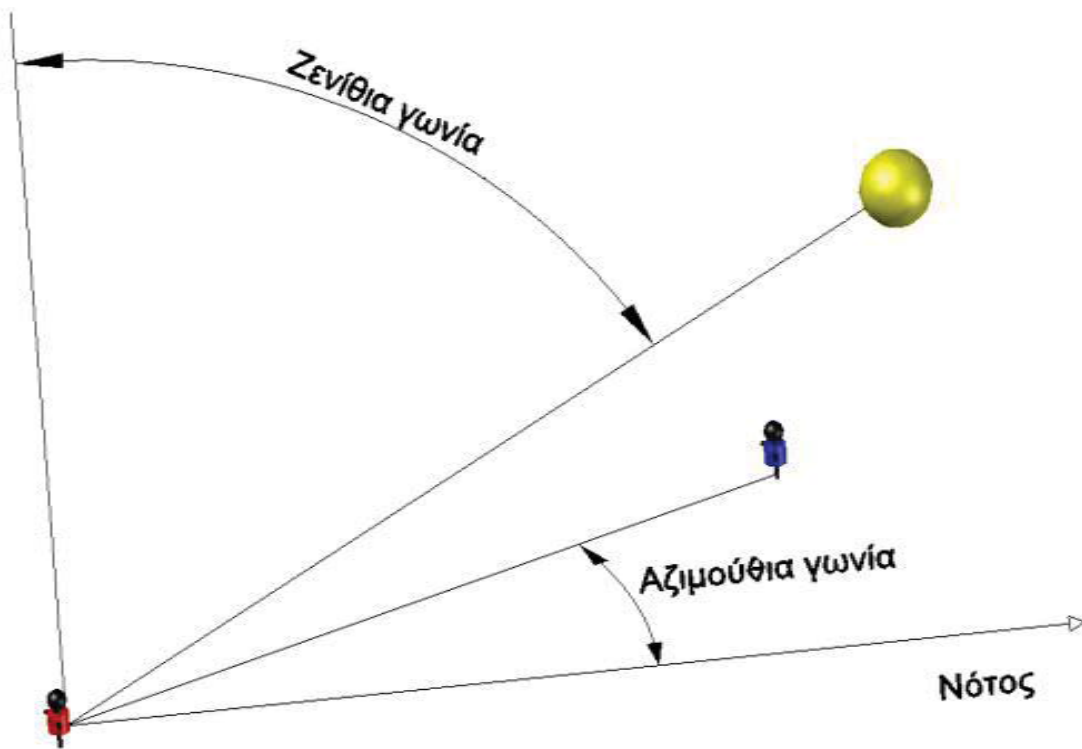
Εικόνα 4.3: Τομή και κατατομή οικίσκου με το έναντι αυτού κτίριο που προκαλεί την σκίαση, τα οποία είναι προσανατολισμένα προς τον νότο

Μια μελέτη σκίασης μας επιτρέπει να προβλέψουμε με μεγάλη ακρίβεια τις χρονικές περιόδους που τυχόν σκιάζεται ένα οποιοδήποτε σημείο από τα φυσικά εμπόδια που περιβάλλεται. Μπορούμε κατά συνέπεια να προβλέψουμε πότε ένας ηλιακός συλλέκτης θα σκιάζεται και θα χάνει από την ωφέλιμη ενέργεια ή πότε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο θα χάνει ισχύ λόγω σκίασης.

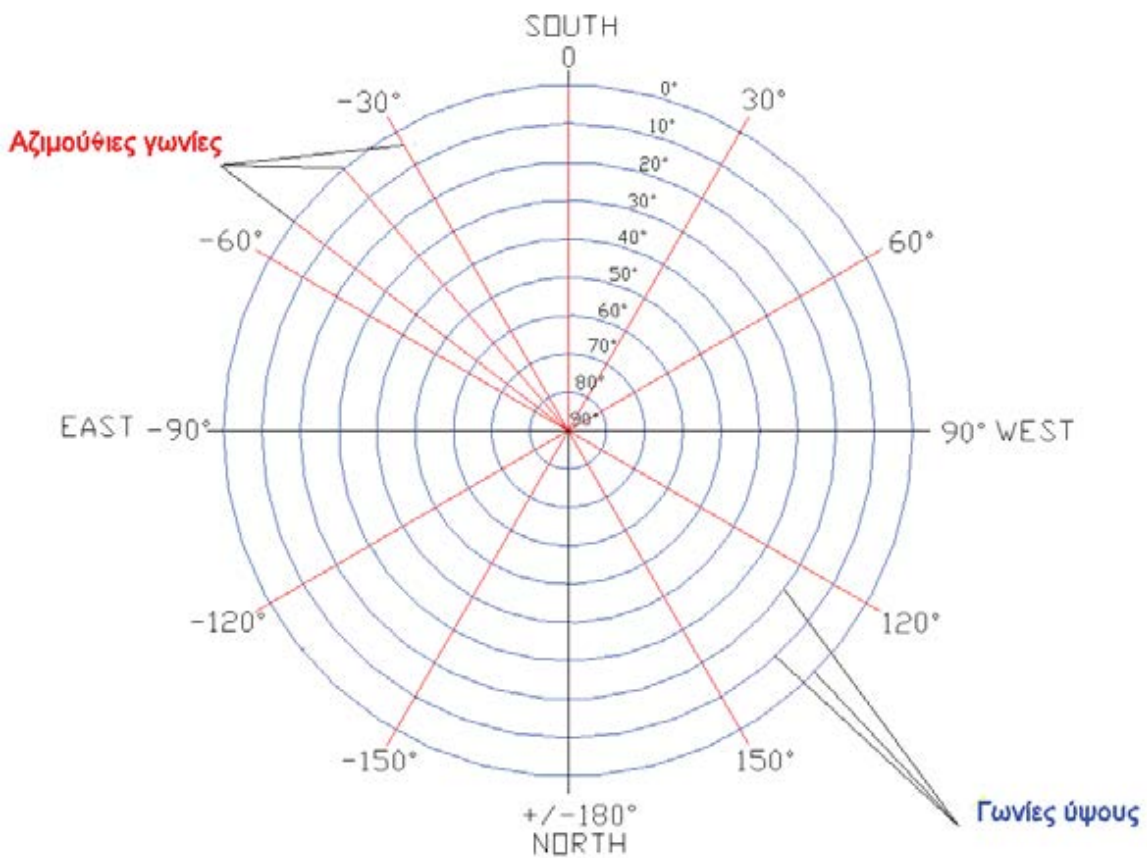
Ειδικά στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, εκτός από την χαμηλή ενέργεια που παράγεται κατά την σκίαση (πολύ χαμηλή άμεση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας), παρουσιάζονται και άλλα φαινόμενα όπως αυτό της γήρανσης τους όταν σκιάζεται σε επιμέρους σημεία για αρκετό χρόνο. Στην περίπτωση αυτή το ωφέλιμο ρεύμα που εξάγουμε περιορίζεται και δημιουργούνται υψηλές θερμοκρασίες όμως η ανάλυση αυτού του θέματος ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Σαν πολικό χάρτη ορίζουμε ένα σχεδιάγραμμα το οποίο αποτελείται από ομόκεντρους κύκλους οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις γωνίες ύψους (δηλαδή τις συμπληρωματικές γωνίες των ζενιθίων) και από γραμμές με κοινό σημείο το κέντρο των κύκλων που αντιπροσωπεύουν τις αζιμούθιες γωνίες.

Ο λόγος που γίνεται η μελέτη σκίασης για τον ενεργειακό οικίσκο, είναι διότι στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας θα διεξαχθούν πειράματα που θέτουν απαραίτητο να γνωρίζουμε εάν υπάρχει ενδεχόμενο σκίασης, καθώς επίσης θα γίνει και μελέτη προσδιορισμού πραγματικής ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Δεκέμβριο.



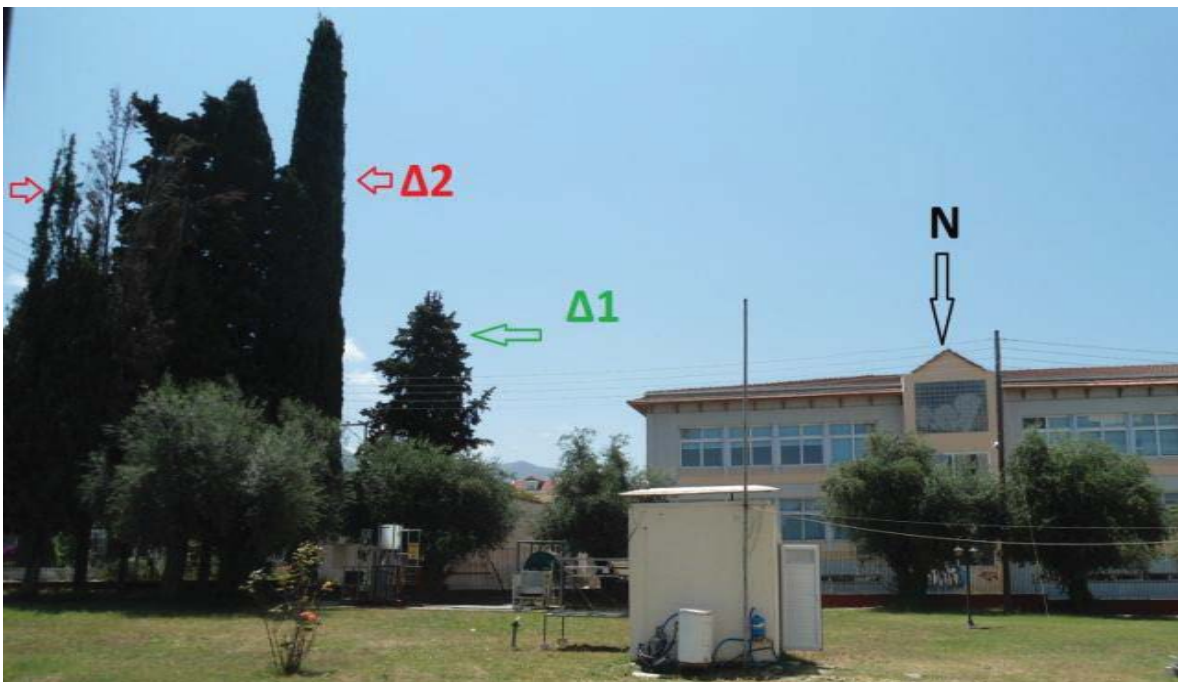
Εικόνα 4.4 : Αναπαράσταση ζενιθίας και αζιμούθιας γωνίας



Εικόνα 4.5: Πολικός χάρτης

Παρακάτω αναλύεται κατά βήματα ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να γίνεται μια μελέτη για σκίαση :

1. Επιλογή σημείων ενδιαφέροντος προς σκίαση.
2. Παρατήρηση φυσικών εμποδίων που πιθανόν σκιάζουν τα σημεία ενδιαφέροντος και καταγραφή τους.
3. Προμήθεια τοπογραφικών της περιοχής.
4. Προμήθεια σχεδίων, από τυχόν κτήρια.
5. Μέτρηση και υπολογισμός διαστάσεων των υπόλοιπων εμποδίων.
6. Υπολογισμός της αζιμούθιας γωνίας (θέση προσανατολισμού) των εμποδίων και της γωνίας του ύψους τους (ύψος).
7. Αναπαράσταση των φυσικών εμποδίων στο πολικό διάγραμμα.
8. Υπολογισμός αζιμούθιας και ζενιθίας γωνίας του ηλίου ανά ώρα για κάποιες ημερομηνίες και αποτύπωση τους στο πολικό διάγραμμα.
9. Συμπεράσματα ημερομηνιών, ωρών και διάρκειας σκίασης του σημείου ενδιαφέροντος.



Εικόνα 4.6: Διάκριση φυσικών εμποδίων σκίασης οικίσκου

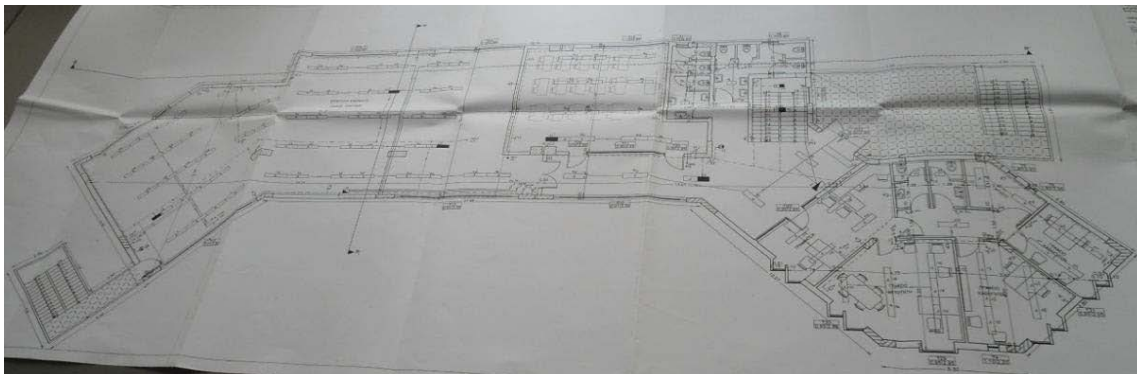
Ο Υπολογισμός των γωνιών ύψους και της αζιμούθιας γωνίας κάθε σημείου του εκάστοτε εμποδίου είναι απαραίτητες για την αποτύπωση τους στο πολικό διάγραμμα.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται γρήγορα και οι υπόλοιπες γωνίες σε σχέση με την κάθετο του συλλέκτη προς το κτήριο ή με άλλα λόγια σε σχέση με τον Νοτιά.

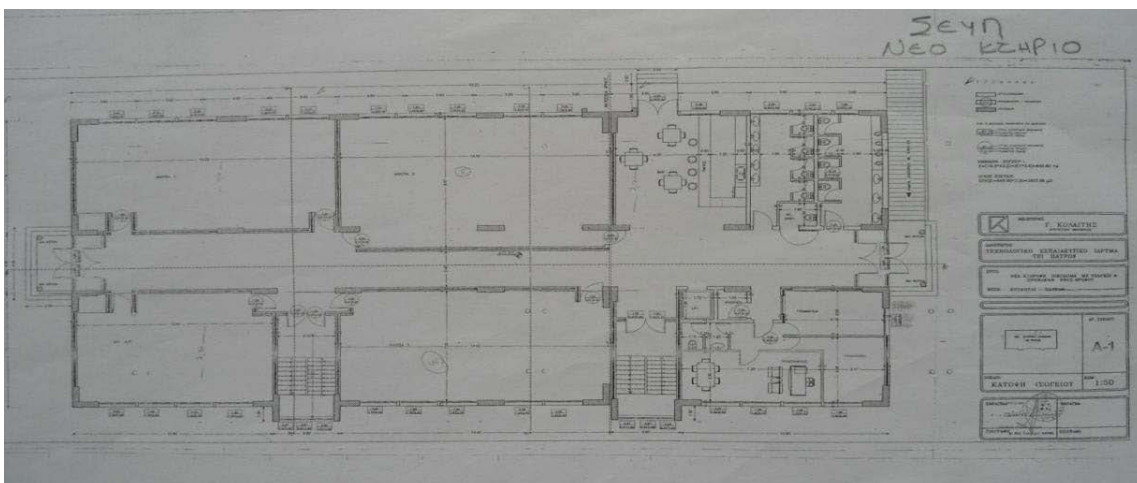
Όμοια υπολογίζονται οι γωνίες για όλα τα φυσικά εμπόδια για τον κατακόρυφο συλλέκτη αλλά και την οροφή. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω γωνίες, αποτυπώνουμε τα φυσικά εμπόδια στον πολικό χάρτη για τον συλλέκτη της πρόσοψης και για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά.



Εικόνα 4.7: Διάκριση φυσικών εμποδίων σκίασης οικίσκου



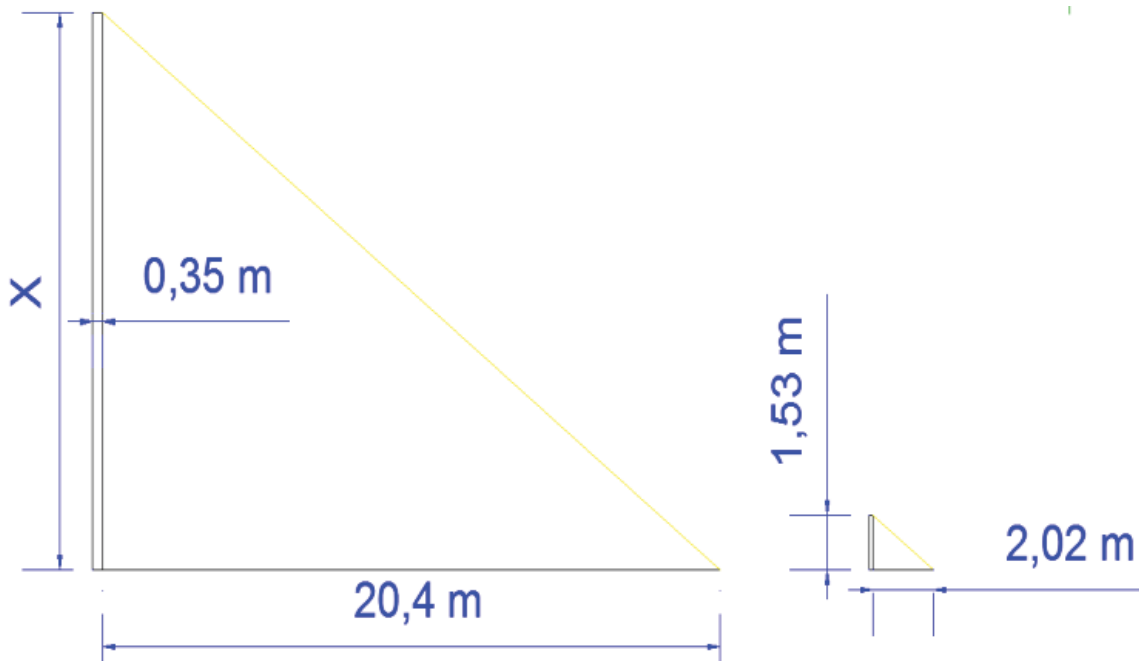
Εικόνα 4.8: Κάτοψη κτηρίου Ηλιακής Ενέργειας



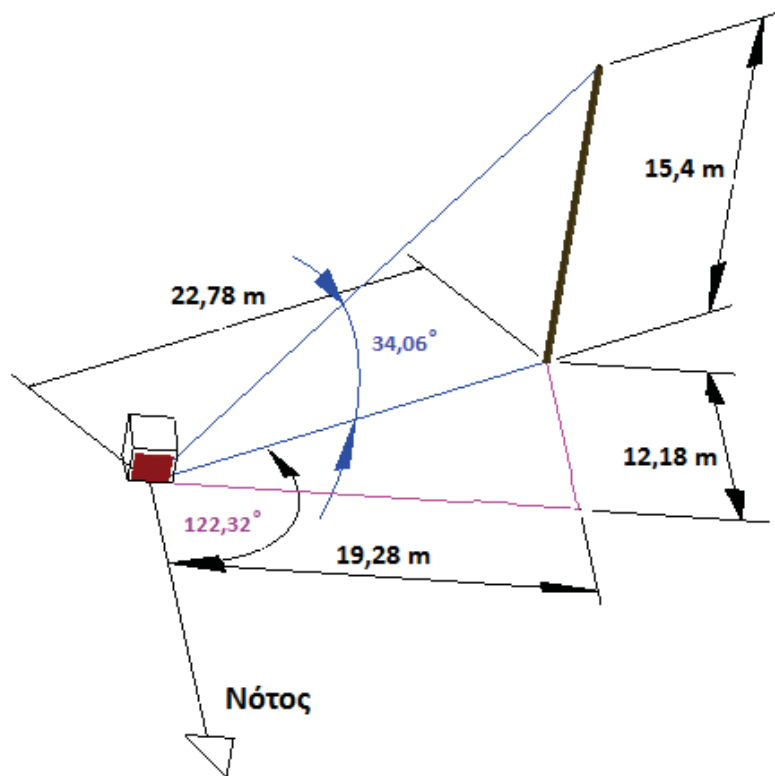
Εικόνα 4.9: Κάτοψη κτηρίου Νοσηλευτικής



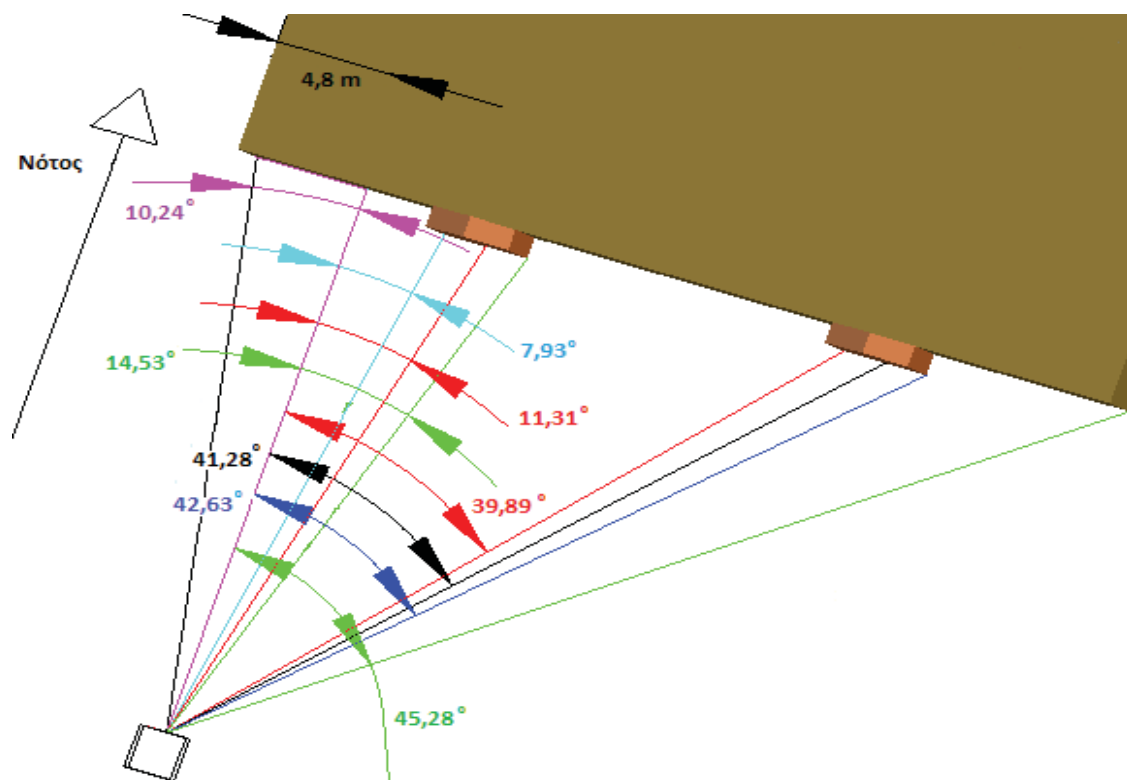
Εικόνα 4.10: Μέτρηση σκιάς κολώνας



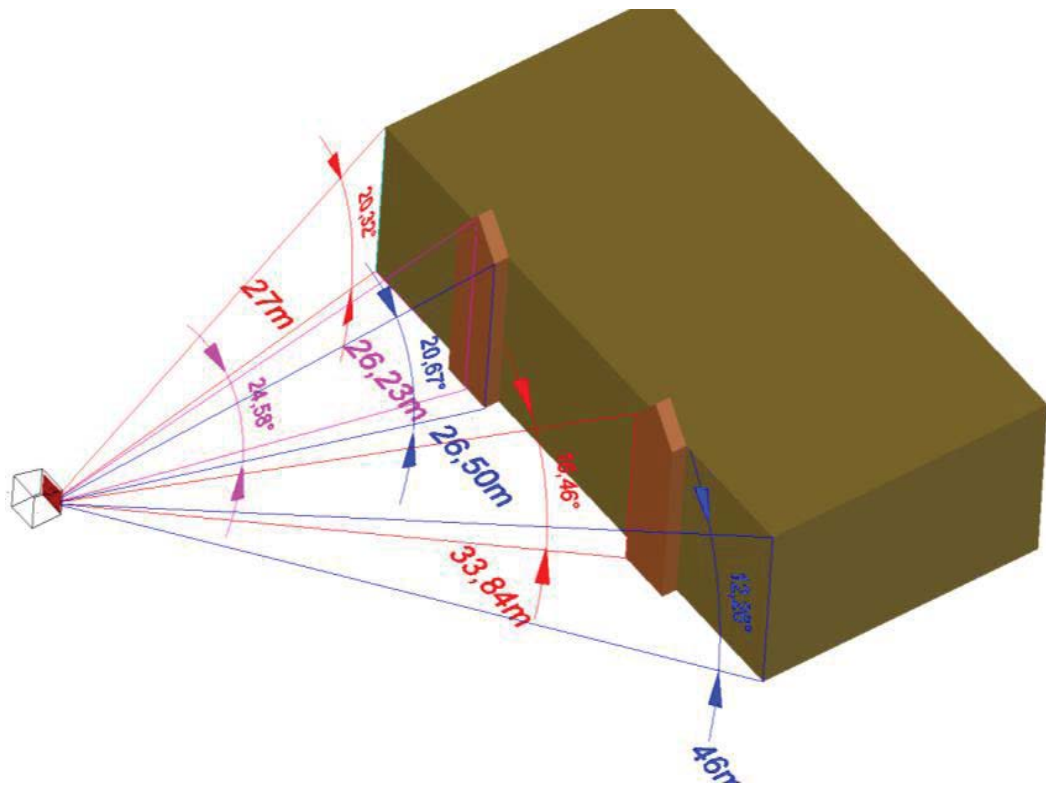
Εικόνα 4.11: Αναπαράσταση μετρήσεων



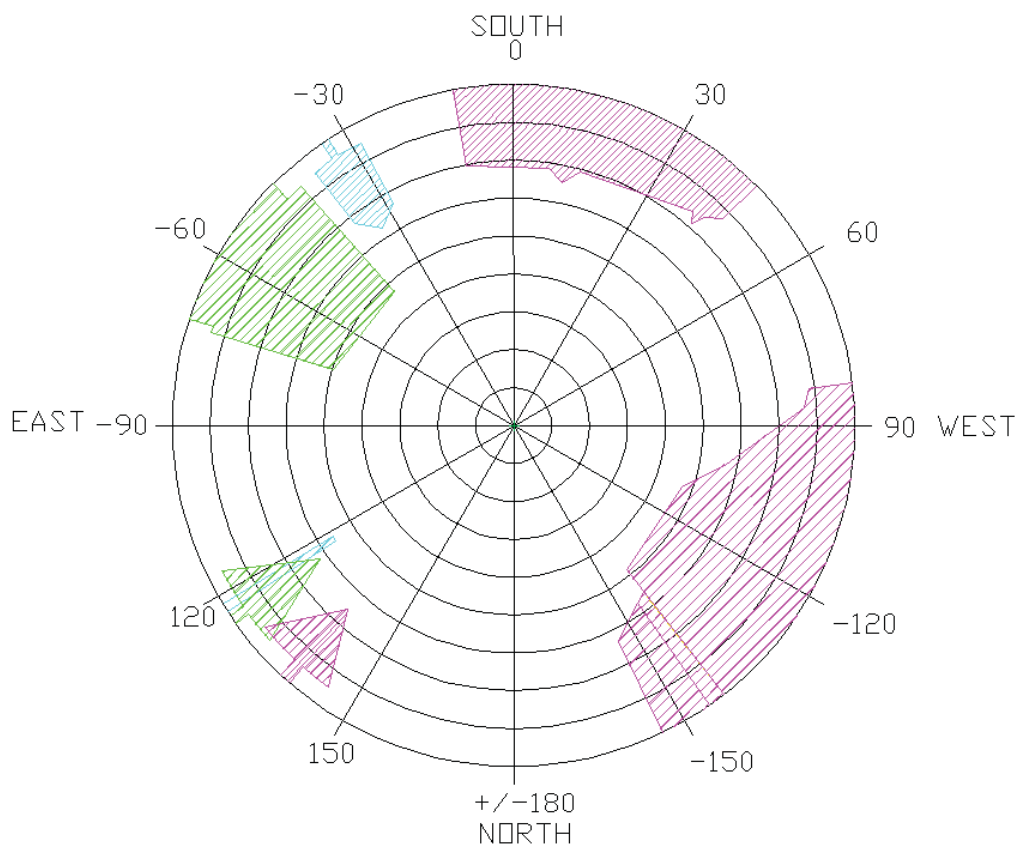
Εικόνα 4.12: Αναπαράσταση μετρήσεων



Εικόνα 4.13: Αζιμούθιες γωνίες κύριων σημείων κτηρίου Νοσηλευτικής Ν



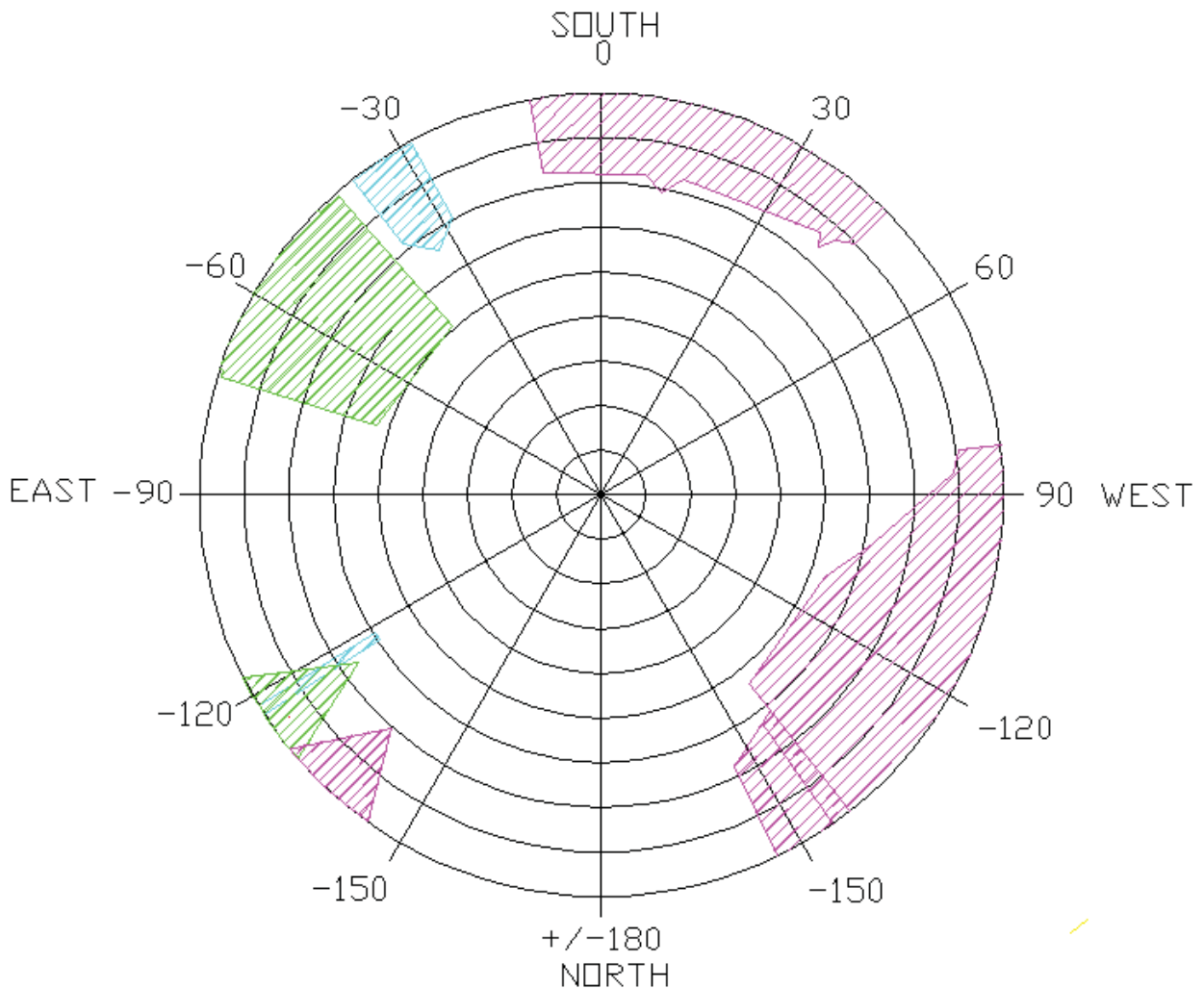
Εικόνα 4.14: Μερικές κύριες γωνίες ύψους και οι αποστάσεις των σημείων τους από το σημείο ενδιαφέροντος για το κτήριο Νοσηλευτικής Ν



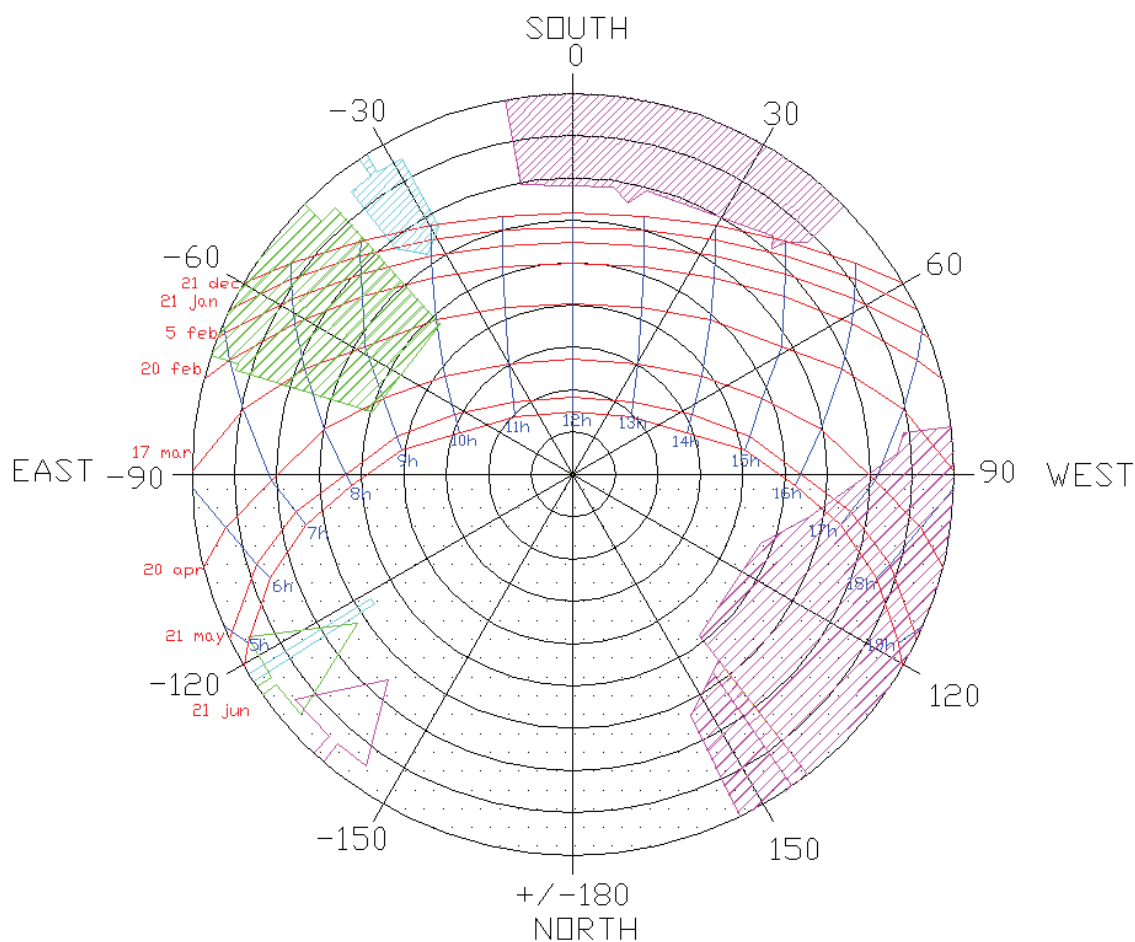
Εικόνα 4.15: Αποτύπωση εμποδίων στον πολικό χάρτη για τον συλλέκτη της πρόσοψης του οικίσκου

Στην περίπτωση της σκίασης του συλλέκτη της πρόσοψης, όλη η περιοχή που ορίζεται πίσω από το ευθύγραμμο τμήμα των γωνιών 90 και -90 μοιρών σκιάζει τον συλλέκτη διότι βρίσκεται ενσωματωμένος στον νότιο τοίχο του οικίσκου, και έτσι δεν το βλέπει ο ήλιος πριν από αυτό το διάστημα. Αυτό γίνεται ορατό κατά τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες που ο ήλιος ανατέλλει και δύει πίσω από αυτό το ευθύγραμμο τμήμα και εξακολουθεί να επικρατεί φαινόμενο σκίασης.

Είναι απαραίτητο αφού έχουμε αποτυπώσει όλα τα εμπόδια στον ηλιακό χάρτη, να προσθέσουμε σε αυτόν τις θέσεις του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας που ενδιαφερόμαστε. Για να αποτυπωθεί λοιπόν η τροχιά που ακολουθεί ο ήλιος κατά την διάρκεια μιας ημέρας, πρέπει να γνωρίζουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά ώρα) σε τι ύψος βρίσκεται ο ήλιος σε σχέση με το οριζόντιο (γωνία ύψους) καθώς επίσης και τον προσανατολισμό που βρίσκεται την ίδια χρονική στιγμή (αζιμούθια γωνία). Είναι εύκολο μετά ενώνοντας τα σημεία αυτά μεταξύ τους, να μπορούμε με σχετική ακρίβεια να προσδιορίσουμε την θέση του για κάθε χρονική στιγμή που επιθυμούμε.



Εικόνα 4.16: Αποτύπωση εμποδίων στον πολικό χάρτη για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά του οικίσκου



Εικόνα 4.17: Ολοκληρωμένος πολικός χάρτης για τον συλλέκτη της πρόσωσης του οικίσκου

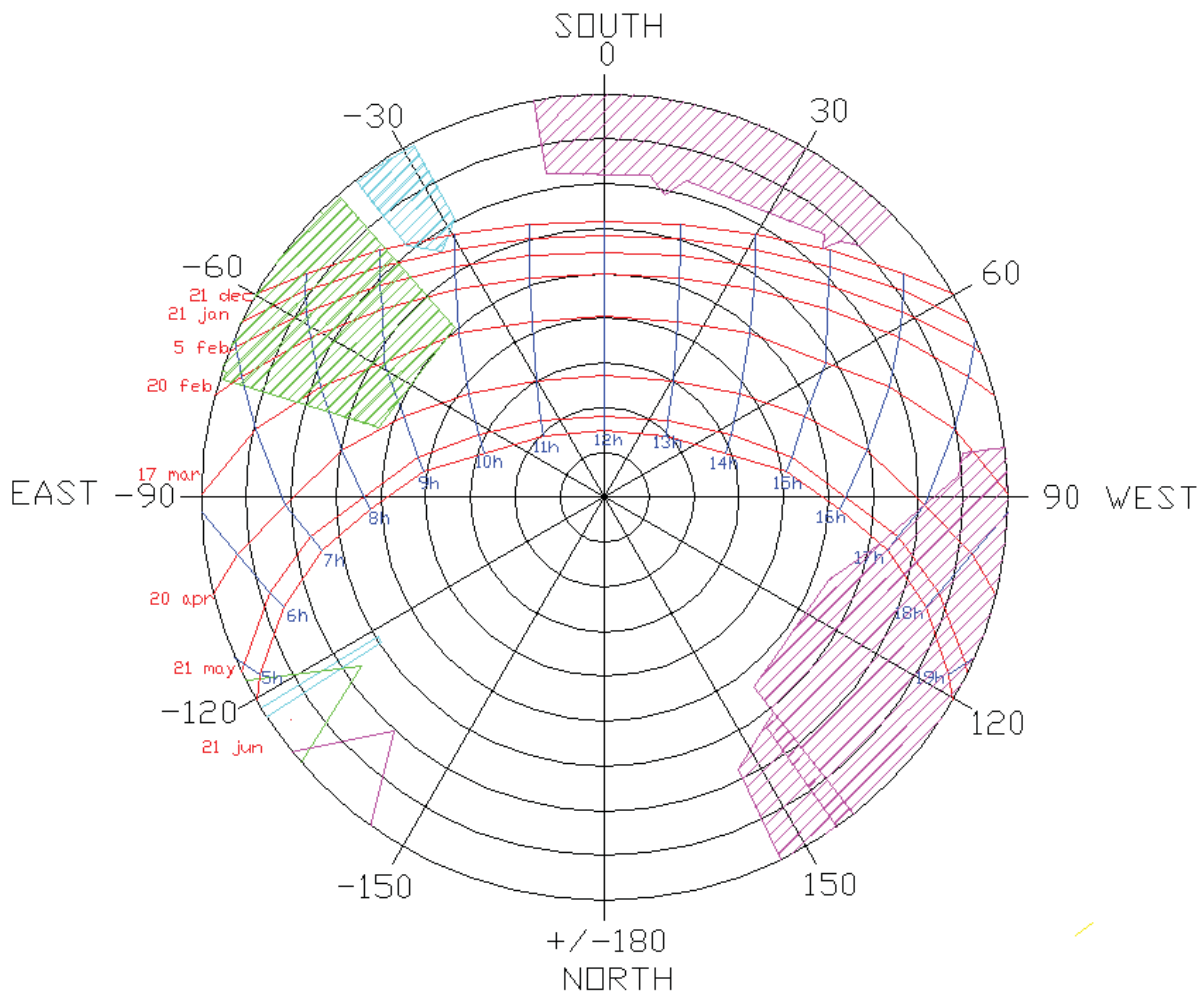
Παρακολουθώντας προσεκτικά το πολικό διάγραμμα για τον κατακόρυφο συλλέκτη, μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις ώρες που σκιάζεται από το κάθε εμπόδιο ξεχωριστά.

Για παράδειγμα κατά την ημερομηνία 21 Ιανουαρίου που εξετάσαμε και παραπάνω οι ώρες σκίασης είναι :

Από την ανατολή έως τις 9 :13 (ΑΗΧ) ο συλλέκτης σκιάζεται από τα δέντρα Δ2.

Από τις 9:30 (ΑΗΧ) έως τις 10:01 (ΑΗΧ) ο συλλέκτης σκιάζεται από το δέντρο Δ1.

Τις υπόλοιπες ώρες για την συγκεκριμένη ημερομηνία, δεν σκιάζει κάποιο εμπόδιο τον συλλέκτη.



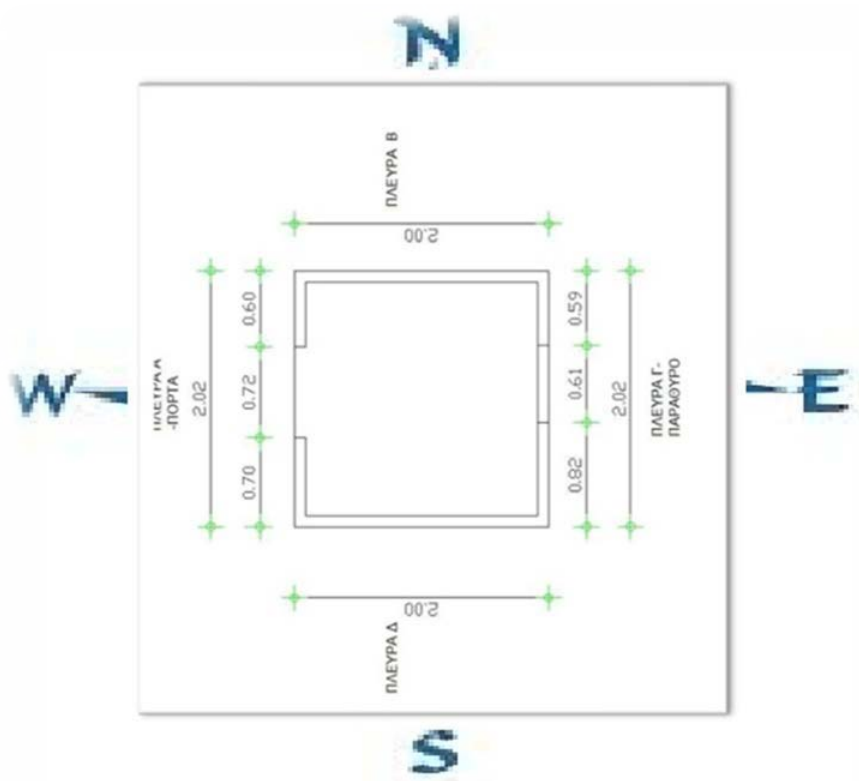
Εικόνα 4.18: Ολοκληρωμένος πολικός χάρτης για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά του οικίσκου

4.3 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

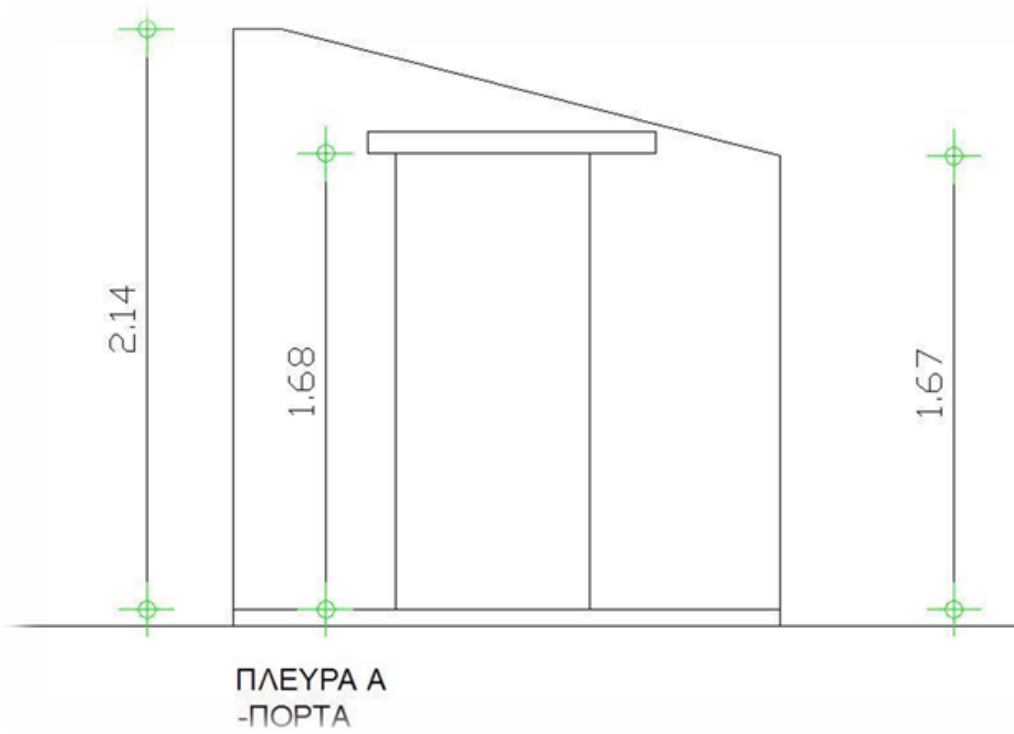
Με την βοήθεια του προγράμματος Auto Cad στην συνέχεια της πτυχιακής σχεδιάσαμε τον οικίσκο όπως φαίνεται στα παρακάτω σχέδια με επικλινή οροφή στην οποία θα τοποθετήσουμε τα φωτοβολταϊκά και τον ηλιακό συλλέκτη. Ο ενεργειακός οικίσκος κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο ΑΠΕ με ευθύνη του Καθ. Σ. Καπλάνη από το πρόγραμμα Αρχιμήδης Ι, για να αποτελέσει οικίσκο δοκιμών όσο αναφορά την θερμική αλλά και την ηλεκτρική ενέργεια μέσω των τεχνολογιών που έχει ενσωματωμένα. Οι διαστάσεις του φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 4.19: Συγκεντρωτικές διαστάσεις ενεργειακού οικίσκου



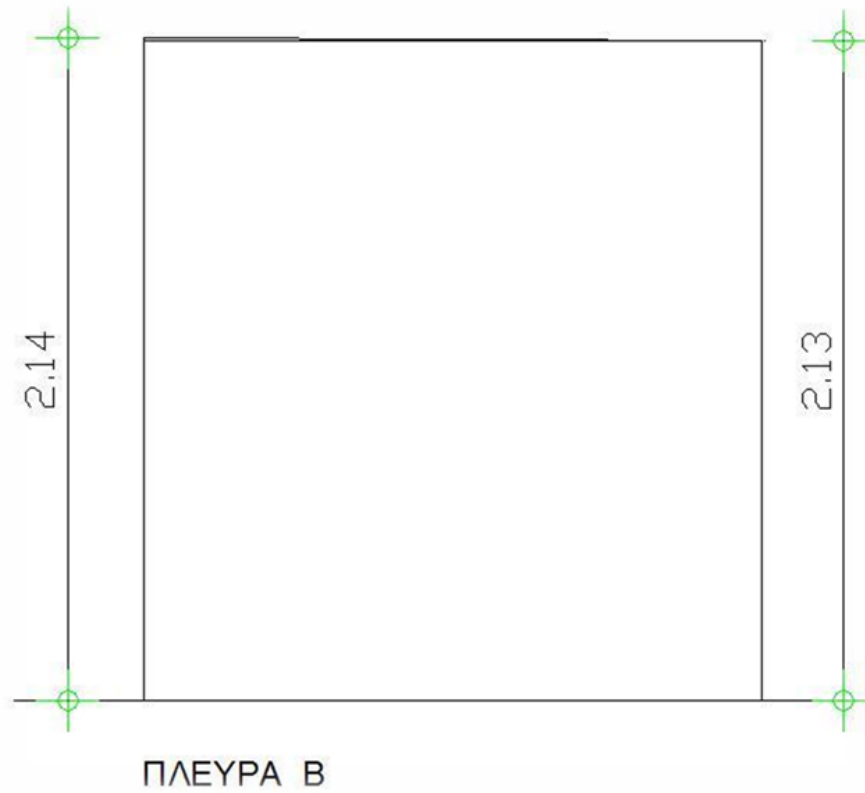
Εικόνα 4.20: Κάτοψη ενεργειακού κτιρίου



Εικόνα 4.21: πλάγια πλευρά Α του ενεργειακού κτιρίου δυτική πλευρά



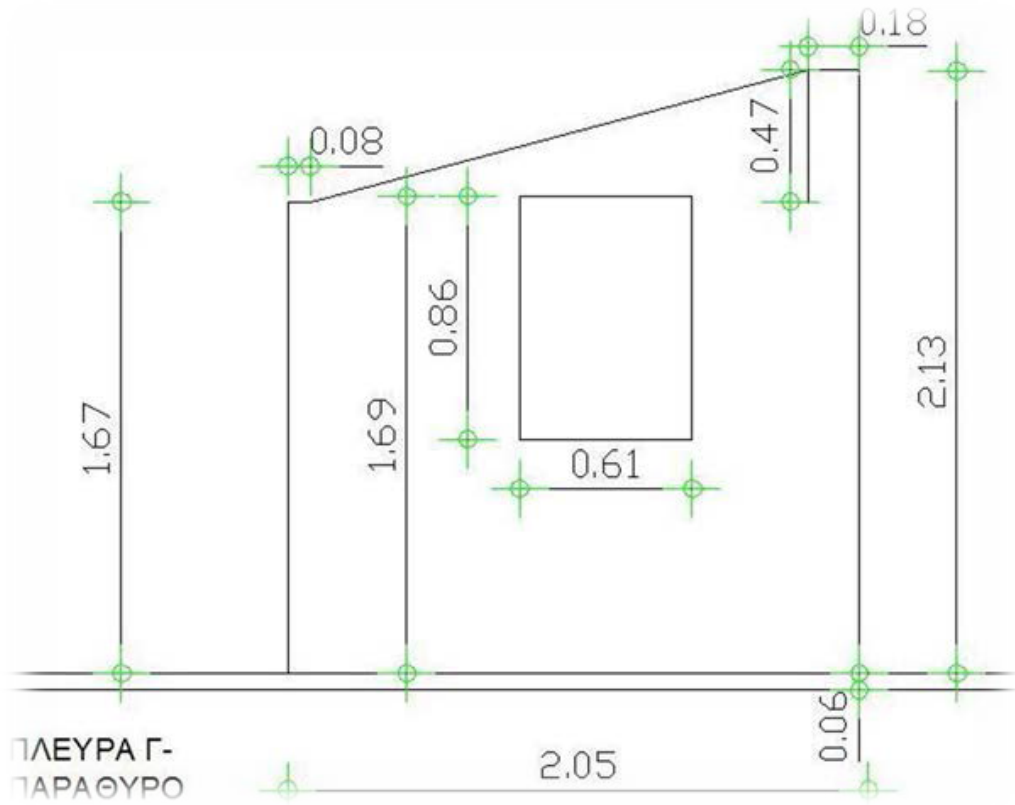
Εικόνα 4.22: δυτική πλευρά οικίσκου)



Εικόνα 4.23:πλάγια πλευρά Β του ενεργειακού κτιρίου, βόρεια πλευρά



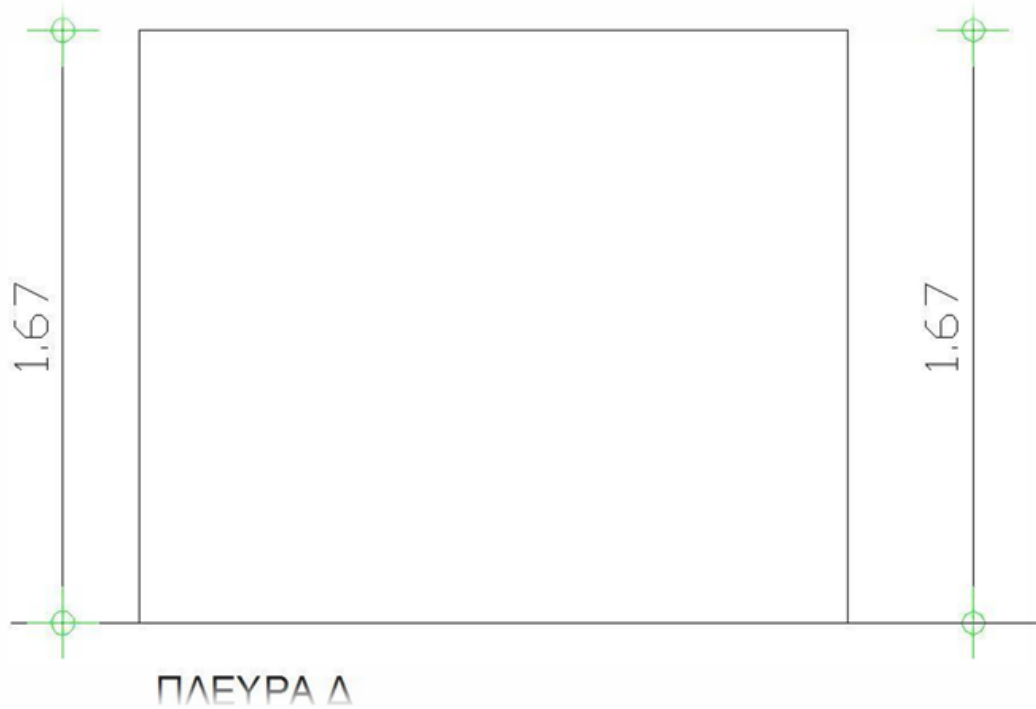
Εικόνα 4.24:βόρεια πλευρά οικίσκου



Εικόνα 4.25: πλάγια πλευρά Γ του ενεργειακού κτιρίου, ανατολική πλευρά



Εικόνα 4.26: ανατολική πλευρά οικίσκου



Εικόνα 4.27: πλάγια πλευρά Δ του ενεργειακού κτιρίου, νότια πλευρά



Εικόνα 4.28: νότια πλευρά οικίσκου

Όπως παρατηρούμε από τα σχέδια, ο οικίσκος έχει κεκλιμένη οροφή 18° πάνω στην οποία έχουν τοποθετηθεί τα φωτοβολταϊκά και έναν εκ των δυο ηλιακών συλλεκτών όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στην κορυφή της σκέπης τοποθετήθηκε ηλιακή οροφή η οποία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μας παρέχει ροή του αέρα και μια ελαφριά πτώση της θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.29: πρόσοψης ενεργειακού οικίσκου T.E.I. Δυτικής Ελλάδας

Τα δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ενεργειακού οικίσκου είναι κοινά με αυτά τα οποία χρησιμοποιούνται στις ανεγέρσεις σπιτιών. Οι τοίχοι του είναι φτιαγμένοι από τουβλοδομή και επενδυμένοι με επίχρισμα κονιάματος, από τους οποίους ο Νότιος τοίχος, στον οποίο έχει τοποθετηθεί κάθετο συλλέκτη (ενεργειακή πρόσοψη), είναι επενδυμένος επιπλέον με μονωτικό υλικό τύπου Εξηλασμένης Πολυστερίνης τύπου wall mate CW-A της DOW πάχους 5cm, ενώ η οροφή του είναι φτιαγμένη από ένα μεταλλικό πλαίσιο επενδυμένο με κοντραπλακέ θαλάσσης και τα ανοίγματα του, δηλαδή παράθυρο και πόρτα φτιαχτήκαν από αλουμίνιο.

Παρακάτω παραθέτουμε έναν πίνακα με τους θερμικούς συντελεστές των παραπάνω υλικών καθώς και το πάχος τους.

ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΠΑΧΟΣ (cm)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ κ
ΤΟΥΒΛΟΔΟΜΗ	10 cm	1.807
ΕΠΙΧΡΗΣΜΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	5 cm	1,39
ΜΕΤΑΛΛΟ	-	58.15
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	-	203,52
DAW	5 cm	0,033
ΚΟΝΤΡΑ ΠΛΑΚΕ ΘΑΛΑΣΣΗΣ	2 cm	0,14

4.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΕΝΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΤΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΟΙΚΙΣΚΟ.

Ειδικότερα για την καλύτερη απόδοση του οικίσκου, όπως προαναφέραμε, από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης και παραγωγής ενέργειας λάβαμε υπόψη μας τα εξής:

- Βιοκλιματικό σχεδιασμό.
- Εφαρμογή αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών και ορθολογική χρήση ενέργειας.
- Ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.)

4.4.1 ΗΛΙΑΚΗ ΚΑΜΙΝΑΔΑ

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει στην ηλιακή καμινάδα του οικίσκου. Συγκεκριμένα ο οικίσκος διαθέτει ηλιακή καμινάδα για φυσικό δροσισμό μέσω του φαινομένου του φυσικού ελκυσμού και συνεπώς της ανανέωσης του αέρα στο εσωτερικό του χώρου. Μέσω του φυσικού ελκυσμού, ο θερμός αέρας κινείται προς τα επάνω και έτσι δημιουργείται ένα ρεύμα στο εσωτερικό του χώρου, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του οικίσκου.

Η λειτουργία της καμινάδας αερισμού γίνεται σε συνδυασμό με το άνοιγμα της, το οποίο έχει την δυνατότητα να μεταβάλλεται. Πρόκειται για κατασκευή καμινάδας η οποία φέρει στη νότια η νοτιοδυτική επιφάνειά της (± 30 ο N) υαλοπίνακα αντί τοιχοποιίας (εν γένει έναν μικρό ηλιακό τοίχο) και περσίδες στο άνω τμήμα αυτής της πλευράς. Η λειτουργία της βασίζεται στο φαινόμενο Venturi και συμβάλλει αποτελεσματικά στον αερισμό και στην απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους, καθώς μέσω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που προκύπτει μέσα στην καμινάδα, ενισχύεται σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού και συνεπώς της ανανέωσης του αέρα μέσα στους χώρους. Καθώς

επιτυγχάνει διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα. Ο φυσικός αερισμός αποτελεί τη βασικότερη τεχνική απομάκρυνσης της θερμότητας από το κτίριο τους θερμούς μήνες, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με φυσικά μέσα. Αποτελεί τη σημαντικότερη και συνηθέστερη μέθοδο φυσικού δροσισμού, εφόσον γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο. Με το φυσικό δροσισμό επιτυγχάνονται τρία πράγματα:

- Απομακρύνεται η θερμότητα από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν
- Απομακρύνεται η αποθηκευμένη θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (όταν αυτά αποτελούνται από επαρκή θερμική μάζα)
- Απομακρύνεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου, ακόμα και σε σχετικά ψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 4.30 : Ηλιακή καμινάδα οικίσκου

Εν γένει ο φυσικός αερισμός, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι:

- Διαμπερής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα

Ο φυσικός αερισμός μπορεί να γίνεται και εξωτερικά του κτιρίου ή και διαμέσου του κελύφους του, συμβάλλοντας έτσι στην απομάκρυνση της θερμότητας από το κτιριακό κέλυφος. Ο φυσικός αερισμός των κτιρίων μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Από μετρήσεις και ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις

σε κατοικίες στην Ελλάδα, προκύπτει μείωση της τάξης του 75 με 100% του ψυκτικού φορτίου λόγω του αερισμού (εφόσον εφαρμόζεται επαρκής ηλιοπροστασία στα κτίρια), γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υποκαταστήσει ένα κλιματιστικό σύστημα, καθώς δημιουργούνται συνθήκες θερμικής άνεσης μέσα στους χώρους. Σε περιοχές με έντονο άνεμο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής πύργων αερισμού, οι οποίοι προεξέχουν σημαντικά από την οροφή του κτιρίου, φέρουν άνοιγμα προς την σημαντική κατεύθυνση του ανέμου και έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» τα ψυχρά ρεύματα αέρα και να τα κατευθύνουν μέσα στο χώρο, υποβοηθούμενοι, σε ορισμένες περιπτώσεις, από ανεμιστήρα.



Εικόνα 4.31 : Ηλιακή καμινάδα οικίσκου

4.4.2 ΗΛΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΨΗ

Ο ενεργειακός οικίσκος, περιλαμβάνει δύο ιδιοκατασκευασμένους ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού προς χρήση και θέρμανση χώρου μέσω του ενδοδαπέδιου συστήματος. Χαρακτηριστικό και των δύο αυτών συλλεκτών είναι πως βρίσκονται προσανατολισμένοι στον Νότο για να μεγιστοποιούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο ένας συλλέκτης (της πρόσοψης) αποτελεί μέρος της νότιας πρόσοψης του οικίσκου, ενώ ο άλλος αποτελεί τμήμα της οροφής του. Οι συλλέκτες αυτοί συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, συγκεκριμένα η έξοδος του συλλέκτη της πρόσοψης είναι η είσοδος του συλλέκτη της οροφής.

Οι ηλιακοί τοίχοι αποτελούνται από τοιχοποιίες συνδυαζόμενες με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5-15 cm. Η τοιχοποιία μπορεί να είναι είτε μη μονωμένος τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας, είτε θερμομονωμένη κατασκευή. Το

υαλοστάσιο μπορεί να είναι σταθερό ή αναγόμενο και να φέρει μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες. Οι ηλιακοί τοίχοι συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μεταδίδουν σε μορφή θερμότητας στους χώρους. Από μετρήσεις, ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις βιοκλιματικών κτιρίων σε διάφορες περιοχές της χώρας, προκύπτει ότι μπορούν να συνεισφέρουν σε εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση κατοικιών σε ποσοστό 10-40%.

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης αποτελούνται από τοίχο κατασκευασμένο από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγή τούβλα, ή δοχεία που περιέχουν νερό ή άλλο υλικό (υλικό αλλαγής φάσης). Η εξωτερική τους επιφάνεια είναι σκούρου χρώματος για αύξηση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απορροφημένη ακτινοβολία μεταδίδεται με αγωγή, ακτινοβολία και συναγωγή (μεταφορά μέσω του αέρα) στον εσωτερικό χώρο.

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- απλοί τοίχοι μάζας (μη θερμοσιφωνικής ροής, χωρίς θυρίδες) είτε συμπαγούς κατασκευής, είτε αποτελούμενοι από δοχεία νερού ή με υλικά αλλαγής φάσης
- τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής (Trombe - Michel)



Εικόνα 4.32 : Συλλέκτης πρόσοψης οικίσκου

Στην περίπτωση του τοίχου Trombe-Michel, μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοπίνακα μεταφέρεται μέσω θυρίδων στον εσωτερικό χώρο. Οι θυρίδες του τοίχου βρίσκονται στο άνω και κάτω τμήμα του και κατά τη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα παραμένουν ανοικτές. Έτσι, μέρος της θερμικής ενέργειας που συσσωρεύεται στο διάκενο (μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου) μεταφέρεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα από τις θυρίδες, στο επάνω μέρος του τοίχου, στον εσωτερικό χώρο.

Αντίστοιχα, ο ψυχρός αέρας του χώρου μεταφέρεται μέσω των θυρίδων στο κάτω μέρος του τοίχου στο διάκενο, όπου και θερμαίνεται και ανέρχεται, δημιουργώντας συνεχή ροή θερμότητας προς το χώρο. Κατά τη διάρκεια της νύκτας και τις νεφосκεπείς ημέρες οι θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου μπορούν να παραμένουν κλειστές, ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα.

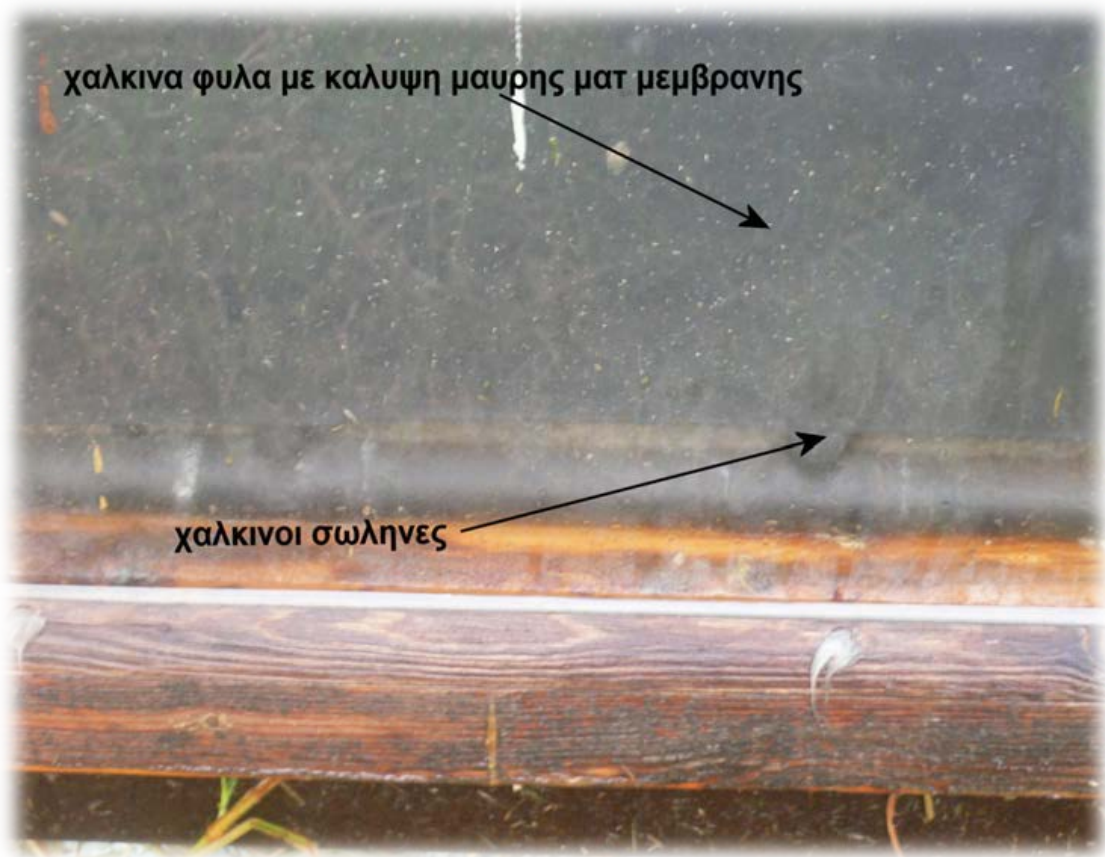
Για όλους τους τοίχους θερμικής αποθήκευσης απαιτείται ηλιοπροστασία της συλλεκτικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού με κινητά εξωτερικά πετάσματα. Παράλληλα, συνιστάται κατά τη διάρκεια της νύκτας να ανοίγουν τμήματα του υαλοστασίου, ώστε ο αέρας που βρίσκεται στο διάκενο, να κατευθύνεται προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρασύροντας και τον αέρα του εσωτερικού χώρου.

Κατά τη διάρκεια της νύκτας και τις νεφосκεπείς ημέρες οι θυρίδες στο επάνω μέρος του τοίχου μπορούν να παραμένουν κλειστές, ώστε να εμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση του θερμού αέρα από το χώρο προς την εξωτερική ψυχρή επιφάνεια του υαλοπίνακα. Στις περιοχές όπου παρατηρούνται χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο συνιστώνται διπλοί υαλοπίνακες στο υαλοστάσιο καθώς και νυχτερινή προστασία με κινητά θερμομονωτικά εσωτερικά (στο διάκενο) ή εξωτερικά πετάσματα.

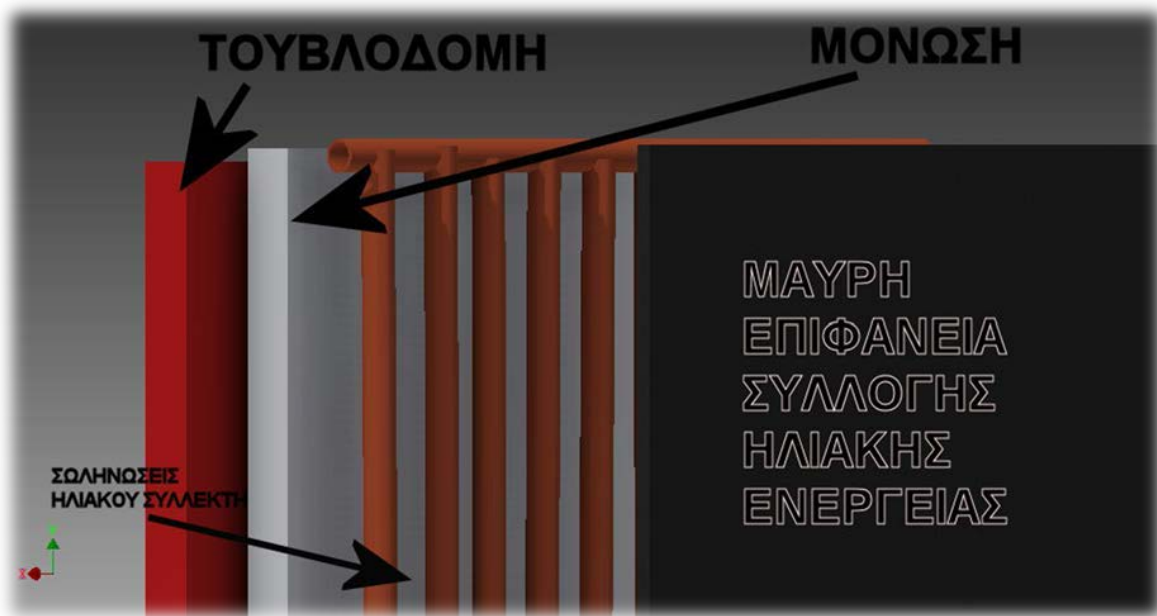
Υλοποιώντας τα περισσότερα από τα παραπάνω κατασκευάστηκε στον προαύλιο χώρο του εργαστηρίου ΑΠΕ ηλιακή πρόσοψη από τουβλοδομή στην οποία έχει τοποθετηθεί ειδική κατασκευή αποτελούμενη από φύλλα χαλκού 2mm επενδυμένα με μαύρη ματ μεμβράνη, με μεγάλο θερμικό συντελεστή, ούτως ώστε να απορρόφα την ηλιακή ενέργεια. Πίσω από την επιφάνεια έχουν μπει χάλκινοι σωλήνες $\frac{1}{4}$ της ίντσας.

Ο συλλέκτης της πρόσοψης, αποτελεί μέρος του νότιου τοίχου του ενεργειακού οικίσκου, δηλαδή θα μπορούσαμε να πούμε πως στην θέση της τουβλοδομής βρίσκεται το σύστημα του συλλέκτη. Κατά συνέπεια στέκεται υπό κλίση 90° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και αποτελείται όπως ο κάθε συλλέκτης από :

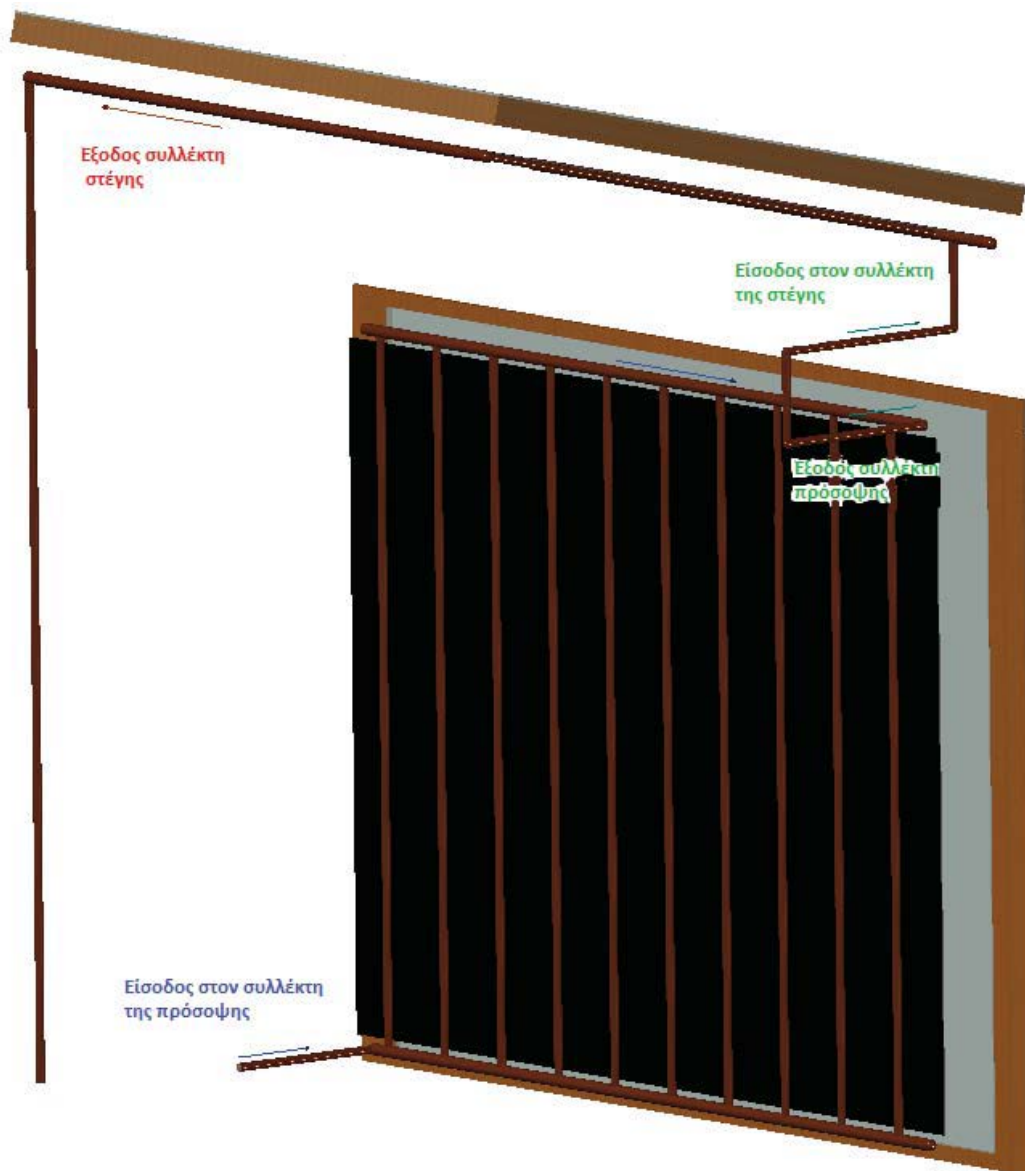
- Υαλοπίνακα πάχους 3 [mm]
- Μαύρη συλλεκτική επιφάνεια πάχους 2 [mm]
- 10 κάθετους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου $\Phi 15$ [mm]
- 2 οριζόντιους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου $\Phi 22$ [mm]
- Μόνωση πετροβάμβακα πάχους 45 [mm]



Εικόνα 4.33: ηλιακή πρόσοψη οικίσκου



Εικόνα 4.36: 3D ανάλυση ηλιακής πρόσοψης)



Εικόνα 4.34: Συνδεσμολογία ιδιοκατασκευής συλλεκτών οικίσκου

Εξωτερικά η ιδιοκατασκευή του συλλέκτη αυτού έχει επενδυθεί περιμετρικά με ξύλινο προστατευτικό πλαίσιο, προκειμένου να αποτελεί μια ολότητα με το υπόλοιπο του εξωτερικού τοίχου για θερμικούς και αισθητικούς λόγους. Σχετικά με την θερμική συμπεριφορά αυτού του ηλιακού συλλέκτη, δεν θα ασχοληθούμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία, όμως θα μελετήσουμε ενεργειακά την απόδοση του συλλέκτη της στέγης.

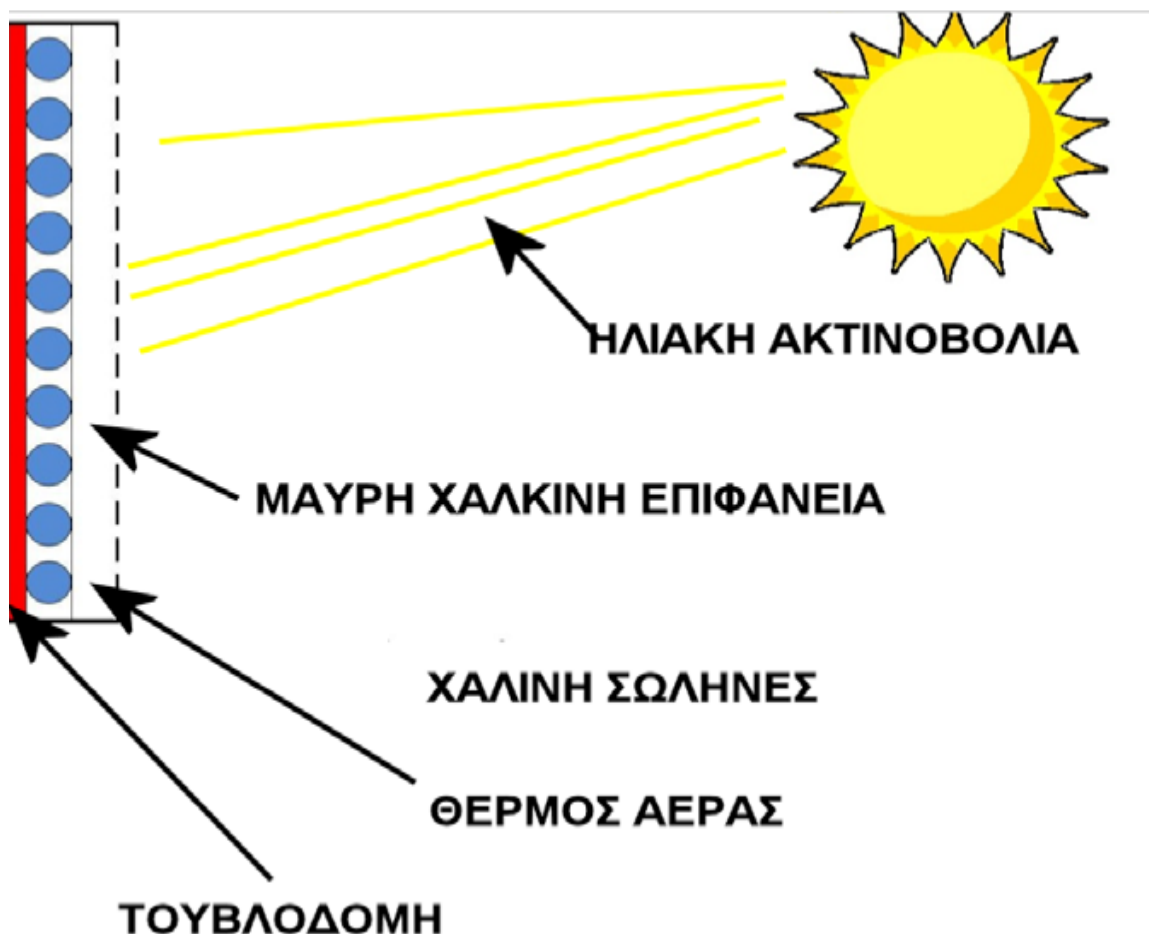
4.4.3 ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

Ο συλλέκτης της στέγης εκτός από την ιδιότητα του να μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, αποτελεί και ένα μεγάλο μέρος της οροφής του οικίσκου αφού το υπόλοιπο είναι τα δυο φωτοβολταϊκά πλαίσια και ένα μικρό υάλινο κάλυμμα. Η εφαρμογή αυτή βρίσκει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα ενεργειακά κτήρια κατά τους χειμερινούς μήνες, αφού το ποσό θερμότητας που χάνεται από την πίσω όψη του συλλέκτη μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μειώνοντας τις θερμικές απαιτήσεις του χώρου.

Από την άλλη κατά το διάστημα του καλοκαιριού αποτελεί επιπλέον θερμικό κέρδος αυξάνοντας την κατανάλωση των κλιματιστικών. Επί το πλείστον στο εσωτερικό του οικίσκου αμέσως μετά το ξύλινο κάλυμμα στην οροφή ακολουθεί η μόνωση του συλλέκτη, οι σωληνώσεις κτλ. Ο συλλέκτης της στέγης όπως και ο συλλέκτης της πρόσοψης, είναι προσανατολισμένος στον νότο υπό κλίση $\varphi = 13,58 [^\circ]$ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία :

- Υαλοπίνακα πάχους 4,5 [mm]
- Ξύλινο περιφερικό περίβλημα, πλαίσιο στήριξης υαλοπίνακα πάχους 40 [mm]
- Μαύρη συλλεκτική επιφάνεια πάχους 2 [mm]
- 7 κάθετους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου $\Phi 15$ [mm]
- 2 οριζόντιους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου $\Phi 22$ [mm]
- Μόνωση πετροβάμβακα πάχους 45 [mm]

Εξωτερικά ο συλλέκτης αυτός έχει επενδυθεί περιμετρικά με πλαίσιο αλουμινίου για την αντοχή του στον χρόνο. Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου συλλέκτη θα αναλυθεί παρακάτω σχετικά με το θερμικό κέρδος που παράγει κατά μια μέρα ενός καλοκαιρινού μήνα και θα βρεθεί η απόδοση του κατά τις ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι.



Εικόνα 4.35: οριζόντια τομή της νότιας πρόσοψης

4.4.4 ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα (κυκλοφορητές, συσσωρευτές, μετατροπέας AC/DC, ροόμετρο) είναι ο κορμός της διανομής των φορτίων από τις μονάδες παραγωγής (PV-panel, ενεργειακή πρόσοψη, ηλιακό συλλέκτη) στις μονάδες κατανάλωσης, ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, ηλεκτρικούς καταναλωτές (λαμπτήρες και κυκλοφορητές).

4.4.4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

Το σύστημα θέρμανσης του νερού από τους ηλιακού συλλέκτες αποτελείται από μονοσωλήνια σωληνογραμμή μιας ίντσας που είναι συνδεδεμένη με κυκλοφορητή, οδηγώντας το νερό στους ηλιακούς συλλέκτες και το οποίο εξάγεται σε αυτοσχέδια δεξαμενή αποθήκευσης.



Εικόνα 4.37: δεξαμενή αποθήκευσης ZNX

4.4.4.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΕΣ

Οι κυκλοφορητές που τοποθετήθηκαν στον ενεργειακό οικίσκο είναι της εταιρία GRUNDFOS και των οποίων τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Supply voltage	1 x 230 V – 10 %/+ 6 %, PE
output frequency	50 Hz
Motor protection	The pump requires no
Enclosure class	IP 42
Insulation class	F
Relative air humidity Maximum	95 %
Ambient temperature	0 °C to +40 °C
Temperature class	TF110 to CEN 335-2-51
EMC (electromagnetic	EN 61000-6-2 and EN 61000-
Sound pressure level Δ	43 dB(A)



Εικόνα 4.38: Κυκλοφορητής GRUNDFOS συστήματος θέρμανσης από ηλιακούς συλλέκτες



Εικόνα 4.39: Κυκλοφορητής ενδοδαπέδιας θέρμανσης



Εικόνα 4.40 : Ενδείξεις θερμοκρασιών

4.4.5 ΡΟΟΜΕΤΡΟ

Η αρχή λειτουργίας του συγκεκριμένου ροόμετρου βασίζεται σε ηλεκτρομαγνητικούς αισθητήρες που μετρούν την ογκομετρική παροχή ενός ρευστού σε έναν αγωγό. Το ροόμετρο αυτό μέσω ενός ηλεκτρονικού κύκλωμα μετατρέπει τα δεδομένα της παροχής και του συνόλου των λίτρων του ρευστού από την αναλογική μέτρηση σε ψηφιακή μορφή. Η ογκομετρική παροχή μετράτε στο συγκεκριμένο όργανο σε λίτρα ανά ώρα και ο όγκος του ρευστού, που διαρρέει από την διατομή του αγωγού σε ορισμένο χρονικό, διάστημα σε λίτρα.

Power Supply	230, 240, 115, 24 VAC 50, 60 Hz. 24
Analogue Output	4-20 mA. Active or passive.
Pulse Output	Opto-isolated. Vmax: 30 VDC. Imax:
Totalizer	N ^o of digits: 7 (2 decimals)**
Flow rate indication	N ^o of digits: 4 (upto 2 decimals)
General Characteristics	Protection rating: IP67
Electrical characteristics	Reception impedance:



Εικόνα 4.41: ροόμετρο κυκλώματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης οικίσκου

4.4.5.1 ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΕΝΕΡΓΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

Στο ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, που είναι και αυτό κατασκευασμένο από σωλήνα μιας ίντσας, έχουν τοποθετηθεί σε σειρά με αυτό κυκλοφορητή GRUNDFOS (που αναλύσαμε παραπάνω) και ένα ροόμετρο της εταιρεία TECFLUID. Το σύστημα καταλήγει σε χάλκινο σωλήνα $\frac{1}{4}$ της ίντσας ο οποίος λειτουργεί σαν εναλλάκτης θερμότητας. Ο εναλλάκτης απορρόφα θερμότητα από το είδη θερμό νερό που είναι αποθηκευμένο μέσα στην δεξαμενή, ζεσταίνοντας έτσι το νερό που έχουμε βάλει μέσα στο κύκλωμα. Κατά συνεπαγωγή όλης της διαδικασίας κίνησης του ρευστού θερμαίνουμε μέσω του ενδοδαπέδιου συστήματος τον χώρο του οικίσκου.

4.4.5.2 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

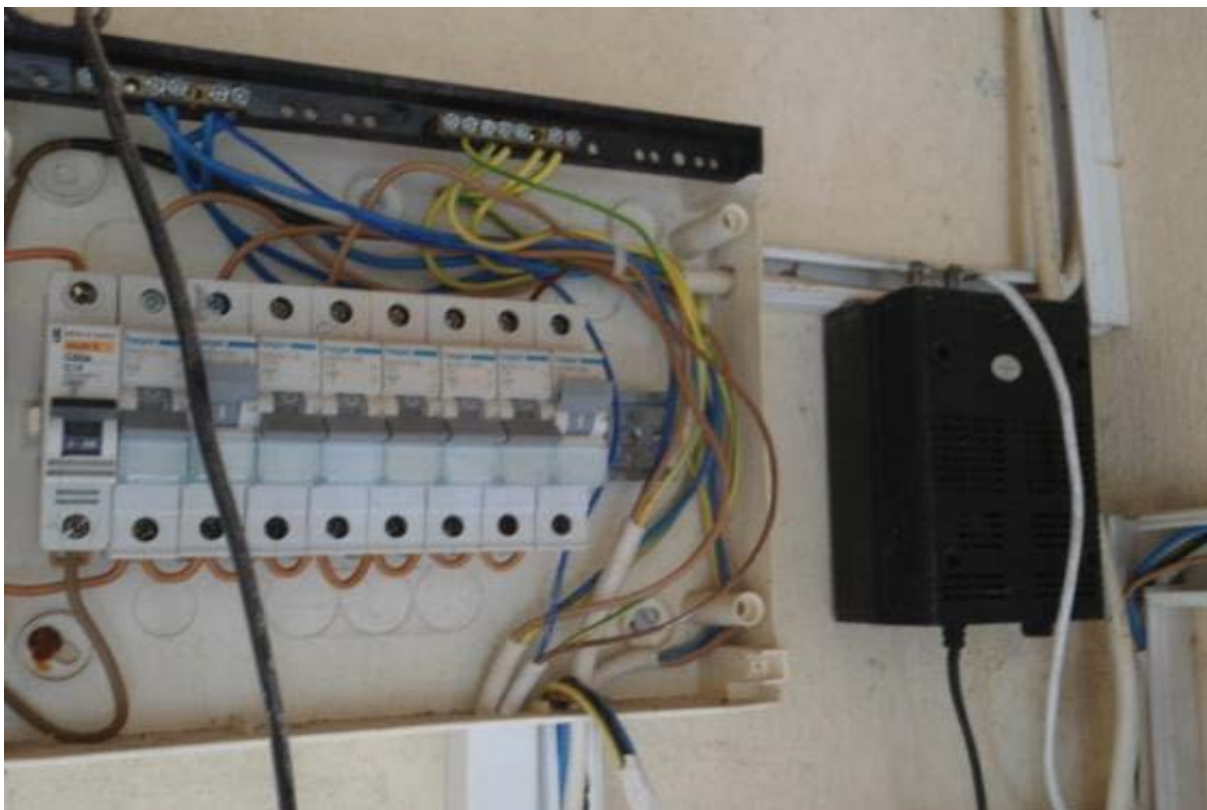
Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος τοποθετήσαμε μονοκρυσταλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια (pv panels) SIEMENS SM 55. Το παραγόμενο από αυτά συνεχές (DC) ηλεκτρικό ρεύμα περνάει από τον μετατροπέα (INVERTER) της εταιρίας STECA τύπου 900RI και στην συνέχεια διοχετεύεται στους συσσωρευτές (μπαταρίες). Παρακάτω βλέπουμε μονογραμμικό σχέδιο όλης της ηλεκτρικής εγκατάστασης του ενεργειακού οικίσκου.



Εικόνα 4.42: Σύνδεση ροόμετρου πριν την είσοδο για την ενδοδαπέδια θέρμανση



Εικόνα 4.43: Είσοδος ενδοδαπέδιας και δοχείο διαστολής

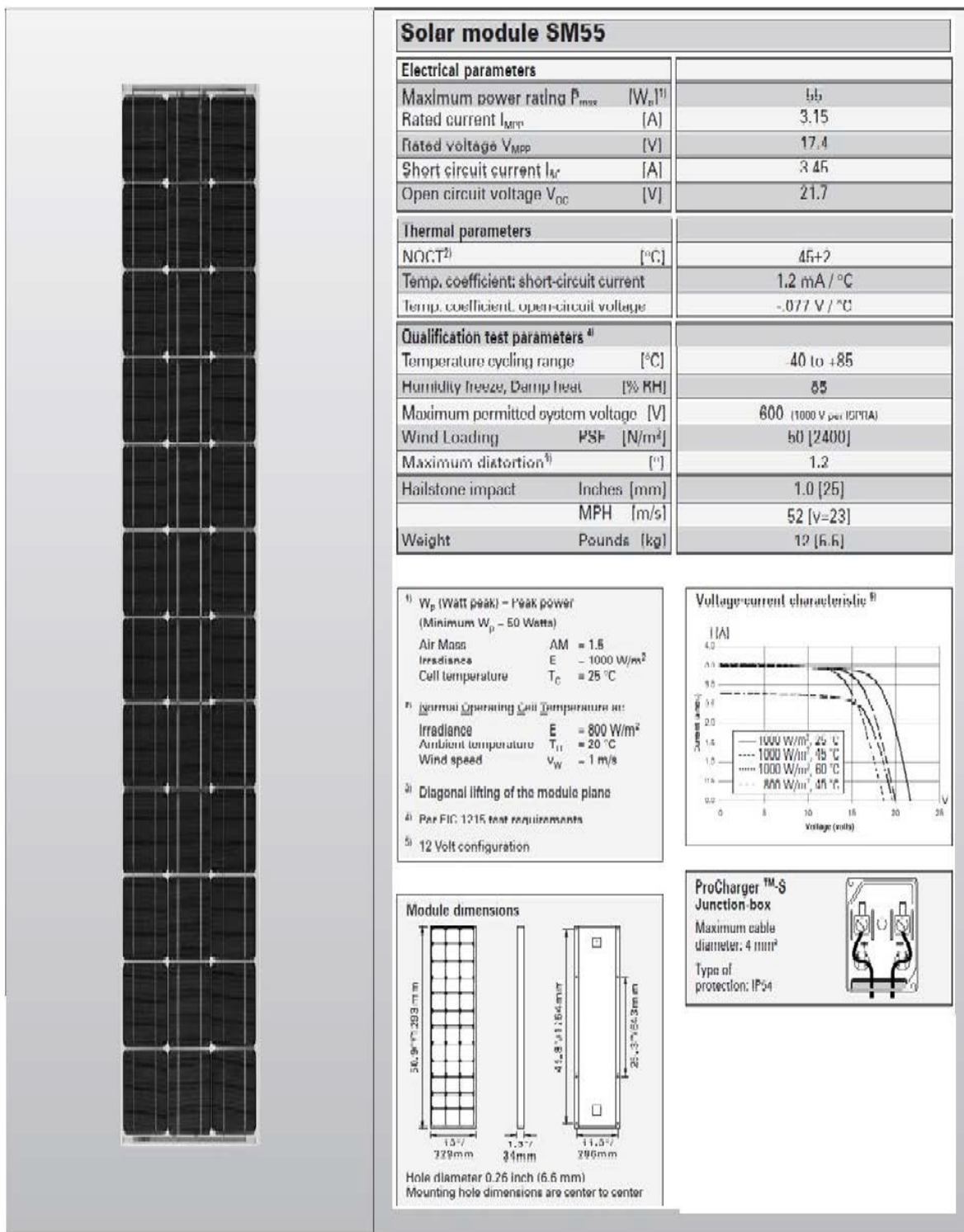


Εικόνα 4.44: Ηλεκτρολογικός πίνακας

4.4.5.3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Όπως προαναφέραμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που τοποθετήσαμε στον οικίσκο είναι μονοκρυσταλλικού τύπου της εταιρεία SIEMENS. Στην επόμενη σελίδα παρατίθεται πίνακας με τα πλήρη τεχνικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Μέγιστη ισχύς	Τάση ανοικτού κυκλώματος	Ρεύμα βραχυκύκλωσης	Ονομαστικό ρεύμα	Τάση Ονομαστική	Τάση ανοικτού κυκλώματος
55 watts	600 volts	3,45 Amp	3,15 Amp	17,4 volts	21,7 volts



Εικόνα 4.45: φωτογραφία και τεχνικά χαρακτηριστικά PV Panel

4.4.5.4 INVERTER (ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ DC/AC)

Ο μετατροπέας AC/DC είναι μια ηλεκτρονική διάταξη η είσοδος της οποίας συνδέεται με τα PV-πλαίσια και η έξοδος της με τους συσσωρευτές. Στην έξοδό του μετατρέπει την συνεχή τάση (DC) σε εναλλασσόμενη (AC), μονοφασική ή τριφασική κατάλληλης συχνότητας (π.χ. 50Hz), μορφής και τιμής (π.χ. 230V), με σκοπό την εξυπηρέτηση του καταναλωτή.



Εικόνα 4.46: Μετατροπέας (inverter) DC/AC STECCA 900 RI)

SOLARIX	900 I / 900 RI
DC-input nominal voltage	12V-24 V
input voltage range	21 - 32 V
nominal current	38 A
nominal power (at 30°C)	900 W

AC-output (at nominal voltage)	220 V +/-10 %
nominal voltage (true sinwave)	
nominal current	3,6 A
output frequency	50 Hz +/- 0,5 %
permissible cos phi of consumers General data	0,3 – 1
max. efficiency	92 %
power consumption in continuous mode	approx.430 mA
power consumption in stand-by mode	approx.50 mA
power consumption in sleep mode	approx. 15 mA
temperature range	-15 to 45°C
dimensions l*b*h	320x244x120 mm
weight	7,5 kg
protection class	IP 20 CE

4.5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΕΣ

Μετά από αρκετή μελέτη και επεξεργασία του συστήματος, παρουσιάζεται εν συντομία η λειτουργία του υδραυλικού κυκλώματος : Το Νερό ρέει στο εσωτερικό των συλλεκτών μέσω κυκλοφορητή και ζεσταίνει το νερό που βρίσκεται στην δεξαμενή αποθήκευσης μέσω σερπαντίνας. Οι δύο συλλέκτες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά μεταξύ τους, δηλαδή η έξοδος του κάθετου συλλέκτη με την είσοδο του υπό κλίση συλλέκτη (στέγης) Υπάρχει η δυνατότητα απομόνωσης του συλλέκτη της στέγης, έτσι ώστε να λειτουργεί μόνο ο κάθετος.

Το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης αρχίζει να λειτουργεί μέσω αυτοματισμού από την στιγμή που η θερμοκρασία χώρου είναι χαμηλή και η θερμοκρασία στην δεξαμενή είναι κατάλληλη, τότε ενεργοποιείται ο κυκλοφορητής και θερμαίνεται ο χώρος. Πριν την είσοδο του ζεστού νερού στο ενδοδαπέδιο σύστημα, μετράμε με την βοήθεια ροόμετρου την παροχή στο δίκτυο των σωληνώσεων. Το νερό που θα θερμάνει τον χώρο πρέπει να είναι σε κατάλληλη θερμοκρασία και όχι μεγαλύτερη ή μικρότερη, έτσι μέσω της τετράοδης βάνας μπορούμε να κάνουμε μείξη του νερού αυτού και να μειώσουμε την θερμοκρασία του εάν είναι πολύ θερμό ώστε να είναι εντός των ορίων που ορίζονται μεταξύ 30 και 40 [°C].

4.6 ΑΛΛΑΓΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Κατά τη μελέτη της συνεχούς λειτουργίας των συλλεκτών και της ενδοδαπέδιας θέρμανσης του οικίσκου παρατηρήθηκε ότι η παροχή στο ενδοδαπέδιο σύστημα και στους συλλέκτες είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι θα έπρεπε, και δεν υπήρχε τρόπος να την μειώσουμε. Αποφασίσαμε για τούτο να βάλουμε νέους μικρότερους κυκλοφορητές καθώς επίσης να γίνουν και κάποιες σημαντικές αλλαγές.

4.6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Βάνα συλλεκτών κλειστή:N13

Βάνα συλλεκτών ανοιχτή:N11

Από το σημείο 14 δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης Η, έχοντας κλειστή την βάνα N14 το νερό πάει στο σημείο 15 και από εκεί στο σημείο 16. και με ανοιχτές τις βάνες N15 και N16 το νερό περνάει από το ροόμετρο, καταγράφει την ροή και αμέσως μετά πάει στο σημείο 17 και από εκεί στο 18.

Με ανοιχτή την βάνα N10 παίρνουμε μέσω βρύσης το νερό που μπαίνει στην ενδοδαπέδια από το σημείο Ξ2 καθώς μετράμε και την πίεση μέσω του πιεσόμετρου Κ2

Με κλειστή την βάνα N10 :

Από το σημείο 18 το νερό οδηγείται στο 19 και στην είσοδο της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, βγαίνοντας από την ενδοδαπέδια πάει στο σημείο 20 και 21 (επιστροφή της τετράοδης βάνας Β) και από εκεί, πίσω στην δεξαμενή αποθήκευσης μέσω του σημείου 22 με ανοιχτή την βάνα Ν7.

Ύστερα από την δεξαμενή αποθήκευσης Α παίρνουμε το ζεστό νερό από το σημείο 23, και μπαίνει στην είσοδο της τετράοδης βάνας Β σημείο 24. Από εκεί το νερό φεύγει μέσω του σημείου 25 και πάει στο σημείο 26, όπου είναι και η αναρρόφηση της αντλίας της ενδοδαπέδιας Η ώστε να γίνει κύκλος.

Βάνες ενδοδαπέδιας κλειστές : N15 , N16

Βάνα ενδοδαπέδιας ανοιχτή : N14

4.6.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Η δεξαμενή αποθήκευσης σε περίπτωση που έχει χάσει νερό, το αναπληρώνει από το δίκτυο, σύμφωνα με το παρακάτω κύκλωμα :

Από το σημείο 29 όπου βρίσκεται η παροχή του δικτύου, με ανοιχτή την βάνα Ν9 το νερό οδηγείται στο σημείο 30 που έχουμε το σύστημα πλήρωσης (φλοτέρ) βάση της στάθμης της δεξαμενής. Το σύστημα περιέχει και δοχείο διαστολής Ι, πιεσόμετρο Κ1 καθώς και βαλβίδα ασφαλείας Ο.

4.6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

4.6.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

Το σύστημα εξαερισμού για κάθε κύκλωμα είναι :

Για το κύκλωμα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης έχουμε χρήση εξαερισμού με ανοιχτή την βάννα N8 μέσω του Λ2 και Λ4.

Για το κύκλωμα των συλλεκτών έχουμε χρήση εξαερισμού μέσω του Λ3. Επίσης στην περίπτωση που λειτουργεί και ο συλλέκτης της στέγης, έχουμε και το εξαεριστικό Λ1.

4.6.3.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω θερμοζευγών για τον Data Logger (μετρήσεις εργαστηρίου) και μέσω thermistor για τον αυτοματισμό του ενδοδαπέδιου συστήματος.

Θερμοκρασίες Data Logger :

A) Αμέσως μετά την έξοδο από τον συλλέκτη της πρόσοψης T1.

B) Πριν την είσοδο του νερού στο ενδοδαπέδιο σύστημα T2.

Γ) Αμέσως πριν την είσοδο του συλλέκτη της πρόσοψης T3.

Δ) Αμέσως μετά την έξοδο του νερού από το ενδοδαπέδιο σύστημα T4.

E) Αμέσως μετά την έξοδο του συνδυασμού των δύο συλλεκτών, ή λίγο ποιο μετά από την έξοδο του συλλέκτη της πρόσοψης T5.

ΣΤ) Στο επάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης T6.

Θερμοκρασίες ενδοδαπέδιου αυτοματισμού :

A) Αμέσως μετά την έξοδο του ρευστού από τον συλλέκτη της σκεπής T7

B) Πριν την είσοδο του νερού στο ενδοδαπέδιο σύστημα T8.

Γ) Στο επάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης T9.

Δ) Θερμοκρασία χώρου T10

Υπάρχει και μια θέση με τάπα στο σημείο (Π) που μπορεί να μπει ακόμα ένα θερμοζεύγος.

5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΟΡΟΦΗΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΚΟ ΔΟΚΙΜΩΝ

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που εκπέμπονται από τον Ήλιο. Μέρος της ενέργειας κατευθύνεται προς την Γη υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Μέρος της ηλιακής ενέργειας προσπίπτει στην Γη. Δεν γίνεται να προσπίπτει ολόκληρο το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς τότε δεν θα υπήρχε ζωή στην Γη. Αρκεί για την ζωή, αυτό το μέρος της ακτινοβολίας που προσπίπτει. Η ιονόσφαιρα και η οζονόσφαιρα προστατεύουν την Γη από μέρη της ακτινοβολίας τα οποία είναι απόλυτα βλαβερά για τον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Ένα μέρος της ακτινοβολίας επίσης ανακλάται και από τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και με αυτόν τον τρόπο δεν φτάνει στους ζώντες οργανισμούς.

Για αυτό τον λόγο δεν πρέπει να καταστρέφεται το όζον στην Γη, γιατί τότε η ακτινοβολία θα φέρει πολλές αρρώστιες και μεταλλάξεις στους οργανισμούς (όγκους, καρκίνους, αλλοιώσεις στο δέρμα, κλπ.). Το υπόλοιπο μέρος που διαπερνά την ατμόσφαιρα, είναι αυτό που βοηθά στην φωτοσύνθεση, στον κύκλο του νερού, του αζώτου και του άνθρακα στον πλανήτη. Συνεισφέρει απόλυτα στην ύπαρξη της ζωής στην Γη.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει μία κεκλιμένη επιφάνεια στην οποία προσπίπτει ένα ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας. Ένα μέρος από το ποσό που προσπίπτει, απορροφάται από τις επιφάνειες των ηλιακών συλλεκτών και από τις επιφάνειες των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Αφού οι επιφάνειες αυτών χρησιμοποιήσουν το ποσό της ενέργειας που μπορούν, τότε το υπόλοιπο ποσό διαχέεται ως θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Όταν η ακτινοβολία προσπίπτει στην κεκλιμένη επιφάνεια επίσης, ένα μέρος ανακλάται από τις γυάλινες επιφάνειες και ένα μέρος διαχέεται στην ατμόσφαιρα.

5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΟΥ ΟΡΟΦΗΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και φθάνει στην εξωτερική ατμόσφαιρα της γης ισοδυναμεί με το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ακτινοβολίας όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα:

$$H = H_b + H_d + H_r$$

Όπως έχει οριστεί στο πρώτο κεφάλαιο η ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας I_b ορίζεται η ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους κατ' ευθείαν από τον ήλιο χωρίς να υπόκειται σε σκέδαση. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως από την απόσταση Ηλίου-Γης, την αζιμουθια και ζενίθια γωνία, την ηλιακή απόκλιση, την κλίση του εδάφους και την θέση της τοποθεσίας στην επιφάνεια του πλανήτη. Μετράτε με μονάδες W/m^2 .

Επίσης αναφέρεται στο ίδιο κεφάλαιο και η ένταση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας I_d η οποία φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους έχοντας αλλάξει διεύθυνση για λόγους ανάκλασης ή σκέδασης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται κυρίως από την ζενίθια γωνία, την πυκνότητα και το είδος των νεφών στον ουρανό, το έδαφος, το υψόμετρο καθώς και από σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Μετράτε και αυτή σε μονάδες W/m^2 .

Αν και η απόσταση του ηλίου από την Γη εκτιμάται ως $14,96 \cdot 10^7$ [Km] ($\pm 2\%$ λόγω ελλειπτικής τροχιάς) υπολογίζεται πως η εκπνευόμενη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου προς την Γη είναι $37,2 \cdot 10^{22}$ kW η οποία κατανέμεται σε φάσμα μήκους κύματος (2500-40000 [Angstrom]). Αποδεικνύεται μέσω των τεχνολογικών μέσων της εποχής μας, πως το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται σε μήκη κύματος από 0,25 έως 4 μm , ενώ σε μήκη όπου βρίσκεται το ορατό μέρος της ακτινοβολίας περιέχεται μόνο το 46,41% της ενέργειας. Από την ακτινοβολία αυτή, η εκμεταλλεύσιμη για θερμικές και ηλεκτρικές εφαρμογές είναι μεταξύ 400 - 3000 nm.

5.2.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΠΡΟ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι εύκολο να υπολογίσουμε απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα επίπεδο με κλίση β εάν γνωρίζουμε την αντίστοιχη ακτινοβολία στο οριζόντιο και έναν συντελεστή R που ονομάζεται συντελεστής μετατροπής. Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ολικής έντασης ακτινοβολίας (άμεσης και διάχυτης) στο κεκλιμένο επίπεδο προς την ακτινοβολία στο οριζόντιο.

$$R = \frac{I_\beta}{I}$$

Απαραίτητη προϋπόθεση λοιπόν αποτελεί ο υπολογισμός του συντελεστή R για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο υπό κλίση με την χρήση του γινομένου:

$$I_\beta = I R$$

Ο Jordan και ο Liu έφτιαξαν μια βελτιωμένη μορφή του συντελεστή αυτού θεωρώντας πως η ακτινοβολία που πέφτει σε ένα κεκλιμένο επίπεδο συνίσταται από την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη συνιστώσα. Έτσι ο συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο παίρνει την μορφή:

$$R = \left(\frac{I_b}{I}\right) R_b + \left(\frac{I_d}{I}\right) \times \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right) \times r$$

Όπου $\left(\frac{I_d}{I}\right)$ είναι ο λόγος της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας προς την ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Την ολική αλλά και την διάχυτη ακτινοβολία, τις έχουμε λάβει από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου με ερέθισμα ενός λεπτού.

$\left(\frac{I_b}{I}\right)$: Είναι ο λόγος της στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας, προς την ολική ακτινοβολία.

r : Συντελεστής ανακλαστικότητας του εδάφους με τιμές από 0,2 έως 0,7 για επιφάνειες με μεγάλη ανακλαστικότητα. Στην περίπτωση του οικίσκου έχουμε κυρίως χώμα και κοντό χορτάρι οπότε επιλέγουμε τον συντελεστή $r=0,2$

R_b : Είναι ο λόγος της άμεσης Ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο ενδιαφέροντος προς την άμεση Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Παίρνει διάφορες μορφές, αλλά στην περίπτωση μας όπου τα πλαίσια είναι προσανατολισμένα στον Νοτιά ο συντελεστής απλοποιείται και παίρνει την μορφή:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

Για στιγμιαία γωνία ω

5.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ

Παρακάτω θα υπολογιστεί η ακτινοβολία στο επίπεδο που βρίσκονται τα πλαίσια του οικίσκου για τον μήνα Δεκέμβριο που είναι και ο δυσμενέστερος από άποψη προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η αντιπροσωπευτική ημέρα για τον Δεκέμβριο ορίζεται η 11η Δεκεμβρίου. Επειδή όμως ενδέχεται οι μετρήσεις μιας ημέρας να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα για ολόκληρο τον μήνα, θα πάρουμε τιμές ακτινοβολίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου ΑΠΕ για όλο τον Δεκέμβριο των τελευταίων τεσσάρων χρόνων και θα ορίσουμε εμείς μια αντιπροσωπευτική.

Συγκεκριμένα διαθέτουμε από το Εργαστήριο, τιμές της ακτινοβολίας (άμεσης, διάχυτης και ολικής) ανά λεπτό για το οριζόντιο επίπεδο των τελευταίων τεσσάρων χρόνων. Έτσι για κάθε λεπτό θα βγάλουμε την μέση τιμή των τιμών αυτών (συμπεριλαμβάνοντας και τις 31 ημέρες των τεσσάρων ετών), και θα προκύψει μια πλήρης αντιπροσωπευτική ημέρα με ακρίβεια λεπτού. Έτσι έχοντας αυτές τις τιμές ακτινοβολίας για το οριζόντιο επίπεδο, θα προκύψει και η μετατροπή τους στο επίπεδο των συλλεκτικών επιφανειών ανά διάστημα λεπτού.

5.2.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ

Η Ηλιακή απόκλιση όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι η γωνιακή θέση του Ηλίου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο και υπολογίζεται για $n=345$ την 11η Δεκεμβρίου ως.

$$\delta = 23,45 \left(\sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \right) = 23,45 \left(\sin \left(360 \frac{284 + 345}{365} \right) \right) \rightarrow \delta = -23,12$$

5.2.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΧΡΟΝΟΥ Ε

$$B = \frac{360(n-1)}{365} \text{ ΓΙΑ } n = 345 \rightarrow B = \frac{360(345-1)}{365} \rightarrow B = 339,29$$

$$E = 0,0172 + 0,3278 \cos(B) - 7,3456 \sin(B) - 3,3468 \cos(2B) - 9,3544 \sin(2B) \Leftrightarrow E \\ = 0,0172 + 0,3278 \cos(339,29) - 7,3456 \sin(339,29) \\ - 3,3468(2 \cdot 339,29) - 9,3544 \sin(2 \cdot 339,29) \rightarrow E = 6,6$$

5.2.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΛΗΘΟΥΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ (ΑΗΧ)

Οι μετρήσεις γίνονται σε όλη την διάρκεια της ημέρας.

$$AHX = T\Omega X - 4 \cdot (30 - 21,75) + 6,6 \Leftrightarrow AHX = T\Omega X - 26,4[min] \text{ ή } AHX \\ = T\Omega X - (26[min] + 24[sec])$$

Πχ: για την τοπική ώρα 8:56 (TΩX) αντιστοιχεί σε ΑΗΧ : ΑΗΧ = 8[h]+56[min] – 26,4[min] = 8[h]+29,6[min] ή 8[h]+29[min]+36[sec] .

Δηλαδή: 8:56(TΩX) = 8:29:36(ΑΗΧ)

5.2.3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΡΙΑΙΑΣ ΓΩΝΙΑΣ ΗΛΙΟΥ Ω

Η ωριαία γωνία του ηλίου είναι σωστό να υπολογιστεί για κάθε χρονική στιγμή των δεδομένων ακτινοβολίας που διαθέτουμε. Η τιμή της ωριαίας γωνίας του Ηλίου εξαρτάται και από την ημέρα του έτους αφού μετατρέπουμε σε (ΑΗΧ) εμείς σε αυτήν την περίπτωση θα πάρουμε ως ημέρα την αντιπροσωπευτική (11/12) αφού οι τιμές μας συμπεριλαμβάνουν όλες τις ημέρες του Δεκεμβρίου και έχει ληφθεί ο Μ.Ο για κάθε λεπτό. Δεν γίνεται να υπολογιστούν οι τιμές (ω) για 1440 τιμές λεπτών στο παρόν μέρος. Έτσι ο υπολογισμός γίνεται μέσω Excel.

Γενικά ισχύει ότι:

$$\omega = (AHX - 12[h]) \cdot 15 \frac{[^\circ]}{[h]}$$

Πχ. Για τις 12 ΑΗΧ η ωριαία γωνία ω=0°

5.2.3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ R_b

Όπως είναι προφανές για κάθε λεπτό θα προκύπτει διαφορετικός συντελεστής R_b εφόσον αλλάζει η ωριαία γωνία του Ηλίου. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιούμε το Excel για τον υπολογισμό των τιμών αυτών.

Π.Χ. για ωριαία γωνία ω=0 [°] :

$$R_b = \frac{[\cos(38,2178 - 13,58) \cdot \cos(-23,12) \cdot \cos(0) + \sin(38,2178 - 13,58) \cdot \sin(-23,12)]}{\cos(38,2178) \cdot \cos(-23,12) \cdot \cos(0) + \sin(38,2178) \cdot \sin(-23,12)}$$

$$\rightarrow R_b = 1,402$$

Υπολογισμός συντελεστή μετατροπής επιπέδου ακτινοβολίας R Είμαστε τώρα πια στην θέση να υπολογίσουμε τον συντελεστή μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο επίπεδο στο κεκλιμένο για κάθε λεπτό:

Το παρακάτω παράδειγμα είναι για β=13,58° , για r=0.2, για λόγο άμεσης προς ολική ακτινοβολία 0,600, για λόγο διάχυτης προς ολική ακτινοβολία είναι 0,399 και το R_b είναι 1,402:

$$R = (0,600616768)(1,402) + (0,399383232) \left(\frac{1 + \cos(13,58)}{2} \right) + \left(\frac{1 - \cos(13,58)}{2} \right) (0,2) \rightarrow R = 1,24$$

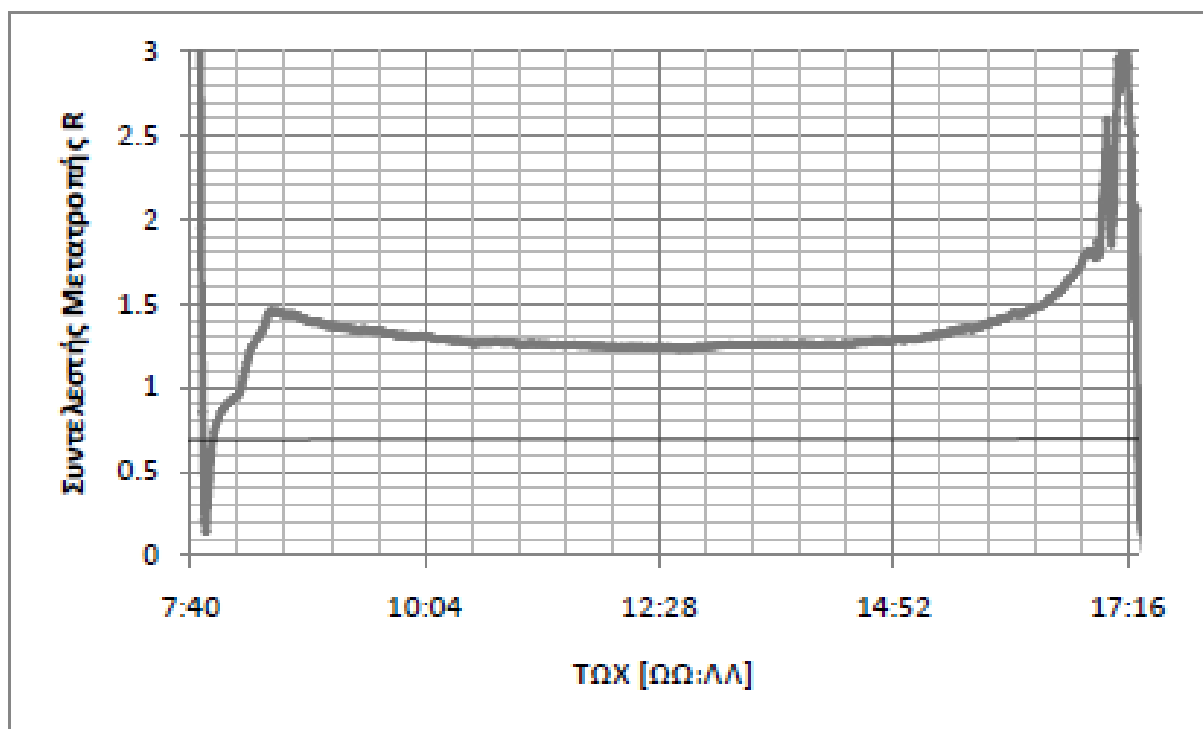
5.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Με την βοήθεια του Excel υπολογίζονται όλες οι τιμές του R για κάθε λεπτό της ημέρας και γραφικά φαίνονται στο διάγραμμα. Έτσι πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή R με την υπάρχουσα ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, βρίσκουμε την ακτινοβολία στις $\beta=13,58[^\circ]$, για το παράδειγμα μας : Στο Διάγρ. 5.1 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή R κατά την διάρκεια της αντιπροσωπευτικής ημέρας που προκύπτει.

$$ΟΛΙΚΗ(13,58^\circ) = Ολικη(0^\circ) \cdot R = 319,28 \cdot 1,23981 = 395,84[W/m^2]$$

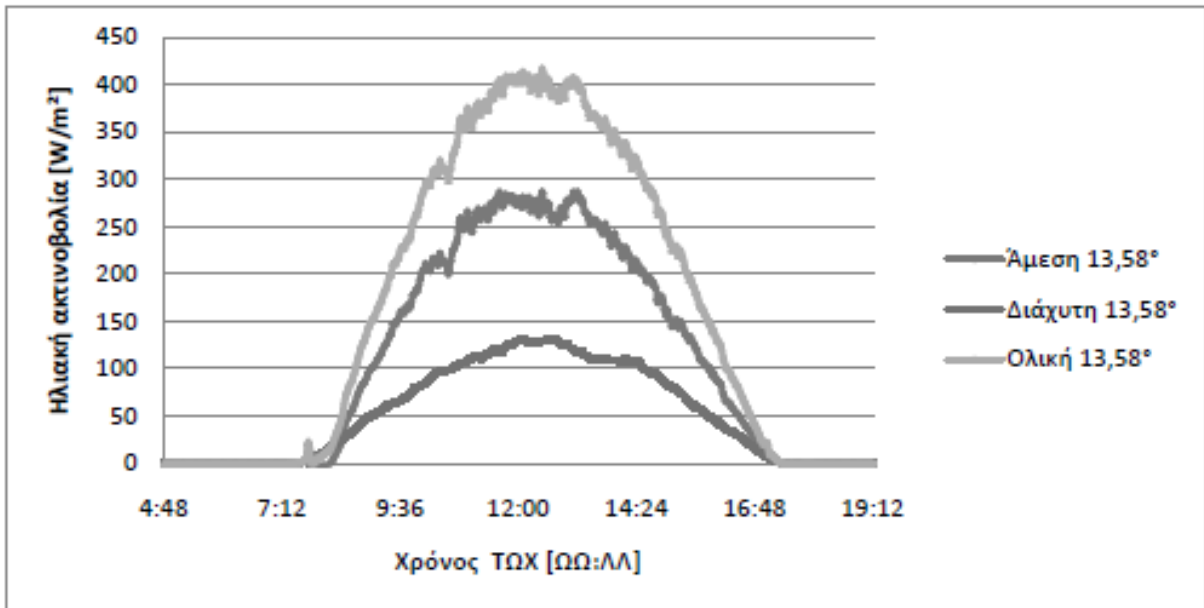
$$ΑΜΕΣΗ(13,58^\circ) = Αμεση(0^\circ) \cdot R_b = 191,76 \cdot 1,40391 = 269,21[W/m^2]$$

$$ΔΙΑΧΥΤΗ(13,58^\circ) = Διαχυτη(0^\circ) \cdot R_d = 127,51 \cdot 0,986 = 125,72[W/m^2]$$



Εικόνα 5.1 : Μεταβολή συντελεστή R κατά την διάρκεια της αντιπροσωπευτικής ημέρας του Δεκεμβρίου

Κάνοντας την μετατροπή της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στις $13,58[^\circ]$ για κάθε λεπτό της ημέρας προκύπτει το διάγραμμα.



Εικόνα 5.2 : Προφίλ ακτινοβολίας στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, όπως προκύπτουν από τις μετρήσεις του Μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας για το οριζόντιο επίπεδο

5.2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ PSH

Το εμβαδό που ορίζεται από την πράσινη καμπύλη του διαγράμματος που παριστάνει την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο των 13,58 μοιρών σε σχέση με τον άξονα του χρόνου, είναι η μέση ολική προσπίπτουσα ενέργεια της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο από τον ήλιο στις συλλεκτικές επιφάνειες (εικόνα 5.3)

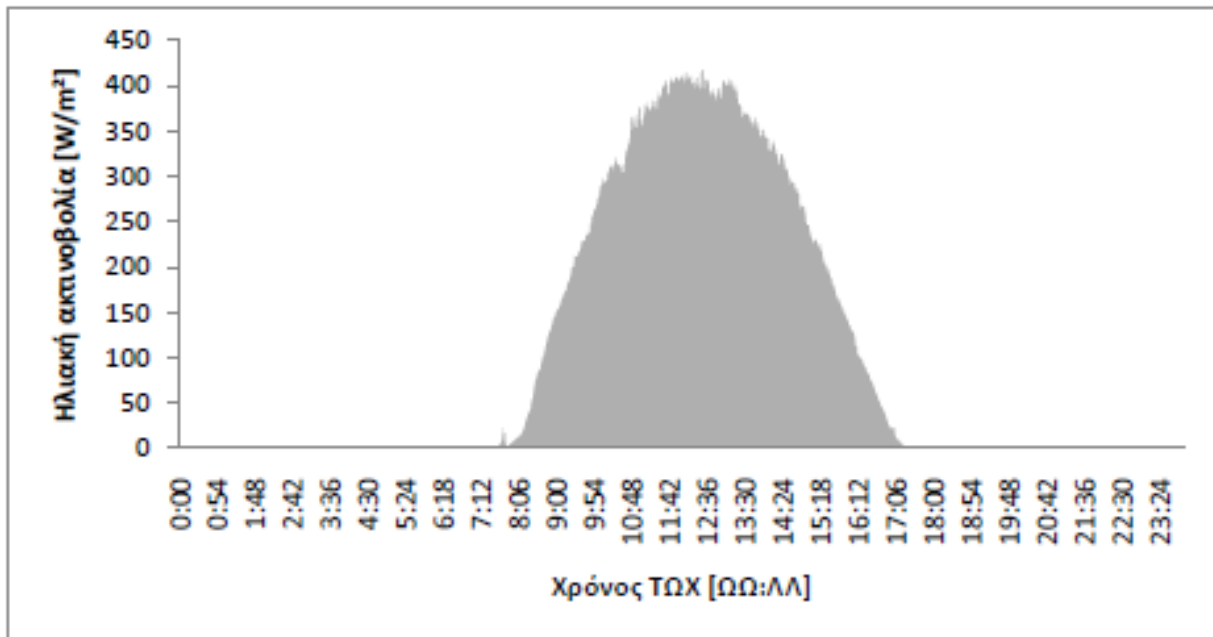
Παίρνοντας το άθροισμα των τιμών αυτών (οι οποίες είναι ανά λεπτό) προκύπτει το εμβαδό της καμπύλης :

$$E_2 = 2.340,7348 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$$

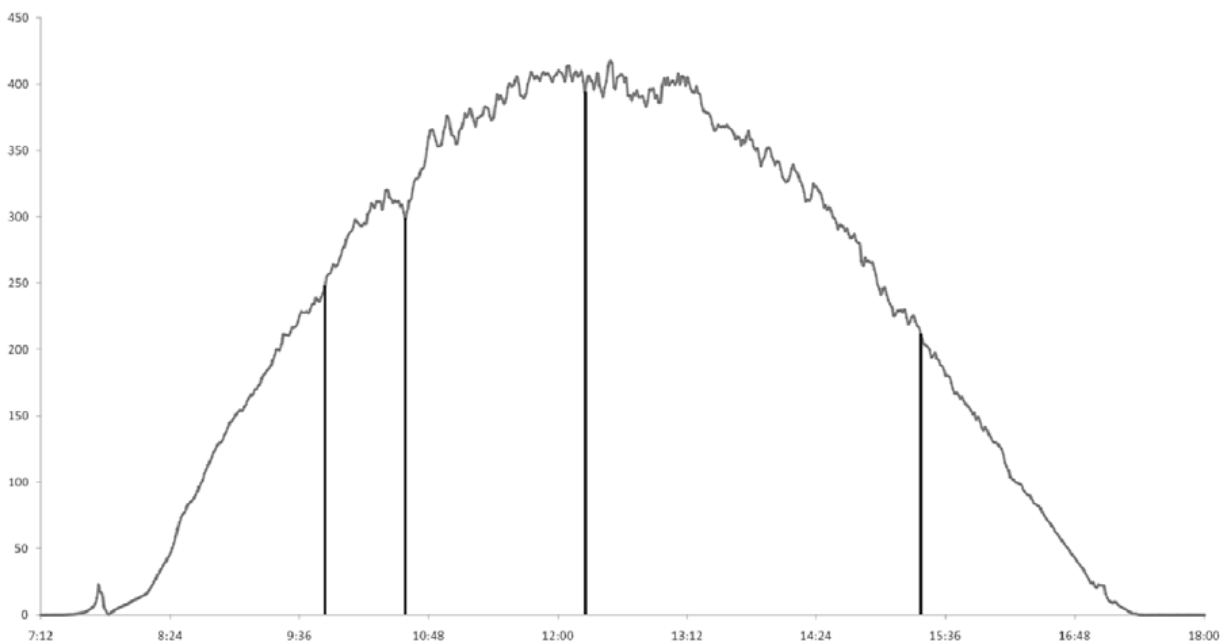
Η μεθοδολογία υπολογισμού του εμβαδού της καμπύλης απαιτεί την ολοκλήρωση της. Ακολουθούμε έναν εναλλακτικό τρόπο: Έχοντας μετρήσεις ακτινοβολίας ανά λεπτό για διάρκεια μιας ολόκληρης ημέρας, έχουμε και σημεία της καμπύλης όπου είναι οι ίδιες οι μετρήσεις. Αναλυτικότερα διαθέτουμε 1440 σημεία τα οποία είναι γεωμετρικά απλωμένα, έτσι θεωρούμε πως στην διάρκεια ενός λεπτού δεν αλλάζει η τιμή της Έντασης Ηλιακής ακτινοβολίας και απότομα μεταβάλλεται την επόμενη χρονική στιγμή. Σαφώς κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην πραγματικότητα αλλά είναι ιδανικό.

Έτσι υπολογίζουμε το εμβαδό που σχηματίζεται μεταξύ του ενός λεπτού που παραμένει σταθερή η ακτινοβολία, και της έντασης αυτής. Συνεχίζουμε την διαδικασία αυτήν για όλες τις τιμές που διαθέτουμε και προκύπτει το εμβαδό της καμπύλης E_2

Ο Συντελεστής PSH εκφράζεται σε ώρες και ορίζεται ως η χρονική διάρκεια που αντιστοιχεί σε Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας 1000 [W/m²] ώστε η συνολική προσπίπτουσα ενέργεια της ημέρας να έχει το ίδιο αποτέλεσμα.



Εικόνα 5.3 : Ενέργεια στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών, όπως προκύπτουν από τις μετρήσεις του Μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας για το οριζόντιο επίπεδο για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου



Εικόνα 5.4 : Μεθοδολογία υπολογισμού της ενέργειας στο επίπεδο της συλλεκτικής επιφάνειας

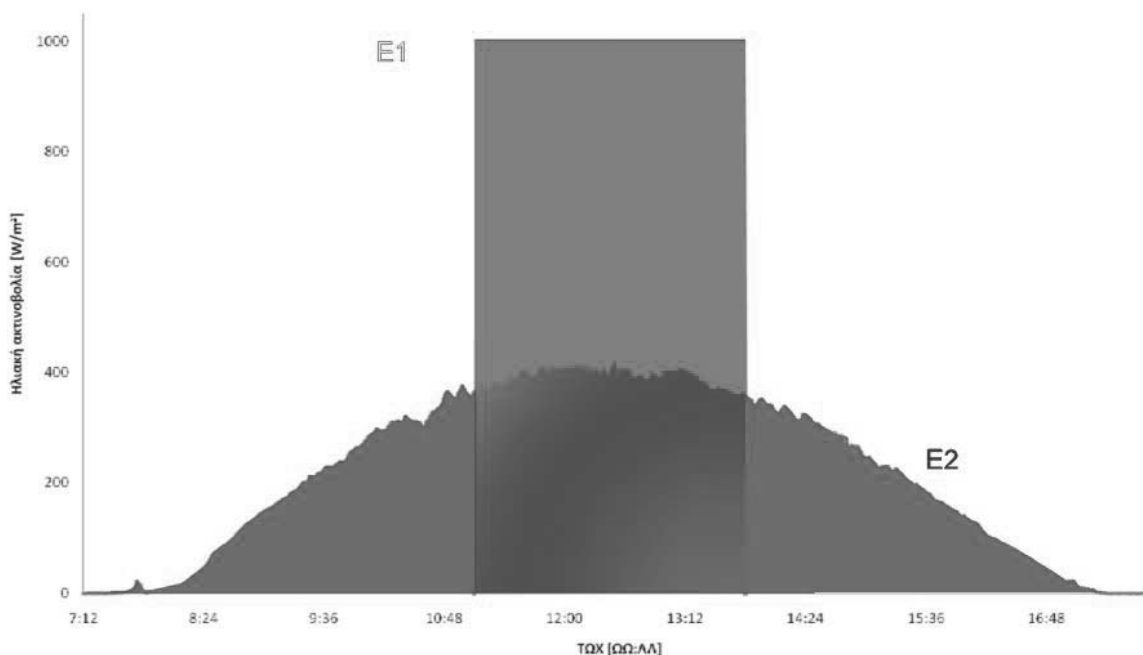
Πιο αναλυτικά, στην πραγματικότητα υποθέτουμε ότι έχουμε έναν ιδανικό Ήλιο, ο οποίος εκπέμπει προς την οροφή συνεχώς Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$. Το ερώτημα είναι πόση ώρα πρέπει να εκπέμπει αυτός ο ήλιος έτσι ώστε να έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα με μια πραγματική κατάσταση; Δηλαδή μεταβαλλόμενη ένταση στην διάρκεια της ημέρας. Οι ώρες αυτές αντιστοιχούν στον συντελεστή PSH :

Για να ισχύουν τα παραπάνω, θα πρέπει το εμβαδό των δυο γραφημάτων να είναι αριθμητικά ίδιο. Εμείς έχουμε ως γνωστό ήδη το εμβαδό της πραγματικής καμπύλης με

τιμή 2340,7348 Wh/m², έτσι χρησιμοποιώντας την ισότητα αυτήν βρίσκουμε την βάση του ισοδύναμου διαγράμματος που αντιστοιχεί στις ώρες εκπομπής 1000 [W/m²] και δεν είναι άλλο από το PSH :

$$E2 = E1 \Leftrightarrow 2340,7348 \left[\frac{Wh}{m^2} \right] = \left(1000 \left[\frac{W}{m^2} \right] \right) \cdot PSH \Leftrightarrow PSH' = \frac{2340,7348 [Wh/m^2]}{1000 [W/m^2]}$$

$$= 2,341 [h] \rightarrow PSH' = 2,341 [h]$$



Εικόνα 5.5 : Μεθοδολογία προσδιορισμού συντελεστή PSH'

Παραπάνω υπολογίστηκε η τιμή του PSH' για μια αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, χωρίς να ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο σκίασης από φυσικούς παράγοντες. Όπως είδαμε, υπάρχουν εμπόδια όπως (κτίρια και δέντρα) όπου εμποδίζουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

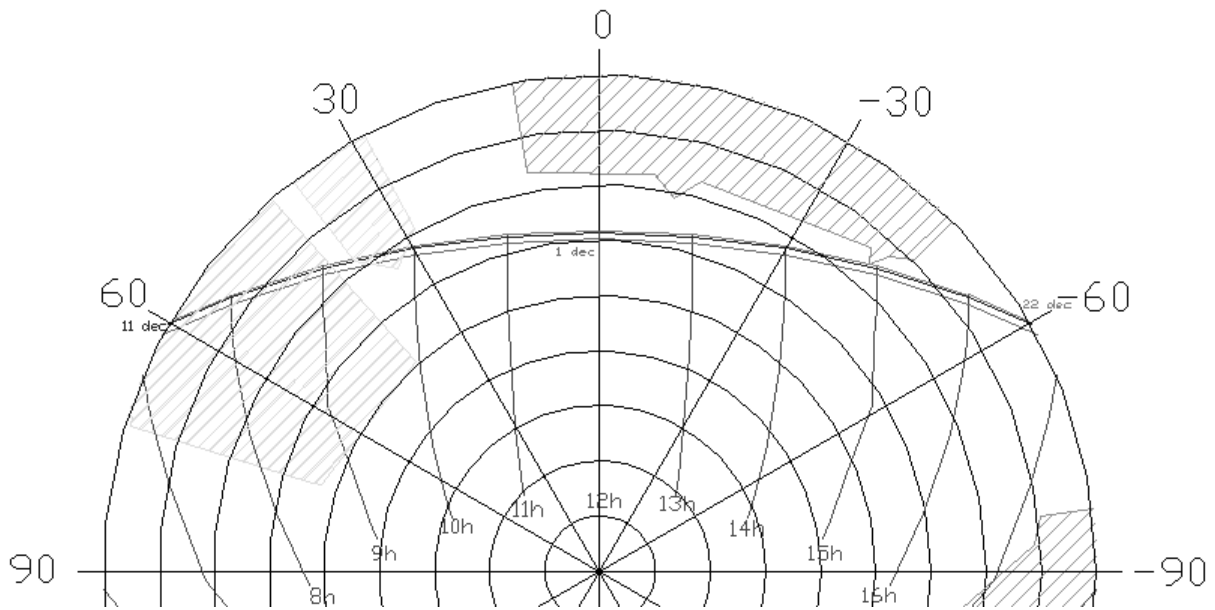
Οι ώρες σκίασης κατά την διάρκεια της ημέρας, εξαρτώνται από την ημερομηνία κάθε φορά αφού ο ήλιος αλλάζει τροχιά και ύψος. Για τις 22 Δεκεμβρίου λοιπόν που έχουμε την μεγαλύτερη σε διάρκεια σκίαση για τον Δεκέμβριο, τα συμπεράσματα είναι :

Από την ανατολή του ηλίου μέχρι τις 09:04:33 [ΑΗΧ] έχουμε σκίαση της οροφής από το φυσικό εμπόδιο (Συνδυασμός δέντρων Δ2)

Από τις 09:04:33 μέχρι τις 09:20:31 [ΑΗΧ] δεν έχουμε σκίαση.

Από τις 09:20:31 μέχρι τις 09:58:53 [ΑΗΧ] έχουμε σκίαση από φυσικό εμπόδιο (Δέντρο Δ1)

Τις ώρες που σκιάζεται η στέγη, θα δεχθούμε σαν ωφέλιμη ενέργεια μόνο την Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, αφού μόνο η διάχυτη φθάνει στη στέγη. Έχουμε ήδη μετατρέψει την διάχυτη ακτινοβολία στις 13,58° οπότε φτιάχνουμε το νέο διάγραμμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας για την στέγη του ενεργειακού οικίσκου συμπεριλαμβανόμενης και της σκίασης Διάγρ. 5.5.



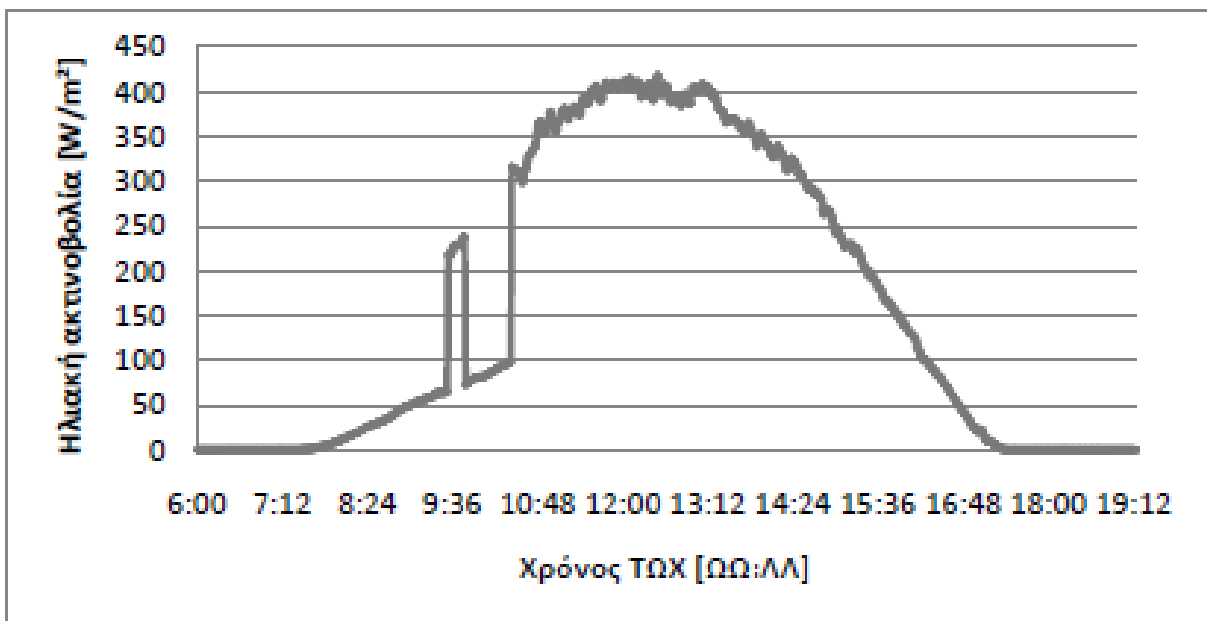
Εικόνα 5.6 : Πολικός χάρτης για την σκίαση της στέγης του οικίσκου κατά την 22/12.

Διάχυτη ακτινοβολία δέχεται η στέγη κατά τα χρονικά διαστήματα:

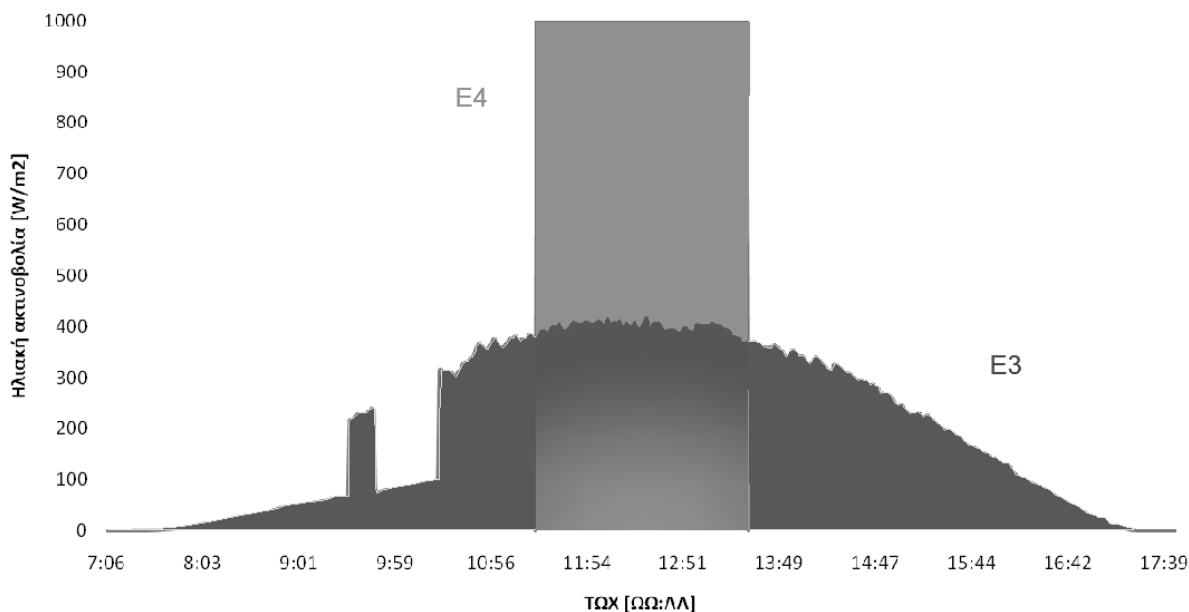
Ανατολή – 09:04:33 [ΑΗΧ] ή Ανατολή - 09:31:00 [ΤΩΧ]
 09:20:31 – 09:58:53 [ΑΗΧ] ή 09:47:00 – 10:25:00 [ΤΩΧ]

Με τον ίδιο τρόπο όπως ακολουθήσαμε παραπάνω, υπολογίζουμε το νέο PSH συμπεριλαμβανομένης και της σκίασης της στέγης, Διάγρ. 5.6

$$E3 = E4 \Leftrightarrow 2104,6571 [Wh/m^2] = (1000 [W/m^2]) \cdot PSH \Leftrightarrow PSH = \frac{2104,6571 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} = 2,105 [h] \rightarrow PSH' = 2,105 [h]$$



Εικόνα 5.7 : Πραγματικό προφίλ προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο επίπεδο της στέγης για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, συμπεριλαμβανομένης και της σκίασης



Εικόνα 5.8 : Προσδιορισμός συντελεστή PSH για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, συμπεριλαμβανομένης και της σκίασης της στέγης του οικίσκου

5.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΕΓΗΣ ΑΠΟ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

5.3.1 ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Στην οροφή του οικίσκου δοκιμών, όπως έχει προαναφερθεί, υπάρχουν οι συλλεκτική επιφάνεια που σκοπό έχει την θέρμανση χώρου και την θέρμανση ζεστού νερού χρήσης και εκτός αυτής, υπάρχουν φωτοβολταϊκά πλαίσια και η ηλιακή καμινάδα. Προκειμένου γίνει εστίαση στο ποσό διάχυσης της θερμότητας από τις επιφάνειες που προαναφέρθηκαν, θεωρείται ότι η ηλιακή καμινάδα είναι κλειστή και όχι ανοιχτή. Δηλαδή το μέρος εκείνο θα μελετηθεί σαν μία συνεχόμενη επιφάνεια για λόγους ευκολίας. Όσον αφορά την συλλεκτική επιφάνεια, πρώτα αναλύεται η ακτινοβολία που φεύγει δια μέσου του ύαλου και έπειτα από τα υπόλοιπα μέρη.

5.3.2 ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη της στέγης πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία στην πτυχιακή εργασία του συμφοιτητή μας Α. Πουλημένου, από την οποία έχουμε αντλήσει στοιχεία για να εφαρμοστούν στην παρούσα εργασία αποσκοπώντας στον προσδιορισμό των θερμοκρασιών του τζαμιού και της συλλεκτικής επιφάνειας αντίστοιχα για κάθε χρονική στιγμή γύρω από το ηλιακό μεσημέρι.

Για το λόγο αυτό παρουσιάζουμε την διαδικασία του πειράματος για να πάρουμε τις θερμοκρασίες $T_{τζ}$ και $T_{σ}$ με την βοήθεια θερμοζευγών. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις 7 και 8/7/2015 και ακολούθησε τα εξής στάδια :

Στις 7/8/2015 πραγματοποιήθηκαν προεργασίες για την λήψη μετρήσεων :

- Καθάρισμα της συλλεκτικής επιφάνειας στο εσωτερικό του οικίσκου.
- Καθάρισμα του υαλοπίνακα του ηλιακού συλλέκτη.
- Τοποθέτηση θερμοζεύγους στην επιφάνεια του τζαμιού με χρήση ταινίας και σύνδεση του στον Data Logger.
- Τοποθέτηση θερμοζεύγους από την εσωτερική πλευρά της συλλεκτικής επιφάνειας με χρήση ταινίας και σύνδεση του στον Data Logger



Εικόνα 5.9 : Καθαρισμός συλλέκτη στέγης του Ενεργειακού οικίσκου



Εικόνα 5.10 : Τοποθέτηση θερμοζεύγους στην συλλεκτική επιφάνεια

Κατά τις 8/8/2015 ελήφθησαν οι μετρήσεις των θερμοκρασιών και παρακολουθούνταν το σύστημα για την ορθή του λειτουργία, συγκεκριμένα :

- Καθαρίστηκε ο υαλοπίνακας του για να μην υπάρχουν απώλειες στην ακτινοβολία λόγω του στρώματος σκόνης στην επιφάνεια του.
- Παρατηρήθηκε ότι ο κυκλοφορητής του συστήματος των συλλεκτών δεν ήταν σε λειτουργία. Αυτό συνέβη διότι η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν αρκετά μεγάλη και δεν εξυπηρετούσε να περάσει ξανά από τον συλλέκτη. Προκειμένου να λειτουργήσει ο κυκλοφορητής και να διέρχεται το νερό από τον συλλέκτη για να παρθούν σωστές μετρήσεις από τις θερμοκρασίες των θερμοζευγών, αδειάσαμε την δεξαμενή που περιείχε το <<καυτό>> νερό το οποίο αντικαταστάθηκε με ψυχρότερο από το δίκτυο.
- Η δεξαμενή είχε γεμίσει από το νερό του δικτύου, ελέγχθηκε από το ηλεκτρονικό σύστημα του οικίσκου και ο κυκλοφορητής μπήκε σε λειτουργία.
- Παρατηρήθηκε πως ο κυκλοφορητής σταμάτησε να λειτουργεί επειδή το νερό είχε ζεσταθεί αρκετά οπότε ξανά αδειάστηκε η δεξαμενή για να αναπληρωθεί.
- Ο κυκλοφορητής ήταν σε λειτουργία, όπου και στην ίδια ώρα σταμάτησε και η πειραματική διαδικασία.

Κατά την διαδικασία του πειράματος είχε τοποθετηθεί στο εσωτερικό του οικίσκου ένα πολύμετρο που με την βοήθεια ενός thermistor κατέγραφε την θερμοκρασία του δωματίου. Η αρχή λειτουργίας του thermistor είναι παρόμοια με αυτή των θερμοζευγών.



Εικόνα 5.11 : Αδειασμα δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού του οικίσκου κατά την πειραματική διαδικασία



Εικόνα 5.12 : Καταγραφή θερμοκρασίας δωματίου του οικίσκου με χρήση πολυμέτρου

Ώρα	T_0 [°C]
12:50	32
13:27	33
13:44	33
14:06	32
14:31	32
14:56	33
15:20	33
15:42	35
16:01	36

Εικόνα 5.13 : Τιμές θερμοκρασίας δωματίου του οικίσκου

Τιμές της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του οικίσκου πάρθηκαν ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια του πειράματος. Έτσι κατά την διάρκεια όλης της ημέρας, καταγράφονταν οι μετρήσεις των θερμοκρασιών του τζαμιού και της μαύρης επιφάνειας μέσω του Data Logger, καθώς επίσης καταγράφονταν από το σύστημα και οι τιμές της ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη με την βοήθεια του πυρανομέτρου του οικίσκου (αναφορά για το πυρανόμετρο αυτό έχει γίνει στην εισαγωγή του τεύχους). Οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

8/7/2015 Ωρα	T _{τζ} [°C]	T _σ [°C]	T _{εισ} [°C]	T _{εξ} [°C]	T _δ [°C]	T _α [°C]	U _{meteo} [m/s]	U [m/s]	I _T [W/m ²]
12:50	48,24	68,66	52,09	62,08	32	30,92	1,787	0,596	939
13:27	49,74	68,26	48,68	61,41	34	31,62	1,138	0,379	969
13:44	48,67	68,76	50,08	61,51	34	31,87	2,574	0,858	976
14:06	47,37	68,85	52,82	63,89	33	31,54	3,110	1,037	612,6
14:31	48,44	67,78	53,84	62,10	34	31,01	4,015	1,338	1072
14:56	49,10	69,15	55,81	62,23	35	33,03	1,610	0,537	990
15:20	49,18	65,48	52,24	64,50	36	34	4,575	1,525	338,8
15:42	49,29	65,83	50,70	59,71	36	34,34	5,852	1,951	619
16:01	46,69	60,31	50,07	57,00	36	34,75	3,866	1,289	397,7

Εικόνα 5.14 : Πειραματικές μετρήσεις για την εύρεση της απόδοσης του συλλέκτη της στέγης

5.3.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ

5.3.3.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 3, οι απώλειες θερμότητας από τον υαλοπίνακα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών του συλλέκτη. Ο υπολογισμός τους γίνεται με βάση τις ιδιότητες του τζαμιού, της μαύρης επιφάνειας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες (θερμοκρασίες, άνεμος κλπ). Οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας που λαμβάνουν χώρα κατά την μεταφορά της θερμότητας από το εσωτερικό του συλλέκτη προς το περιβάλλον μέσω του υαλοπίνακα, είναι:

Απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι

- Λόγω συναγωγής
- Λόγω ακτινοβολίας

Απώλειες θερμότητας από το τζάμι προς το περιβάλλον

- Λόγω συναγωγής
- Λόγω ακτινοβολίας

Παρακάτω ακολουθεί ο αναλυτικός προσδιορισμός των επιμέρους απωλειών:

5.3.3.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ $h_{\sigma,\sigma \rightarrow \tau\zeta}$

Οι απώλειες αυτές θα υπολογιστούν με την βοήθεια του ορισμού του αριθμού Nusselt

$$h_{\sigma,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{Nu k}{L}$$

Ο συντελεστής L αντιπροσωπεύει σε αυτή την περίπτωση την απόσταση μεταξύ της μαύρης επιφάνειας και του τζαμιού σε m. Η απόσταση αυτή μετρήθηκε με παχύμετρο

από το εσωτερικό του οικίσκου σύμφωνα με την πειραματική διαδικασία από την προγενέστερη πτυχιακή εργασία και ισούται με $L=101 \text{ mm}$ ή $L=0,101 \text{ m}$

Ο συντελεστής k αντιπροσωπεύει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αέρα που υπάρχει μεταξύ της μαύρης επιφάνειας και του υαλοπίνακα. Ο συντελεστής αυτός βρίσκεται προσδιορίζοντας την θερμοκρασία του αέρα από Πίνακες θερμοφυσικών στοιχείων σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Για ευκολία στους υπολογισμούς, η θερμοκρασία του αέρα ανάμεσα στο τζάμι και την συλλεκτική επιφάνεια, θα θεωρηθεί ως η μέση τιμή αυτών, που προκύπτει από τις μετρήσεις του πειράματος. Σύμφωνα με αυτήν την τιμή με γραμμική παρεμβολή, υπολογίζεται η ακριβής τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Επομένως: $T_{\tau\zeta} = 47,37 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\sigma} = 68,85 \text{ }^\circ\text{C}$

$$T_{m,αερα} = \frac{47,37[^\circ\text{C}] + 68,85[^\circ\text{C}]}{2} \Leftrightarrow T_{m,αερα} = 58,11[^\circ\text{C}]$$



Εικόνα 5.15 : Μέτρηση απόστασης μεταξύ υαλοπίνακα και συλλεκτικής επιφάνειας ιδιοκατασκευής συλλέκτη στέγης

Με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι $k_{58,11 \text{ }^\circ\text{C}} = 0,02794 \text{ W/mK}$. Ο συντελεστής Nusselt για τον αέρα μεταξύ συλλεκτικής επιφάνειας και τζαμιού σε κεκλιμένο επίπεδο υπολογίζεται με την μέθοδο που ακολουθείται στο βιβλίο Ηλιακή Μηχανική σελ. 606,

$$Nu = 1 + 1,44 \left(1 - \frac{1708}{Ra \times \cos \theta}\right) \left(1 - \frac{1708 \times \sin(1,8\theta)^{1,6}}{Ra \times \cos \theta}\right) + \left(1 - \frac{(Ra \times \cos \theta)^{1/3}}{18}\right) - 1$$

Για $Ra < 10^8$

Όπου Ra είναι ο αριθμός Rayleigh (το γινόμενο των αριθμών Grashof και Prandtl) επομένως μπορεί να θεωρηθεί ο λόγος των δυνάμεων άνωσης και του γινομένου της θερμικής διαχυτότητας της ορμής.

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta_v \Delta T L^3}{\nu^2} \cdot Pr = \frac{g\beta_v \Delta T L^3}{\nu \alpha}$$

Όπου :

Gr Ο αριθμός Grashof που αντιπροσωπεύει τις επιδράσεις της φυσικής συναγωγής.

Pr Ο αριθμός Prandtl που ορίζεται ως ο λόγος της ορμής διαχυσιμότητας (κινηματικό ιξώδες) σε θερμική διαχύσεως. Η τιμή του βρίσκεται από τους θερμοφυσικούς πίνακες με γραμμική παρεμβολή για τους 58,11 °C, ήτοι: Pr58,11 °C = 0,7207

g Η επιτάχυνση της βαρύτητας $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

β_v Ο συντελεστής επέκτασης όγκου (για ιδανικά αέρια ισχύει $\beta_v = 1/T_b$ με T_b θεωρούμε την θερμοκρασία λεπτής στιβάδας σε K που είναι το ημίθροισμα των θερμοκρασιών του αέρα και της επιφάνειας. $\beta = 0,002972$

ΔT Είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και της επιφάνειας του τζαμιού. $\Delta T = (T_\sigma - T_{\tau\zeta}) = (68,85^\circ\text{C} - 47,37^\circ\text{C}) \Rightarrow \Delta T = 21,48^\circ\text{C}$

ν Το κινηματικό ιξώδες του αέρα που υπολογίζεται διαιρώντας το δυναμικό ιξώδες του με την πυκνότητα του $\nu = \mu/\rho$ ή πιο σύντομα από τον πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή $\nu_{58,11^\circ\text{C}} = 1,877 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$

α_δ Η θερμική διαχυτότητα του αέρα που είναι ίση με

$$\alpha_\delta = \frac{k}{c_p \cdot \rho}$$

ή προσεγγίζεται από τον πίνακα θερμοφυσικών ιδιοτήτων για τον αέρα επίσης με γραμμική παρεμβολή. Ήτοι: $\alpha_{\delta 58,11 [^\circ\text{C}]} = 2,605 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$

θ Είναι η κλίση του συλλέκτη σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Στην περίπτωση μας $\theta = 13,58 [^\circ]$

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών υπολογίζουμε τον αριθμό Nusselt και μετά βρίσκουμε τις απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι μέσω συναγωγής $h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta}$

$$Ra = \frac{g\beta_v \Delta T L^3}{\nu \alpha} = 1,3194 \cdot 10^6 \quad \text{για } Ra < 10^8$$

$$Nu = 1 + 1,44 \left(1 - \frac{1708}{Ra \times \cos \theta}\right) \left(1 - \frac{1708 \times \sin(1,8\theta)^{1,6}}{Ra \times \cos \theta}\right) + \left(1 - \frac{(Ra \times \cos \theta)^{1/3}}{18}\right) - 1 = 7,474$$

Άρα είναι $Nu = 7,474$

Και:

$$h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{Nu k}{L} = \frac{7,474 \cdot 0,02794}{0,101} = 2,608 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

5.3.3.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $h_{a, \sigma} \rightarrow \tau\zeta$

Σύμφωνα με τον νόμο του Planck και Stefan – Boltzmann ακτινοβολείται ποσό υπέρυθρης ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι, έτσι προκύπτει πως οι απώλειες λόγω της ακτινοβολίας αυτής είναι :

$$h_{a, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{(T_\sigma + T_{\tau\zeta})(T_\sigma^2 + T_{\tau\zeta}^2)}{\frac{1}{\epsilon_\sigma} + \frac{1}{\epsilon_{\tau\zeta}} - 1}$$

σ Είναι η σταθερά Stefan – Boltzmann

$T_{\sigma} = 68,85 [^{\circ}\text{C}]$ ή $341,85 [\text{K}]$

$T_{\tau\zeta}$ Η θερμοκρασία του τζαμιού, $T_{\tau\zeta} = 47,37 [^{\circ}\text{C}]$ ή $320,37 [\text{K}]$

εσ Ο συντελεστής εκπομπής της συλλεκτικής επιφάνειας για την μαύρη λάκα που έχει επιστρωθεί στην επιφάνεια της εκτιμάται από μελέτες και μετρήσεις του Εργαστηρίου εσ = 0,88

ετζ Ο συντελεστής εκπομπής του τζαμιού κυμαίνεται από 0,90 έως 0,95. Στην περίπτωση μας θα πάρουμε μια ενδιάμεση τιμή, έστω ετζ = 0,925. Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών υπολογίζουμε τις απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια στο τζάμι $h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau\zeta}$

$$h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{(T_{\sigma} + T_{\tau\zeta})(T_{\sigma}^2 + T_{\tau\zeta}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\varepsilon_{\tau\zeta}} - 1} = 6,77 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.3.3.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ $h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \text{περ}}$

Οι απώλειες αυτές θα υπολογιστούν ξανά με την βοήθεια του ορισμού του αριθμού Nusselt:

$$h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \text{περ}} = \frac{Nu k}{L}$$

L_{μ} Είναι το μήκος του συλλέκτη. Στην περίπτωση του συλλέκτη της στέγης του οικίσκου το μήκος του είναι $L_{\mu} = 1378 [\text{mm}]$ □ $L_{\mu} = 1,378 [\text{m}]$

k Είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ του τζαμιού και του ατμοσφαιρικού αέρα. Υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή $K_{39,46 [^{\circ}\text{C}]} = 0,02658 \text{ W/mK}$. Στην περίπτωση αυτή όμως, η ροή του αέρα στο περιβάλλον είναι τυρβώδης και ο τύπος του Nusselt θα δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$Nu = 0,0296 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3}$$

για $0,6 \leq Pr \leq 60$, $5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^7$ Όπου Re ο αδιάστατος αριθμός Reynolds εξωτερικής ροής στο βιβλίο Ηλιακή Μηχανική σελ 462. Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του τζαμιού. $u = 1,037 \text{ m/s}$

$$Re = \frac{uL}{\nu}$$

Ο αριθμός Prandtl υπολογίζεται για θερμοκρασία που προκύπτει από την μέση τιμή του τζαμιού και του περιβάλλοντος. Έτσι από τους θερμοφυσικούς πίνακες με γραμμική παρεμβολή για την συγκεκριμένη θερμοκρασία προκύπτει :

$Pr_{39,46 [^{\circ}\text{C}]} = 0,7256$

ν Το κινηματικό ιξώδες του αέρα ενδιάμεσα από το τζάμι και τον ατμοσφαιρικό αέρα από τον πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή για $T_{\alpha, \tau\zeta} = 39,46 [^{\circ}\text{C}]$: $\nu_{39,46 [^{\circ}\text{C}]} = 1,697 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$. Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει :

$$Re = \frac{uL}{\nu} = \frac{1,037 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,378 \text{ m}}{1,697 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 77347,82$$

Έτσι υπολογίζεται και ο αριθμός Nusselt

$$Nu = 0,0296 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} = 0,0296 \cdot (77347,82)^{0,8} \cdot (0,7256)^{1/3}$$

$$Nu = 216,5$$

Με αντικατάσταση υπολογίζονται οι απώλειες θερμότητας από το τζάμι στο περιβάλλον μέσω συναγωγής :

$$h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon\rho} = \frac{Nuk}{L} = \frac{216,5 \cdot 0,02658}{1,266} = 4,54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.3.3.5 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $h_{a, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon\rho}$

Το τζάμι, ακτινοβολεί στο υπέρυθρο προς το περιβάλλον θερμότητα που μειώνει την απόδοση του συλλέκτη. Επομένως αναφερόμαστε σε απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας που υπολογίζονται:

$$h_{a, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \varepsilon_{\tau\zeta} \cdot \sigma \cdot (T_{\tau\zeta} + T_{\pi\epsilon\rho})(T_{\tau\zeta}^2 + T_{\pi\epsilon\rho}^2)$$

σ η σταθερά Stefan – Boltzmann, $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8}$

$\varepsilon_{\tau\zeta}$ Ο συντελεστής εκπομπής του τζαμιού $\varepsilon_{\tau\zeta} = 0,925$

$T_{\tau\zeta}$ Η θερμοκρασία του τζαμιού $T_{\tau\zeta} = 47,37$ [°C].

$T_{\pi\epsilon\rho}$ είναι η θερμοκρασία του ουράνιου θόλου για ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

$$T_{ou\rho} = 0,0552 \cdot (T_a)^{1,5}$$

Οπότε για θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_a = 31,54$ [°C] ή $304,54$ [K]

$$T_{ou\rho} = 0,0552 \cdot (304,54[K])^{1,5} \Leftrightarrow T_{ou\rho} = 293,36[K]$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές προκύπτει πως οι απώλειες θερμότητας μέσω ακτινοβολίας από το τζάμι στο περιβάλλον είναι :

$$h_{a, \sigma \rightarrow \tau\zeta} = \varepsilon_{\tau\zeta} \cdot \sigma \cdot (T_{\tau\zeta} + T_{\pi\epsilon\rho})(T_{\tau\zeta}^2 + T_{\pi\epsilon\rho}^2) = 0,925 \cdot 5,6703 \cdot 10^{-8} \cdot (320,37 + 293,36)(320,37^2 + 293,36^2) = 6,074 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, προκύπτει πως ο συντελεστής θερμικών απωλειών της εμπρόσθιας επιφάνειας με χρήση της εξίσωσης:

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta} + h_{a, \sigma \rightarrow \tau\zeta}} + \frac{1}{h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon\rho} + h_{a, \tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon\rho}}}$$

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{2,068 + 6,77} + \frac{1}{4,546 + 6,074}} = 4,824 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.3.3.6 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΣΩ ΟΨΗ

Ο συλλέκτης της στέγης, στην πίσω του επιφάνεια διαθέτει μόνωση πετροβάμβακα 45 [mm].



Εικόνα 5.16 : Μόνωση συλλέκτη στέγης οικίσκου

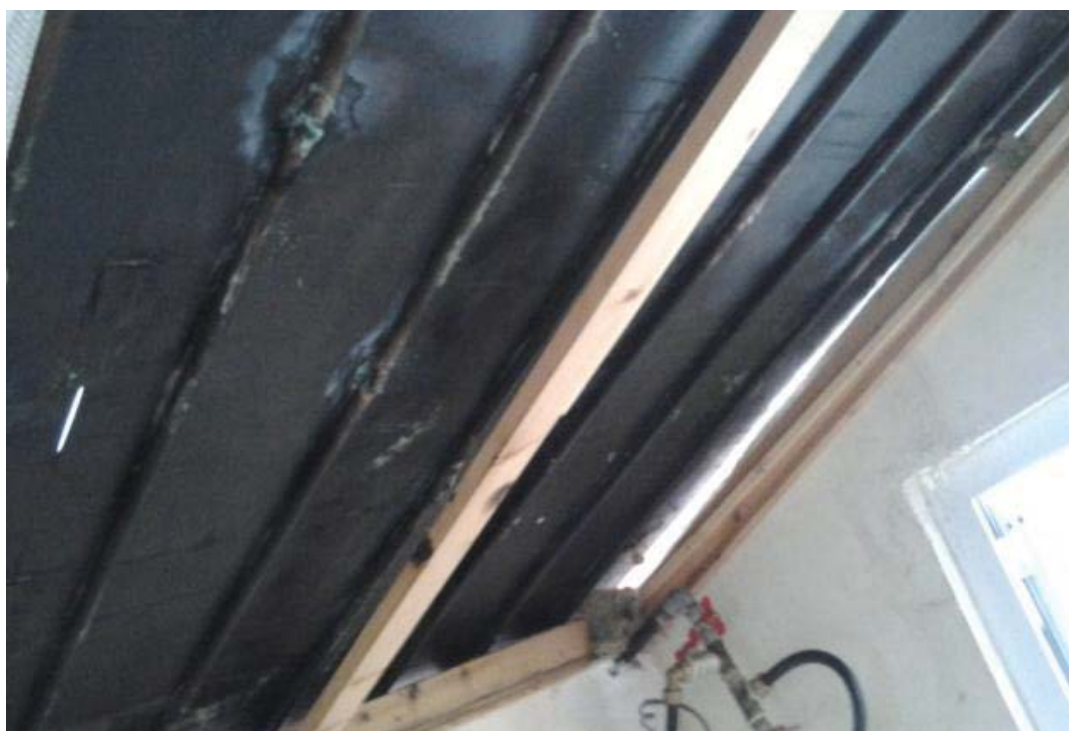


Εικόνα 5.17 : Μόνωση συλλέκτη στέγης οικίσκου

Όμως κατά την διάρκεια του πειράματος που πραγματοποιήθηκε, δεν υπήρχε μόνωση στην πίσω πλευρά του συλλέκτη. Συνεπώς οι απώλειες θερμότητας από την πίσω επιφάνεια πραγματοποιούνται μέσω του μηχανισμού της συναγωγής για φυσική συναγωγή, με μεταφορά θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια στο εσωτερικό του οικίσκου. Σε αντίθετη περίπτωση θα υπολογίζαμε τις απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής συμπεριλαμβάνοντας την μόνωση και το εξωτερικό περίβλημα. Έτσι ορίζουμε τον συντελεστή απωλειών από την συλλεκτική επιφάνεια προς τον εσωτερικό αέρα του δωματίου U_p



Εικόνα 5.18 : Επισκευές στον συλλέκτη της στέγης



Εικόνα 5.19 : Μορφή συλλέκτη στέγης πριν το πείραμα

$$U_{\pi} = \frac{Nu_k}{L_{\mu, \text{συλ}}}$$

Όπου : $L_{\mu, \text{συλ}}$ είναι το μήκος της συλλεκτικής επιφάνειας

$L_{\mu, \text{συλ}} = 1180 \text{ [mm]}$ ή $1,18 \text{ [m]}$

k Είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του στρώματος του αέρα κοντά στην συλλεκτική επιφάνεια. Η θερμοκρασία του αέρα στο σημείο αυτό θα θεωρηθεί ως η μέση τιμή μεταξύ της συλλεκτικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας του δωματίου :

$T_{\sigma,\delta} = 50,93[^\circ\text{C}]$.

Με γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία αυτή: $K_{50,93[^\circ\text{C}]} = 0,02742$

Ο αριθμός Nusselt, στην περίπτωση της απλής συναγωγής σε κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται σύμφωνα με το βιβλίο Ηλιακή Μηχανική σελ 594.

$$Nu = 0,1 \cdot Ra^{1/3} \quad 10^{10} < Ra < 10^{13}$$

Ra είναι ο αριθμός Reyleigh και στην περίπτωση του κεκλιμένου συλλέκτη με απλή συναγωγή υπολογίζεται από

$$Ra = \frac{g \cos \theta \beta \Delta T L_{\mu, \text{συλ}}^3}{\nu \alpha}$$

β Ο συντελεστής επέκτασης όγκου, ισχύει $\beta = 1/T_{\sigma,\delta}$ με $T_{\sigma,\delta}$ θεωρούμε την θερμοκρασία λεπτής στιβάδας σε [K] που είναι το ημίθροισμα των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας που υπολογίσαμε παραπάνω.

$$\beta = 0,003087$$

ΔT Είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας δωματίου. $\Delta T = (T_{\sigma} - T_{\delta}) = (68,85[^\circ\text{C}] - 33[^\circ\text{C}]) \square \square \Delta T = 35,85[^\circ\text{C}]$

ν Το κινηματικό ιξώδες του αέριου στρώματος, από τον Πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή: $\nu_{50,93[^\circ\text{C}]} = 1,807 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$

α Η θερμική διαχυτότητα του αέριου στρώματος και προσεγγίζεται από τον πίνακα θερμοφυσικών ιδιοτήτων για τον αέρα επίσης με γραμμική παρεμβολή. Έτσι :

$$\alpha_{50,93[^\circ\text{C}]} = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

θ Είναι η κλίση του συλλέκτη $\theta = 13,58[^\circ]$

$L_{\mu, \text{συλ}}$ Το μήκος της συλλεκτικής επιφάνειας $L_{\mu, \text{συλ}} = 1180 \text{ [mm]}$ ή $L_{\mu, \text{συλ}} = 1,18 \text{ [m]}$

$$Ra = \frac{g \cos \theta \beta \Delta T L_{\mu, \text{συλ}}^3}{\nu \alpha} = 3.834.924.360$$

Άρα:

$$Nu = 0,1 \cdot Ra = 156,53$$

Τέλος ο συντελεστής θερμικών απωλειών από την συλλεκτική επιφάνεια προς τον εσωτερικό αέρα του δωματίου θα υπολογιστεί από:

$$U_{\pi} = \frac{Nu k}{L_{\mu, \text{συλ}}} = 3,637 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.3.3.7 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ $h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \text{περ}}$

Οι απώλειες αυτές θα υπολογιστούν ξανά με την βοήθεια του ορισμού του αριθμού Nusselt:

$$h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \text{περ}} = \frac{Nu k}{L}$$

L_{μ} Είναι το μήκος του Φ/Β πάνελ. $L_{\mu} = 1378 \text{ [mm]}$ $\square L_{\mu} = 1,378 \text{ [m]}$ (Έχουν το ίδιο μήκος με την συλλεκτική επιφάνεια)

k Είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ του τζαμιού και του ατμοσφαιρικού αέρα. Υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή $K_{39,46 [^{\circ}\text{C}]} = 0,02658 \text{ W/mK}$

Στην περίπτωση αυτή όμως, η ροή του αέρα στο περιβάλλον είναι τυρβώδης και ο τύπος του Nusselt θα δίνεται από την παρακάτω σχέση

$Nu = 0,0296 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3}$ για $0,6 \leq Pr \leq 60$, $5 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^7$ Όπου Re ο αδιάστατος αριθμός Reynolds εξωτερικής ροής στο βιβλίο Ηλιακή Μηχανική σελ. 462. Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του τζαμιού. $u=1,037 \text{ m/s}$

$$Re = \frac{uL}{\nu}$$

Ο αριθμός Prandtl υπολογίζεται για θερμοκρασία που προκύπτει από την μέση τιμή του τζαμιού και του περιβάλλοντος. Έτσι από τους θερμοφυσικούς πίνακες με γραμμική παρεμβολή για την συγκεκριμένη θερμοκρασία προκύπτει :

$$Pr_{39,46 [^{\circ}\text{C}]} = 0,7256$$

ν Το κινηματικό ιξώδες του αέρα ενδιάμεσα από το τζάμι και τον ατμοσφαιρικό αέρα από τον πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή για $T_{\alpha,\tau\zeta} = 39,46 [^{\circ}\text{C}]$: $\nu_{39,46 [^{\circ}\text{C}]} = 1,697 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$. Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει :

$$Re = \frac{uL}{\nu} = \frac{1,037 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,378 \text{ m}}{1,697 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}} = 77347,82$$

Έτσι υπολογίζεται και ο αριθμός Nusselt

$$Nu = 0,0296 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} = 0,0296 \cdot (77347,82)^{0,8} \cdot (0,7256)^{1/3}$$

$$Nu = 216,5$$

Με αντικατάσταση υπολογίζονται οι απώλειες θερμότητας από το τζάμι στο περιβάλλον μέσω συναγωγής :

$$h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow \text{περ}} = \frac{Nuk}{L} = \frac{216,5 \cdot 0,02658}{1,378} = 4,54 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Και είναι αναμενόμενο να είναι το ίδιο με τον συλλέκτη

5.3.3.8 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΤΖΑΜΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $h_{\alpha,\tau\zeta \rightarrow \text{περ}}$

Το τζάμι, ακτινοβολεί στο υπέρυθρο προς το περιβάλλον θερμότητα που μειώνει την απόδοση του συλλέκτη. Επομένως αναφερόμαστε σε απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας που υπολογίζονται:

$$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = \varepsilon_{\tau\zeta} \cdot \sigma \cdot (T_{\tau\zeta} + T_{\text{περ}})(T_{\tau\zeta}^2 + T_{\text{περ}}^2)$$

σ η σταθερά Stefan – Boltzmann, $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8}$

$\varepsilon_{\tau\zeta}$ Ο συντελεστής εκπομπής του τζαμιού $\varepsilon_{\tau\zeta} = 0,925$

$T_{\tau\zeta}$ Η θερμοκρασία του τζαμιού $T_{\tau\zeta} = 47,37 [^{\circ}\text{C}]$.

$T_{περ}$ είναι η θερμοκρασία του ουράνιου θόλου για ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

$$T_{ουρ} = 0,0552 \cdot (T_a)^{1,5}$$

Οπότε για θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_a = 31,54$ [°C] ή $304,54$ [K]

$$T_{ουρ} = 0,0552 \cdot (304,54[K])^{1,5} \Leftrightarrow T_{ουρ} = 293,36[K]$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές προκύπτει πως οι απώλειες θερμότητας μέσω ακτινοβολίας από το τζάμι στο περιβάλλον είναι :

$$h_{a,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = \varepsilon_{\tau\zeta} \cdot \sigma \cdot (T_{\tau\zeta} + T_{περ})(T_{\tau\zeta}^2 + T_{περ}^2) = 0,925 \cdot 5,6703 \cdot 10^{-8} \cdot (320,37 + 293,36)(320,37^2 + 293,36^2) = 6,074 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Και είναι λογικό αφού έχουν κοινά στοιχεία οι πράξεις για τα πάνελ και για τους ηλιακούς συλλέκτες

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, προκύπτει πως ο συντελεστής θερμικών απωλειών της εμπρόσθιας επιφάνειας με χρήση της εξίσωσης:

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\sigma,\sigma \rightarrow \tau\zeta} + h_{a,\sigma \rightarrow \tau\zeta}} + \frac{1}{h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow περ} + h_{a,\tau\zeta \rightarrow περ}}} = 4,824 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{2,068 + 6,77} + \frac{1}{4,546 + 6,074}}$$

5.3.3.9 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΙΣΩ ΟΨΗ

Συνεπώς οι απώλειες θερμότητας από την πίσω επιφάνεια πραγματοποιούνται μέσω του μηχανισμού της συναγωγής για φυσική συναγωγή, με μεταφορά θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια στο εσωτερικό του οικίσκου. Δεν υπάρχει και δεν πρέπει να υπάρχει μόνωση στο πίσω μέρος των Φ/Β πάνελ.

$$U_{\pi} = \frac{Nuk}{L_{\mu}, \varphi\beta}$$

Όπου : $L_{\mu}, \varphi\beta$ είναι το μήκος των φ/β πλαισίων

$$L_{\mu}, \text{σουλ} = 1378 \text{ [mm]} \text{ ή } 1,37 \text{ [m]}$$

k Είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του στρώματος του αέρα κοντά στην συλλεκτική επιφάνεια. Η θερμοκρασία του αέρα στο σημείο αυτό θα θεωρηθεί ως η μέση τιμή μεταξύ της συλλεκτικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας του δωματίου :

$$T_{\sigma,\delta} = 50,93[\text{°C}].$$

Με γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία αυτή: $K_{50,93[\text{°C}]} = 0,02742$

Ο αριθμός Nusselt, στην περίπτωση της απλής συναγωγής σε κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται σύμφωνα με το βιβλίο Ηλιακή Μηχανική σελ. 594.

$$Nu = 0,1 \cdot Ra^{1/3} \quad 10^{10} < Ra < 10^{13}$$

Ra είναι ο αριθμός Reyleigh και στην περίπτωση του κεκλιμένου συλλέκτη με απλή συναγωγή υπολογίζεται από

$$Ra = \frac{g \cos \theta \beta \Delta T L_{\mu, \varphi \beta}^3}{\nu a}$$

β Ο συντελεστής επέκτασης όγκου, ισχύει $\beta=1/T_{\sigma, \delta}$ με $T_{\sigma, \delta}$ θεωρούμε την θερμοκρασία λεπτής στιβάδας σε [K] που είναι το ημιάθροισμα των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας που υπολογίσαμε παραπάνω.

$\beta=0,003087$

ΔT Είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας δωματίου. $\Delta T = (T_{\sigma} - T_{\delta}) = (68,85[^\circ\text{C}] - 33[^\circ\text{C}]) \square \square \Delta T = 35,85[^\circ\text{C}]$

ν Το κινηματικό ιξώδες του αέριου στρώματος, από τον Πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή : $\nu_{50,93 [^\circ\text{C}]} = 1,807 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$

a Η θερμική διαχυτότητα του αέριου στρώματος και προσεγγίζεται από τον πίνακα θερμοφυσικών ιδιοτήτων για τον αέρα επίσης με γραμμική παρεμβολή. Έτσι :

$a_{50,93 [^\circ\text{C}]} = 2,5 \cdot 10^{-5}$

θ Είναι η κλίση των φ/β πάνελ $\theta = 13,58[^\circ]$

$L_{\mu, \varphi \beta}$ Το μήκος των φ/β στοιχείων $L_{\mu, \varphi \beta} = 1378 \text{ [mm]}$ ή $L_{\mu, \varphi \beta} = 1,37 \text{ [m]}$

$$Ra = \frac{g \cos \theta \beta \Delta T L_{\mu, \varphi \beta}^3}{\nu a} = 3.834.924.360$$

Άρα:

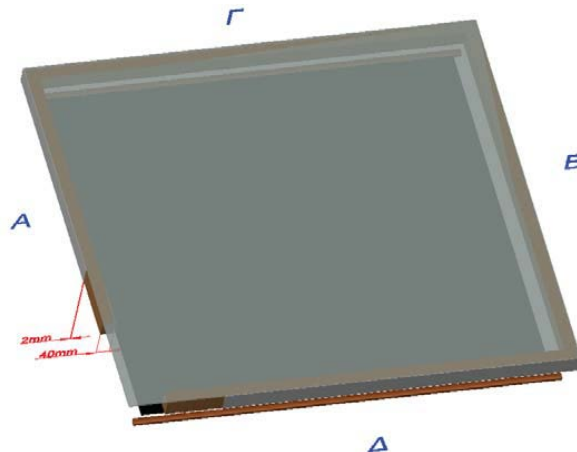
$$Nu = 0,1 \cdot Ra = 156,53$$

Τέλος ο συντελεστής θερμικών απωλειών από τα φ/β πάνελ προς τον εσωτερικό αέρα του δωματίου θα υπολογιστεί από:

$$U_{\pi} = \frac{Nu k}{L_{\mu, \varphi \beta}} = 3,637 \text{ W/m}^2\text{K}$$

5.3.3.10 ΟΛΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Στις πλάγιες όψεις του συλλέκτη της στέγης του οικίσκου, δεν υπάρχει κάποια μόνωση πετροβάμβακα για να εμποδίζει την μεταφορά της θερμότητας προς το περιβάλλον. Οι πλάγιες όψεις περιλαμβάνουν περιμετρικά σαν μόνωση ένα πάχος ξύλου 45 [mm] και το εξωτερικό προστατευτικό περίβλημα 2[mm] κράμα αλουμινίου



Εικόνα 5.20 : Μόνωση στις πλάγιες όψεις του συλλέκτη της στέγης του ενεργειακού οικίσκου

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε και τις απώλειες από τις πλαϊνές πλευρές ήτοι:
 $U_{\pi\lambda}=0,4798$

Είμαστε πλέον στην θέση να υπολογίσουμε τον ολικό συντελεστή απωλειών θερμοκρασίας για τον κεκλιμένο συλλέκτη U_o :

$$U_o = U_{\pi\lambda} + U_{\pi i} + U_{\tau z} = 0,47 + 3,63 + 4,82 = 8,94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Επίσης πλέον μπορούμε να υπολογίσουμε τον ολικό συντελεστή απωλειών θερμοκρασίας για τα δύο κεκλιμένα φ/β πλαίσια :

$$U_{\phi\beta} = U_{\pi\lambda} + U_{\pi i} + U_{\tau z} = 0,47 * 2 + 3,63 * 2 + 4,82 * 2 = 17,88 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Αν τα προσθέσουμε συνολικά θα διαπιστώσουμε ότι:

$$U_{\tau} = U_o + U_{\phi\beta} = \frac{(17,88 + 8,94)W}{m^2K} = 26,82 \frac{W}{m^2K}$$

5.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στην ενότητα αυτή, θα αναλύσουμε θεωρητικά την θερμική συμπεριφορά του συλλέκτη της στέγης του ενεργειακού οικίσκου και θα βρούμε την απόδοση του, βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του. Έτσι θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό της απόδοσης περυγίου F και στον συντελεστή F' . Συγκεκριμένα η απόδοση του περυγίου είναι ο λόγος της θερμότητας που λαμβάνει το νερό του συλλέκτη διαμέσου των σωλήνων του, προς την ιδανική θερμότητα που θα απορροφούσε εάν θεωρούσαμε τέλεια θερμική αγωγιμότητα. Ενώ ο συντελεστής F' εκφράζει τον λόγο της θερμικής αντίστασης της επιφάνειας του σε σχέση με το περιβάλλον, προς αυτήν του νερού με το περιβάλλον αντίστοιχα. Ο υπολογισμός των παραπάνω συντελεστών υπολογίζεται βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κάθε συλλέκτη και ισούνται με :

$$F' = \frac{\frac{1}{U_o}}{I' \cdot \left[\frac{1}{U_o(D + 2W \cdot F)} + \frac{1}{hc,i \cdot \pi \cdot D} \right]}$$

Όπου :

m Ένας βοηθητικός συντελεστής της συλλεκτικής επιφάνειας, η τιμή του οποίου υπολογίζεται όπως παρακάτω :

$$m = \sqrt{\frac{U_o}{kt}}$$

U_o Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του συλλέκτη.

k Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της μαύρης συλλεκτικής επιφάνειας.

t Το πάχος της συλλεκτικής επιφάνειας.

hc,i Ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη.

D Η εξωτερική διάμετρος των σωληνώσεων.

2W Η απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων των σωληνώσεων.
l' Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των σωληνώσεων.

Εφόσον υπολογίσουμε τον συντελεστή F' μπορούμε να υπολογίσουμε τον θερμικό συντελεστή του ηλιακού συλλέκτη F_R σχετικά με την θερμική απολαβή του. Ο συντελεστής αυτός είναι χαρακτηριστικός για τον κάθε συλλέκτη, και με την βοήθεια του μπορούμε να προσεγγίσουμε την ωφέλιμη θερμότητα που αποδίδει.

$$F_R = \frac{m \cdot Cp}{U_o \cdot Ac} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{U_o \cdot F' \cdot Ac}{m \cdot Cp}\right)} \right]$$

Όπου :

m: Η μαζική παροχή του νερού που διέρχεται από τον συλλέκτη.

Ac Η επιφάνεια του συλλέκτη (μαύρης επιφάνειας)

Cp Η ειδική θερμότητα του νερού.

Έτσι υπολογίζεται η ωφέλιμη θερμότητα από τον συλλέκτη :

$$Q_u = Ac \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau\alpha) - [(U_o - U_{\pi l}) \cdot (T_{\epsilon i \sigma} - T_\alpha) + U_{\pi l} \cdot (T_{\epsilon i \sigma} - T_\delta)]]$$

Η σχέση δεν ισχύει σε ηλιακούς συλλέκτες που βρίσκονται στον εξωτερικό χώρο. Σε αυτή την περίπτωση η θερμική απολαβή συναντάται με την μορφή :

$$Q_u = Ac \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau\alpha) - U_o \cdot (T_{\epsilon i \sigma} - T_\alpha)]$$

Όπου :

I_T Η προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία που λαμβάνει ο συλλέκτης την δεδομένη χρονική στιγμή.

($\tau\alpha$) Η ενεργός τιμή του γινομένου $\tau \cdot \alpha$ (διαπερατότητας υαλοπίνακα επί συντελεστή απορρόφησης συλλεκτικής επιφάνειας)

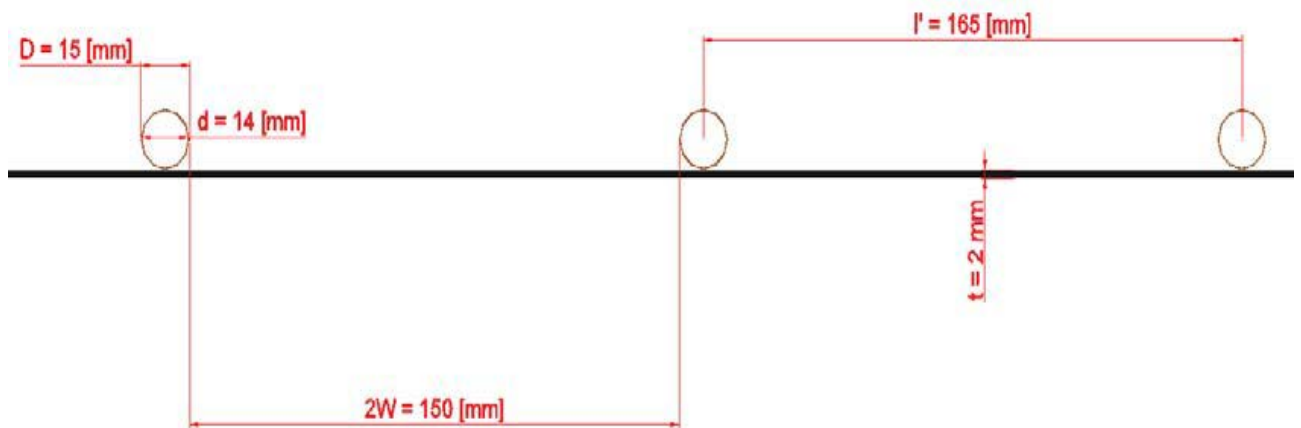
T_i Η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη.

T_α Η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Έχοντας δεδομένη την ωφέλιμη θερμική ενέργεια από τον συλλέκτη υπολογίζουμε εύκολα εξορισμού την απόδοση του την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η απόδοση θα είναι το ποσό της θερμότητας που παίρνουμε από αυτόν, δηλαδή το Q_u προς την ενέργεια που πέφτει στην επιφάνεια του δηλαδή την ακτινοβολία επί την επιφάνεια του συλλέκτη :

$$\eta = \frac{Q_u}{Ac \cdot I_T}$$

Παρακάτω γίνεται εφαρμογή της μεθόδου που αναφέραμε για την περίπτωση του συλλέκτη της στέγης, συγκεκριμένα έχουμε :



Εικόνα 5.21 : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συλλέκτη της στέγης του οικίσκου.

Εξωτερική διάμετρος σωλήνων $D = 15[\text{mm}]$ ή $0,015[\text{m}]$

Απόσταση σωλήνων $2W = 150[\text{mm}]$ ή $0,15[\text{m}]$

Πάχος απορροφητικής πλάκας $t = 2[\text{mm}]$ ή $0,002[\text{m}]$

Απόσταση μεταξύ των κέντρων των σωλήνων $l' = 165[\text{mm}]$ ή $0,165[\text{m}]$

Ο συνολικός συντελεστής Θερμοπερατότητας του συλλέκτη υπολογίστηκε
 $U_o = 8,941 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας k της συλλεκτικής επιφάνειας θα είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του χαλκού από τον οποίο είναι κατασκευασμένος. Για τον καθαρό χαλκό ισχύει $k = 401 \text{ W/m}^2\text{K}$ Ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη, υπολογίζεται με βάση τον ορισμό του αριθμού Nusselt :

$$Nu = \frac{hc, i \cdot d}{k_w}$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

Όπου ο αριθμός Reynolds (Re)

$$Re = \frac{u_w \cdot d}{\nu}$$

Από τους πίνακες ιδιοτήτων κορεσμένου νερού για τον υπολογισμό των θερμοφυσικών μεγεθών του νερού (ρ, ν, Pr, k_w), έχουμε:

$$T_w = 58,36 [^{\circ}\text{C}]$$

$$\rho_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 984,1 [\text{Kg/m}^3]$$

$$\mu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 0,48 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms}$$

$$\nu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 4,878 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 3,08$$

$$k_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 0,652 \text{ W/mK}$$

Σε αυτή την περίπτωση όμως όπου u_w είναι η ταχύτητα του νερού διαμέσου του σωλήνα. Εμείς γνωρίζουμε πως η παροχή νερού στο σύστημα συλλεκτών ήταν κατά μέσο όρο $40 [\text{L/h}]$ μέσω του ροόμετρου που έδειχνε την τιμή κατά την διάρκεια του πειράματος, επομένως η μαζική παροχή σε δευτερόλεπτα.

$$m=0,0111[\text{Kg/s}]$$

Έτσι η ταχύτητα του νερού στους σωλήνες του συλλέκτη θα είναι :

$$\dot{m} = \rho \cdot u_w \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 0.073 \text{ m/s}$$

Επομένως ο αριθμός Reynolds και ο Nusselt είναι :

$$Re = 2105,6$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 2105,6^{0,8} \cdot 3,08^{0,4}$$

$$Nu = 16,44$$

Έτσι ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας βάσει της Έξ. (5.24) θα είναι :

$$hc, i = \frac{Nu \cdot d}{k_w} = 16,44 \cdot \frac{0,652}{0,014} = 766,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Επομένως υπολογίζουμε τους συντελεστές, F' και m :

$$m = \sqrt{\frac{U_o}{kt}} = 3,34$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_o}}{I' \cdot \left[\frac{1}{U_o(D + 2W \cdot F)} + \frac{1}{hc, i \cdot \pi \cdot D} \right]} = 0,9436$$

$$F_R = \frac{m \cdot Cp}{U_o \cdot Ac} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{U_o \cdot F' \cdot Ac}{m \cdot Cp}\right)} \right] = 0,8282$$

Έτσι υπολογίζεται η ωφέλιμη θερμότητα από τον συλλέκτη Με τον όρο ($\tau\alpha$) εννοούμε το γινόμενο της διαπερατότητας (τ) του τζαμιού με την απορροφητικότητα (α) της συλλεκτικής επιφάνειας. Εκτιμώνται από την βιβλιογραφία $\alpha=0,92$ και $\tau= 0,94$ άρα ($\tau\alpha$) = (0,92·0,94) Άρα, ($\tau\alpha$) = 0,8648

Η ηλιακή ακτινοβολία όπως προκύπτει από την καταγραφή του Data Logger ήταν $I_T = 612,6$ στις 14:06 ΤΩΧ

$$T_{eis} = 52,82 [^{\circ}\text{C}] \text{ ή } T_{eis} = 325,82[\text{K}]$$

$$T_{\alpha} = 31,54 [^{\circ}\text{C}] \text{ ή } T_{\alpha} = 304,45[\text{K}]$$

$$T_{\delta} = 33 [^{\circ}\text{C}] \text{ ή } T_{\delta} = 306 [\text{K}]$$

Με αντικατάσταση έχουμε:

$$\begin{aligned} Q_u &= Ac \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau\alpha) - U_o \cdot (T_{eis} - T_{\alpha})] \\ &= 1,47\text{m}^2 \cdot 0,8282 \cdot \left[612,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 0,8648 - \left[\left(8,941 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} - 3,637 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right) \cdot (325,82\text{K} - 304,45\text{K}) + 3,637 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot (325,82\text{K} - 306,00\text{K}) \right] \right] \end{aligned}$$

$$Q_u = 419.89 \text{ Watt}$$

Επομένως η απόδοση του συλλέκτη για τις 14:06 ΤΩΧ θα είναι Έξ. (5.23).

$$\eta = \frac{Q_u}{Ac \cdot I_T} = \frac{419.89W}{1.47m^2 \cdot 612.6 \frac{W}{m^2}} = 0.4662$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία κάθε φορά, μπορούμε να βρούμε την απόδοση του συλλέκτη κάθε χρονική στιγμή.

5.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΠΛΑΣΙΑ

$$Q_{\phi\beta} = Ac \cdot U_{\phi\beta} \cdot (T_{max} - T_{\delta})]$$

$$Q_{\phi\beta} = 2 \cdot [(1,378 \cdot 0,32)m^2 \cdot 17,88 \frac{W}{m^2 K} (52,82 - 33)K]$$

$$Q_{\phi\beta} = 156.26 W$$

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

Ωρα	I_T	$U_{\tau\zeta}$	U_{π}	$U_{\pi\lambda}$	U_o	F	F'	F_R	Q_u	η
	$\frac{W}{m^2}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$							[W]	[%]
12:50	939	4,46	3,67	0,48	8,6	0,980	0,945	0,834	776,75	56,26
13:27	969	4,24	3,58	0,48	8,3	0,981	0,947	0,838	868,56	60,96
13:44	976	4,7	3,6	0,48	8,77	0,980	0,944	0,830	844,78	58,87
14:06	612,6	4,82	3,64	0,48	8,94	0,980	0,944	0,828	419,89	46,62
14:31	1072	5,01	3,57	0,48	9,05	0,979	0,943	0,826	888,10	56,35
14:56	990	4,43	3,57	0,48	8,48	0,981	0,946	0,836	823,40	56,57
15:20	338,8	5,09	3,41	0,48	8,98	0,979	0,943	0,827	165,44	33,21
15:42	619	5,32	3,42	0,48	9,22	0,979	0,941	0,823	472,13	51,88
16:01	397,7	4,85	3,21	0,48	8,54	0,980	0,945	0,834	266,14	45,52

Εικόνα 5.22 : Συγκεντρωτικός πίνακας όπου φαίνεται η απόδοση της ιδιοκατασκευής του συλλέκτη της στέγης για τον ενεργειακό οικίσκο για διάφορες ώρες

5.6 ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΙ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Συνολικό Φορτίο:

$$Q_{\tau} = Q_{\phi\beta} + Q_u = (156,26 + 419,89)W = 576,15 W$$

Εάν πρόκειται για έναν χειμερινό μήνα όπως ο Δεκέμβρης έστω $I_T = 600$ τότε:

$$\eta = \frac{Q_{\tau}}{A_c \cdot I_T} = \frac{576,15 \text{ W}}{2,35 \text{ m}^2 \cdot 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 0.4086$$

Εάν αλλάξουμε το πόσο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρούμε ότι αλλάζει και ο βαθμός απόδοσης.

5.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΠΟ ΤΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ

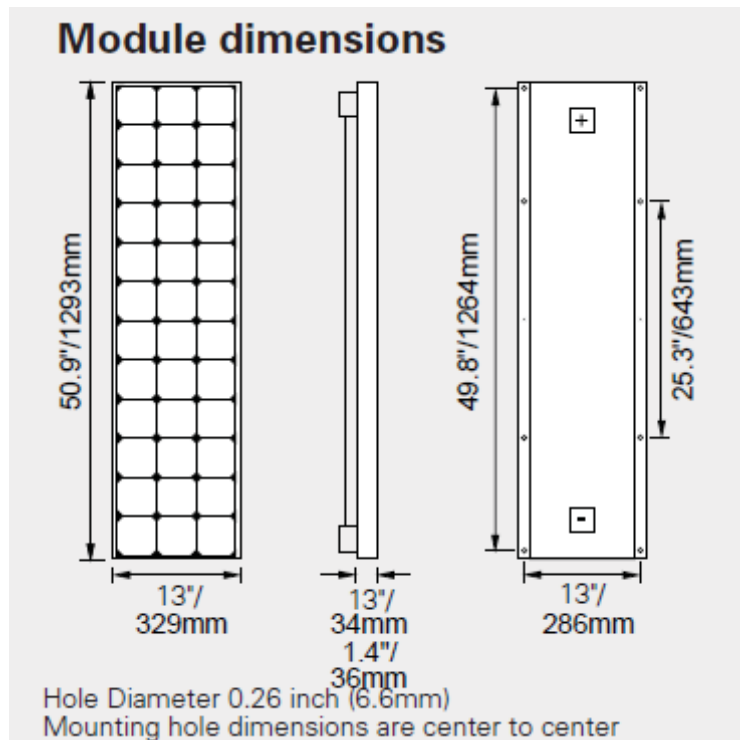
5.7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι εγκατεστημένα στην οροφή του οικίσκου δεν είναι απλά τοποθετημένα επάνω της, αντιθέτως είναι τα ίδια μέρος της στέγης του οικίσκου. Αυτό σημαίνει πως η πίσω πλευρά τους είναι σε άμεση επαφή με τον εσωτερικό χώρο του οικίσκου και ανταλλάσσει θερμότητα με αυτόν μέσω του μηχανισμού της συναγωγής. Η ανταλλαγή της θερμότητας των φωτοβολταϊκών με τον εσωτερικό χώρο προσφέρει θερμικό κέρδος στον οικίσκο κάτι που είναι προς όφελος του για την θέρμανση μέσω του ενδοδαπέδιου συστήματος για τους χειμερινούς μήνες. Από την άλλη αυτό επιφέρει και αρνητικά στοιχεία στα ίδια τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εφόσον δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και τον άνεμο ώστε να ψύχονται. Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να δημιουργούνται υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια τους που διευκολύνουν την πρόωρη γήρανση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

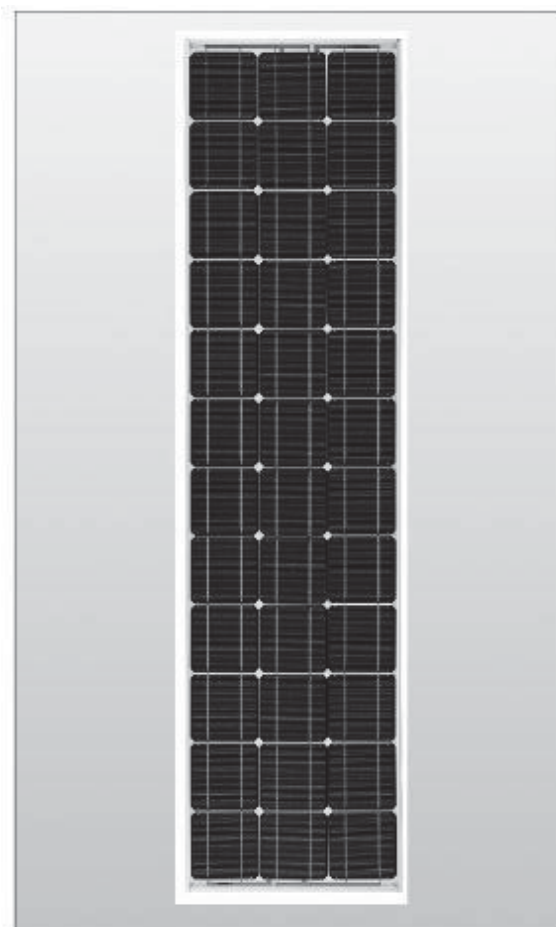


Εικόνα 5.23 : Εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια στην στέγη του οικίσκου

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του οικίσκου, είναι τύπου Siemens SM55 Μονοκρυσταλικού Πυριτίου. Κατασκευάστηκαν το έτος 1999 και έχουν Serial Number 019751D1489901494, 019751D1489901541 αντίστοιχα.



Εικόνα 5.24: Διαστάσεις πλαισίων εγκατεστημένων στον οικίσκο

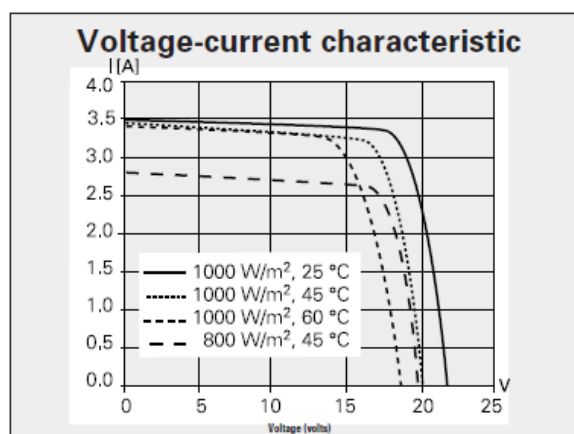


Εικόνα 5.25: Τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων εγκατεστημένων στον οικίσκο

Έχουμε εγκατεστημένα δύο τέτοια φωτοβολταϊκά πλαίσια των 55 [Wp] τα ηλεκτρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στις εικόνες.

Solar module SM55		
Electrical parameters		
Maximum power rating P_{max}	[Wp] ¹⁾	55
Rated current I_{MPP}	[A]	3.15
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.4
Short circuit current I_{SC}	[A]	3.45
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.7
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current		1.2mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.77V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum permitted system voltage [V]		600 (1000 V per ISPR4)
Wind Loading	PSF [N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	12 [5.5]

- 1) Wp (Watt peak) = Peak power
(Minimum Wp = 50 Watts)
- Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C
- 2) Normal Operating Cell Temperature at:
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_u = 20 °C
Wind Speed v_w = 1 m/s
- 3) Diagonal lifting of module plane
4) Per IEC 61215 test requirements

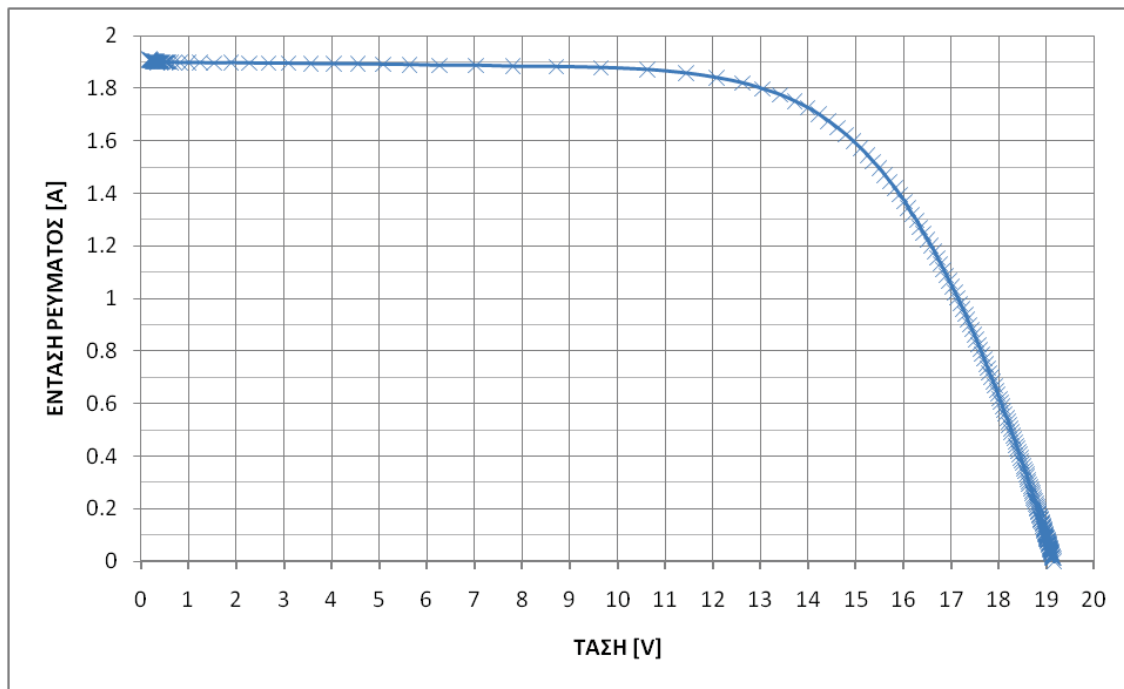


Εικόνα 5.26: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πλαισίων εγκατεστημένων στον οικίσκο

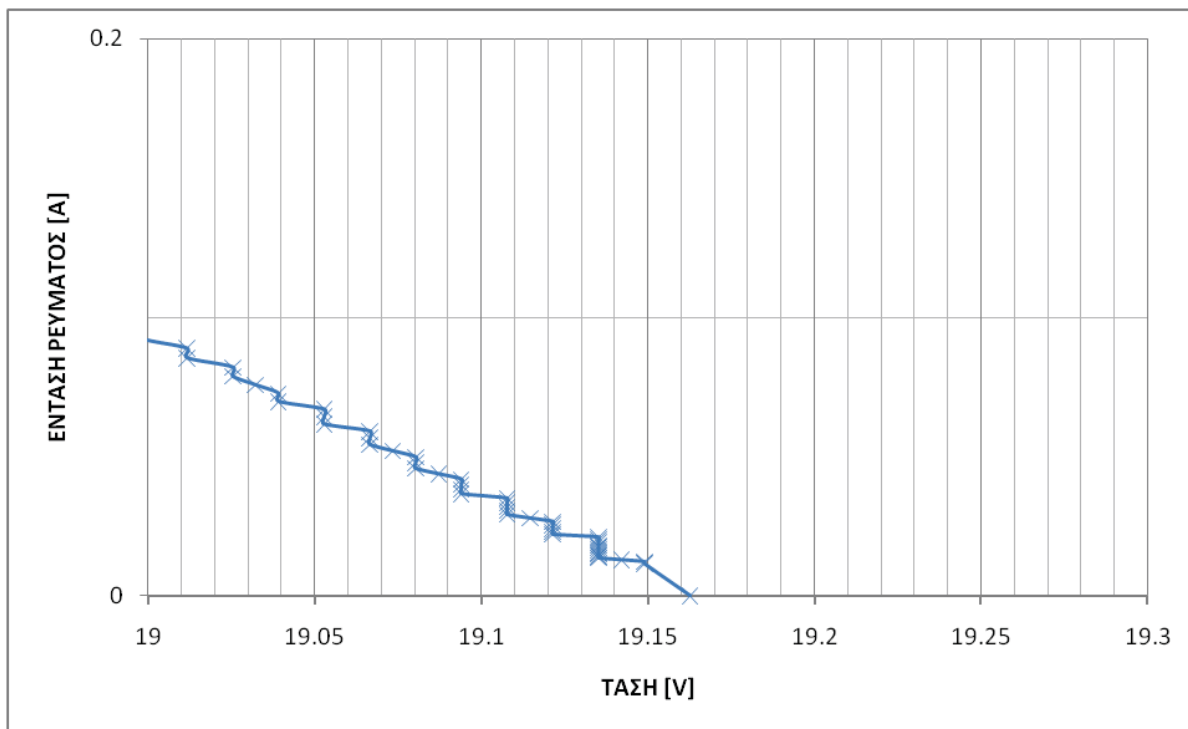
5.7.2 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ I-V ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν στον ενεργειακό οικίσκο δοκιμών για προγενέστερη πτυχιακή εργασία, έχουμε για παράδειγμα για το πρώτο πλαίσιο:

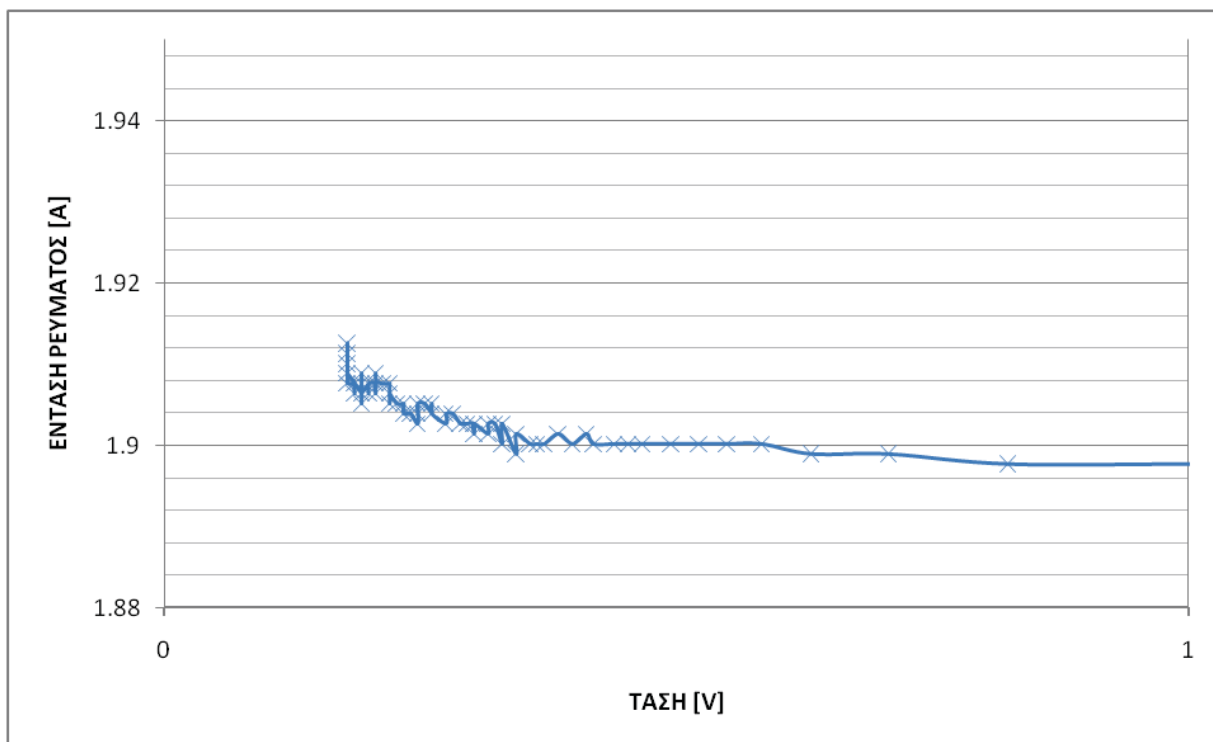
Όνομα Θερμοζεύγους	Θέση cell στο πλαίσιο
TC1	A2_6
TC2	A2_9



Εικόνα 5.27: Χαρακτηριστική καμπύλη $i-v$ 1ης μέτρησης πλαισίου A



Εικόνα 5.28: Προσδιορισμός V_{oc} 1ης μέτρησης για το πλαίσιο A



Εικόνα 5.29: Προσδιορισμός I_{sc} 1ης μέτρησης για το πλαίσιο A

Η $V_{oc}(A1) = 19,160$ [V] είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος για την επεξεργασία των χαρακτηριστικών καμπυλών $i-v$ και την αναγωγή τους σε συνθήκες STC. Αντίστοιχο αποτελεί η ισχύς αιχμής P_m που προκύπτει από το γινόμενο του παραγόμενου ρεύματος με την παραγόμενη τάση. Στην πραγματικότητα είναι η μέγιστη Ισχύς που μπορεί να δώσει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε συγκεκριμένο φορτίο στις συνθήκες που διεξάγεται το πείραμα. Παρακάτω ακολουθεί ένας ενδεικτικός πίνακας από τα πειράματα.

ΠΛΑΙΣΙΟ A			ΠΛΑΙΣΙΟ B		
Θερμοζεύγος	1 ^η [°C]	2 ^η [°C]	Θερμοζεύγος	1 ^η [°C]	2 ^η [°C]
TC-1	47,8112	48,3318	TC3	48,6210	48,2274
TC-2	47,8082	48,4140	TC4	47,8824	47,2228
Μέση Θερμοκρασία	47,8097	48,3729	Μέση Θερμοκρασία	48,7462	47,7250

Εικόνα 5.30: Χαρακτηριστικές τιμές για κάθε πλαίσιο ανάλογα την μέτρηση

	ΠΛΑΙΣΙΟ A			ΠΛΑΙΣΙΟ B		
	1 ^η	2 ^η	Μέση τιμή	1 ^η	2 ^η	Μέση τιμή
$I_{sc,STC}$ [A]	2,882	2,879	2,88	2,849	2,794	2,82
$V_{oc,STC}$ [V]	20,847	20,784	20,82	20,868	20,813	20,84
$P_{m,STC}$ [W]	41,1	41,289	41,19	39,879	39,774	39,83

Εικόνα 5.31: Τελικές τιμές ηλεκτρικών μεγεθών για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου

Άρα για τον Δεκέμβριο θα είναι :

ΠΛΑΙΣΙΟ Α $\rightarrow P_{mA} = P_{mA} - \delta P_{mA} = 41,19[W] - 0,175[W]$ Άρα $P_{mA} = 41,015[W]$

ΠΛΑΙΣΙΟ Β $\rightarrow P_{mB} = P_{mB} - \delta P_{mB} = 39,83[W] - 0,169[W]$ Άρα $P_{mB} = 39,661[W]$

Και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιχμής στον οικίσκο : $P_{m\Delta} = P_{mA} + P_{mB} + P_{m\Delta} = 41,01[W] + 39,66[W] = 80,67 [W]$

Σε προγενέστερη εργασία στο εργαστήριο των ΑΠΕ υπολογίστηκε ο συντελεστής PSH για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου (11^η), ο οποίος αντιπροσωπεύει τις ώρες που πέφτει στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών ηλιακή ακτινοβολία 1000 (δηλαδή σε συνθήκες STC) ώστε να έχει το ίδιο αποτέλεσμα με την ολική ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια αυτή κατά την διάρκεια όλης της ημέρας. Ο συντελεστής αυτός έχει εκτιμηθεί ως $PSH = 2,10 [h]$ και με αυτά τα δεδομένα υπολογίζεται η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική Ενέργεια Φωτοβολταϊκών Δεκεμβρίου (ΕΦΔ) από τον οικίσκο, εφόσον έχουμε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ για τον Δεκέμβριο $P_{m\Delta} = 80,67 W$ και τις ώρες ακτινοβολίας στις συνθήκες που έχει οριστεί η ισχύς αυτή PSH.



Εικόνα 5.32: Πυρανόμετρο οικίσκου δοκιμών στο επίπεδο της στέγης του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Ημερήσια Ενέργεια Φωτοβολταϊκών Δεκεμβρίου (ΕΦΔ):

$$ΕΦΔ = PSH \times P_{m\Delta}$$

$$ΕΦΔ = 2,10 h \times 80,67 W$$

ΕΦΔ = 169,40 Wh σε μία ημέρα και συγκεκριμένα την 11^η Δεκεμβρίου

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, κατά την εκπόνησή της, οδηγηθήκαμε σε ορισμένα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από υπολογισμούς αλλά και από την υπάρχουσα κατασκευή του Οικίσκου.

Η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη της στέγης φαίνεται πως είναι μικρότερη από αυτήν των συλλεκτών που τοποθετούνται πάνω στην στέγη στις συνήθεις εγκαταστάσεις, δηλαδή σε σχέση με των συλλεκτών του εμπορίων που παράγονται από οργανωμένες και πιστοποιημένες βιομηχανικές μονάδες. Τούτο κυρίως οφείλεται στο ότι οι θερμικές απώλειες είναι περισσότερες λόγω του σχεδιασμού του ως ιδιοκατασκευή όπως έχει αναφερθεί στο 4^ο κεφάλαιο. Επίσης, ο συλλέκτης ως ιδιοκατασκευή, δεν έχει στεγανότητα, με αποτέλεσμα να είναι εύκολο να περάσει υγρασία στο εσωτερικό του, και να μειώσει την αποδοτικότητά του αλλά και τον ωφέλιμο χρόνο ζωής του.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς των θερμικών φορτίων για την 11^η ημέρα του μήνα Δεκέμβρη και για ηλιακό μεσημέρι, διαπιστώνεται ότι ο ηλιακός συλλέκτης αλλά και τα δύο φ/β πλαίσια ως δομικά στοιχεία, προσφέρουν θερμική ισχύ ίση με 576,15 Watt και η θερμική τους απόδοση φτάνει περίπου στο 40%. Αυτό σημαίνει ότι το 60% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην οροφή του οικίσκου ανακλάται στο περιβάλλον ανεκμετάλλευτο ως οπτικές απώλειες ή διαχέεται στο περιβάλλον με την μορφή θερμότητας.

Η μικρή απόδοση οφείλεται και στο γεγονός ότι η ιδιοκατασκευή του συλλέκτη, είναι τοποθετημένη με κλίση 13,58 μοίρες ως προς το οριζόντιο επίπεδο και δεν είναι ιδανική για τους χειμερινούς μήνες. Σύμφωνα με την εξίσωση $\beta = \varphi - \delta$ για την Πάτρα τον Δεκέμβριο η ιδανική κλίση για μέγιστες θερμικές απολαβές είναι οι 60 μοίρες. Η κλίση που έχει η οροφή του οικίσκου είναι ιδανική για τους θερινούς μήνες και περισσότερο ιδανική για την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φ/β πλαίσια.

Οι παραπάνω υπολογισμοί αν γίνουν και για τους υπόλοιπους μήνες, θα παρατηρηθεί ότι το καλοκαίρι, αυξάνεται κατά πολύ η θερμική απόδοση και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο αφού αυξάνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μόνο που τους καλοκαιρινούς μήνες η θέρμανση δεν χρειάζεται. Άρα σαν πρόταση για επόμενη εργασία, είναι η εκμετάλλευση της περίσσειας θερμικής ενέργειας κατά τους θερινούς μήνες, με σκοπό τον κλιματισμό (για παράδειγμα εφαρμογή με αντλία θερμότητας).

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά φορτία στον οικίσκο θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα δύο φωτοβολταϊκά πάνελ της Siemens είναι χρησιμοποιημένα αρκετά χρόνια όχι μόνο στον οικίσκο αλλά και σε εφαρμογές στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας πριν από την κατασκευή του οικίσκου. Όπως μάλιστα αναφέρεται στο 5^ο κεφάλαιο τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του οικίσκου, είναι τύπου

Siemens SM55 Μονοκρυσταλικού Πυριτίου. Κατασκευάστηκαν το έτος 1999. Αυτό ήδη μας προϊδεάζει ότι λόγω του χρόνου, της χρήσης και της φυσικής φθοράς, τα πλαίσια δεν θα έχουν την ίδια απόδοση που θα ήταν το 1999. Εκ πρώτης όψεως βλέπουμε πως η ισχύς αιχμής των πλαισίων έχει μειωθεί σε έναν βαθμό της τάξεως ποσοστού 25,1% για το Πλαίσιο Α και 27,6% για το Πλαίσιο Β. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην γήρανση που έχουν υποστεί κατά το πέρασ του χρόνου. Η γήρανση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την σκίαση.

Όπως αναλύεται στην μελέτη σκίασης στο 5^ο κεφάλαιο (η οποία εκπονήθηκε το 2015 στο εργαστήριο των ΑΠΕ από τον καθηγητή κύριο Σ. Καπλάνη και φοιτητές του εργαστηρίου) τα φ/β πάνελ του οικίσκου σκιάζονται αρκετές στιγμές και κυρίως τις πρωινές ώρες και πριν το ηλιακό μεσημέρι. Άλλος ένας κύριος λόγος της γήρανσης των φ/β πλαισίων είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτά ιδίως κατά τους θερινούς μήνες. Άλλοι παράγοντες γήρανσης είναι οι τυχόν ακαθαρσίες (σκόνη, φύλλα, χώμα, περιπτώματα πτηνών) που δύναται να υπάρχουν στην επιφάνεια των πλαισίων εφόσον αυτά δεν καθαριστούν συχνά.

Σύμφωνα με πειράματα που έγιναν στον ενεργειακό οικίσκο σε προγενέστερη πτυχιακή εργασία, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιχμής στον οικίσκο είναι: 80,67 Watt, Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η διαθέσιμη ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου είναι 169,40 Wh (συγκεκριμένα την 11η Δεκεμβρίου). Εάν υποθεθεί ότι η ακτινοβολία κάθε μέρα του Δεκέμβρη είναι ίδια και ότι το PSH = 2,10 h είναι σταθερό τότε για όλο τον μήνα (31 ημέρες) η ενέργεια που θα προσφέρουν τα φ/β πλαίσια είναι 5,25 kWh.

Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει φορτία του οικίσκου, όπως τον φωτισμό, την λειτουργία των κυκλοφορητών για τα υδραυλικά του συστήματα, την φόρτιση των μπαταριών, την λειτουργία του Data Logger και την λειτουργία του ροόμετρου. Για να είναι δυνατή η ημερήσια τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας των συσκευών αυτών, θα πρέπει τα φ/β πλαίσια να δίνουν την απαραίτητη ενέργεια κάθε μέρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαννόπουλος Ανδρέας Χρ., Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2011.
2. Δελίδης Κωνσταντίνος, ΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2006.
3. Καλδέλης Ιωάννης Κ., Καββαδίας Κοσμάς Α, Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Εκδόσεις ΑΘ.ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, Αθήνα, 2001.
4. ΚΑΠΛΑΝΗΣ Σ.Ν., ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Ηλιακή Μηχανική, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2004.
5. ΚΑΠΛΑΝΗΣ Σ.Ν., ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ III, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2004.
6. Κάππος Γιάννης Θ., ΔΟΥΛΕΨΤΕ ΜΕ ΤΟ AutoCAD 2006, Εκδόσεις ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 2005.
7. Καραμπετάκης Νικόλαος, Εισαγωγή στην Fortran 90/95, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2002.
8. Κορωνάκης Περικλής, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ, 3^η Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2009.
9. Κουρής Σ.Σ, Σωτηρόπουλος Β.Α, Ηλεκτρολογικές και Μηχανολογικές εγκαταστάσεις σε κτίρια, Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΙΔΕΙΑ, Θεσσαλονίκη, 1996.
10. ΝΑΝΟΥΣΗΣ Δ. ΝΑΝΟΥΣΗΣ, Ρευστομηχανική, Α ΤΟΜΟΣ, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2005.
11. ΧΑΡΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ., ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΤΗΡΙΩΝ, ΤΟΜΟΣ Ι, Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2003.
12. YUNUS A. ÇENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4^η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Mc-Craw Hill, 2012.

13. Kaplanis S., Kaplani E., An intelligent energy building with integration of REC, ICT tools and nanocoatings in its shell. To be presented in the Int, Conf. SEEP2014, 23-25 November, Dubai, 2014.
14. Kaplanis S., Kaplani E., Intelligent energy buildings and introduction to nanotechnologies, University of West Scotland, 12 June 2014.
15. Kaplani E., Detection of Degradation Effects in Field-Aged c-Si SOLAR Cells through IR Thermography and Digital Image Processing by E. Kaplani.
16. Kaplani E., Degradation Effects in sc-Si PV Modules Subjected to Natural and Induced Ageing after Several Years of Field Operation – Journal of Engineering Science and Technology Review 5, Special issue on Renewable Energy Systems., 2012
17. Kaplanis Socrates, Papanastasiou Nikolaos, The study and performance of a modified conventional refrigerator to serve as a PV powered.
18. E. Kaplani (2012). PV module performance at S.T.C. and field conditions. Innovation Week on PV systems Engineering and the other Renewable Energy Systems. 1-12 July 2012, T.E.I of Patras, Greece.
19. Αρχιμήδης Ι - Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στο ΤΕΙ Πάτρας / Υποέργο 2, Ανάπτυξη-σχεδιασμός και ενσωμάτωση τεχνολογιών ηλιακής Ενέργειας στα κτίρια.
20. Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009
21. Θ. Μακρής, Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και Αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, 2009
22. Χριστάκη Σοφία, «Αξιολόγηση παθητικών ηλιακών συστημάτων εφαρμοσμένα σε προκατασκευασμένα δομικά κελύφη μέσω μετρήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους», 2012
23. Σ. Δ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.cres.gr/pepesecc/apotelesmata.html>

<http://www.solarquest.com/microsolar/suppliers/siemens/sm55.pdf>

http://www.texnologia.gr/index.asp?mod=eshop_item&ID=21452533&p=72_03

<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3Pyranometer#.VPybxfsUgU>

http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf

<http://www.ise.fraunhofer.de/en/service-units/callab-pv-cells-callab-pv-modules/callab-pv-modules/stc-measurements>

<https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/cr10x.pdf><http://www.wickes.co.uk/Grundfos-Alpha-2L-15-50-Domestic-Pump-12mm-Connections/p/228261#>

<http://www.steamequipments.com/pdf/flowmeter/Flomid.pdf>.

<http://www.google.gr/search?>

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- ¹ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.24*
- ² Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.24*
- ³ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.25*
- ⁴ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.23*
- ⁵ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.26*
- ⁶ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.27*
- ⁷ portal.tee.gr
- ⁸ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.37*
- ⁹⁹ *pngis*
- ¹⁰ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.41*
- ¹¹ Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.43*
- ¹² Σωκράτης Καπλάνης, *Ηλιακή Μηχανική, τόμος Β, σελ.45*
- ¹³ Σ. Δ. Πέρδιος, *Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 184*
- ¹⁴ Εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- ¹⁵ Εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- ¹⁶ *Ηλιακή Μηχανική, Σωκράτης Καπλάνης, Τόμος Β, σελ.51*
- ¹⁷ Σ. Δ. Πέρδιος, *Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 45-46*
- ¹⁸ <http://www.tmtth.gr/home/59-applications/560-photovoltaika>
- ¹⁹ www.heliergia-photovoltaic.gr/
- ²⁰ Εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- ²¹ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 173*
- ²² Εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- ²³ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 174*
- ²⁴ Εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- ²⁵ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 175*
- ²⁶ Εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας
- ²⁷ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 175*
- ²⁸ http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/88687.asp#photo8
- ²⁹ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 157-158*
- ³⁰ Σ. Δ. Πέρδιος, *Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 56-57*
- ³¹ *Μηχανική των Φ/Β Συστημάτων, Σ. Καπλάνης, 2004, Σελ 116*
- ³² <http://sinovoltaics.com/solar-basics/comparing-major-solar-panel-testing-conditions/>
- ³³ *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Σωκράτης Καπλάνης, τόμος Γ*
- ³⁴ Σ. Δ. Πέρδιος, *Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, 2007, σελ. 59-60*
- ³⁵ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 186*
- ³⁶ *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης, σελ.52*
- ³⁷ *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης, σελ.61*
- ³⁸ *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης, σελ.62*
- ³⁹ *Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία τόμος γ, Σωκράτης Καπλάνης, σελ.64*
- ⁴⁰ *Μελέτη Αυτόνομου Φ/Β Συστήματος υψηλής τεχνολογίας, Γιακαρέας, 2011, σελ 24*
- ⁴¹ <http://polytechnikanea.gr/WP3/?p=20653>
- ⁴² Θ. Μακρής, *Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και Αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, 2009, σελ. 4)*
- ⁴³ *Ηλιακή Μηχανική τόμος Β, Σωκράτης Καπλάνης, σελ.78*
- ⁴⁴ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ.95*
- ⁴⁵ *Ηλιακή Μηχανική τόμος Β, Σωκράτης Καπλάνης, σελ.67*
- ⁴⁶ Σ. Καπλάνης, *Ηλιακή μηχανική, 2004, σελ. 66-67*
- ⁴⁷ Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, *Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2009, σελ. 85-86*
- ⁴⁸ ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012, σελ. 29-30
- ⁴⁹ ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012, σελ 32-34
- ⁵⁰ Φακάλης Δ., «Συστήματα ηλιακού κλιματισμού με χρήση κύκλου προσρόφησης», 2010, σελ. 61-62
- ⁵¹ Δρίβας Δ., Εφαρμογές Ηλιακής ψύξης σε κτήρια τριτογενούς τομέα, 2010
- ⁵² Χριστάκη Σοφία, «Αξιολόγηση παθητικών ηλιακών συστημάτων εφαρμοσμένα σε προκατασκευασμένα δομικά κελύφη μέσω μετρήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους», 2012, σελ.16
- ⁵³ Φακάλης Δ., «Συστήματα ηλιακού κλιματισμού με χρήση κύκλου προσρόφησης», 2010, σελ. 61

-
- ⁵⁴ Χριστάκη Σοφία, «Αξιολόγηση παθητικών ηλιακών συστημάτων εφαρμοσμένα σε προκατασκευασμένα δομικά κελύφη μέσω μετρήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους», 2012, σελ. 19
- ⁵⁵ Μαστοράκη Σ., «Τεχνικοοικονομική ανάλυση και περιβαλλοντική αποτίμηση εφαρμογής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Θερμικά ηλιακά συστήματα – αβαθής γεωθερμία», 2012, σελ.27
- ⁵⁶ Τσεκούρας Π., «Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS», 2008, σελ. 42
- ⁵⁷ Κογчуλάκης Ι., «Μελέτη, εγκατάσταση και αξιολόγηση, ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού», 2009, σελ. 23-24
- ⁵⁸ Επισκόπηση ηλιακών συλλεκτών, 2010, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
- ⁵⁹ Επισκόπηση ηλιακών συλλεκτών, 2010, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
- ⁶⁰ Συμεώνη χ. Ανδριοπούλου, «Μελέτη θερμοσιφωνικού συστήματος επιπέδου συλλέκτη με χρήση του προγράμματος trnsys», 2009, σελ. 9-10
- ⁶¹ Φυτίλης Α., «Θέρμανση - Ψύξη χώρων με αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας», 2011, σελ. 13
- ⁶² Φυτίλης Α., «Θέρμανση - Ψύξη χώρων με αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας», 2011, σελ. 14
- ⁶³ Παντελάκης Ε., «Σχεδίαση συστήματος θερινού κλιματισμού με τη συμβολή παραβολικών ηλιακών συλλεκτών», 2010, σελ. 17
- ⁶⁴ Παντελάκης Ε., «Σχεδίαση συστήματος θερινού κλιματισμού με τη συμβολή παραβολικών ηλιακών συλλεκτών», 2010, σελ. 17
- ⁶⁵ Παντελάκης Ε., «Σχεδίαση συστήματος θερινού κλιματισμού με τη συμβολή παραβολικών ηλιακών συλλεκτών», 2010, σελ. 18
- ⁶⁶ U.S. Department of Energy, 1996
- ⁶⁷ Παντελάκης Ε., «Σχεδίαση συστήματος θερινού κλιματισμού με τη συμβολή παραβολικών ηλιακών συλλεκτών», 2010, σελ. 19
- ⁶⁸ Φυτίλης Α., «Θέρμανση - Ψύξη χώρων με αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας», 2011, σελ. 16
- ⁶⁹ Χριστάκη Σοφία, «Αξιολόγηση παθητικών ηλιακών συστημάτων εφαρμοσμένα σε προκατασκευασμένα δομικά κελύφη μέσω μετρήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους», 2012, σελ 27