



**Τ.Ε.Ι. Κρήτης**  
**Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος**



**Μηχανισμός solar tracking ενός  
άξονα σε Φ/Β πλαίσιο**

**ΗΛΙΑΣ ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ**  
**ΓΙΑΝΝΗΣ ΣΤΡΑΤΑΚΗΣ**

*Επιβλέπων Καθηγητής*  
**Βαγγέλης Σωτηρόπουλος**

**Χανιά**  
**Σεπτέμβριος 2008**

*ΣΕ ΟΛΟ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ*



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>1 ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> .....	<b>8</b>
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Ηλιακά συστήματα.....	9
1.3 Εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας.....	10
1.3.1 Θερμικά ηλιακά.....	11
1.3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	13
1.4 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία.....	17
1.4.1 Υπάρχουσα Φωτοβολταϊκή τεχνολογία.....	17
1.4.2 Ιστορία Φωτοβολταϊκών.....	18
1.4.3 Κατασκευή Φωτοβολταϊκών.....	19
1.4.4 Λειτουργία των φωτοβολταϊκών κελιών.....	20
1.4.5 Φωτοβολταϊκά πλαίσια, συστοιχίες και panels.....	21
1.5 Εξέλιξη των φωτοβολταϊκών.....	23
1.5.1 Θερμικά ηλιακά συστήματα.....	23
1.5.2 Ηλιακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	25
1.5.3 Ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα.....	27
<b>2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ</b> .....	<b>34</b>
2.1 Βασικές γωνίες.....	35
2.2 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας .....	39
2.3 Υπολογισμός της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο όταν γνωρίζουμε την ολική ακτινοβολία .....	40
Θεοδωρόπουλος Ηλίας – Στρατάκης Γιάννης	3

2.4 Εκτίμηση ωριαίας ακτινοβολίας από την ημερήσια .....	41
2.5 Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες με δεδομένη την ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο .....	43
2.5.1 Εκτίμηση άμεσης ακτινοβολίας.....	43
2.5.2 Εκτίμηση διάχυτης ακτινοβολίας .....	44
2.5.3 Εκτίμηση ανακλώμενης ακτινοβολίας.....	45
2.5.4 Μεθοδολογία υπολογισμού συνολικής ακτινοβολίας.....	45
<b>3 ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>47</b>
3.1 Γενικά.....	47
3.2 Διατάξεις ηλιοστατών (trackers).....	47
3.2.1 Πολικοί.....	48
3.2.2 Οριζόντιου άξονα.....	49
3.2.3 Κατακόρυφου άξονα.....	50
3.2.4 Εγκαταστάσεις αζιμουθίου- ύψους.....	51
3.3 Ηλιακοί χάρτες.....	52
3.4 Τύποι οδηγών.....	54
3.4.1 Ενεργοί trackers.....	54
3.4.2 Παθητικοί trackers.....	54
3.4.3 Χρονολογικοί trackers.....	56
3.5 Μελέτες και η κατασκευή τους.....	56
3.6 Εμπορικές εφαρμογές.....	57
3.7 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.....	62
<b>4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ Φ/Β ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕ ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΕΝΑΝ ΑΞΟΝΑ.....</b>	<b>63</b>
4.1 Εισαγωγή.....	63
4.2 Η βασική ιδέα της λειτουργίας.....	63
4.3 Αρχικές προσπάθειες .....	64
4.4 Τελική κατασκευή.....	67
4.4.1 Μηχανικά μέρη.....	68
4.4.2 Ηλεκτρονικά μέρη – λειτουργία.....	69

<b>5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>76</b>
5.1 Γενικά.....	76
5.2 Όργανα μετρήσεως και βοηθητικός εξοπλισμός.....	76
5.3 Μετρήσεις σταθερού φωτοβολταϊκού.....	77
5.4 Μετρήσεις περιστρεφόμενου φωτοβολταϊκού.....	82
5.5 Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας κινητού φ/β – σταθερού φ/β – οριζοντίου.....	82
5.6 Σύγκριση Σταθερού – Περιστρεφόμενου.....	86
5.7 Κατανάλωση κινητήρα .....	89
5.8 Παρατηρήσεις.....	95
<b>6 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ.....</b>	<b>96</b>
6.1 Σύγκριση του tracker με άλλες πειραματικές μεθόδους.....	96
6.2 Προβλήματα και προτάσεις βελτίωσης της κατασκευής .....	98
<b>ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>100</b>

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την μελέτη και την κατασκευή συστήματος παρακολούθησης του ήλιου με σκοπό την μέγιστη παραγωγή ενέργειας. Για την εκπόνηση αυτής της εργασίας ιδιαίτερη όσο και πολύτιμη ήταν η συμβολή του επιβλέποντα καθηγητή, κ. Βαγγέλη Σωτηρόπουλο χωρίς τη βοήθεια, την υπομονή και τις καίριες συμβουλές του οποίου η όλη διαδικασία θα ήταν πολύ πιο δύσκολη. Επίσης καθοριστική ήταν και η βοήθεια των: Δολιανίτη Σπύρο, Γαρεδάκη Ανδρέα, και Χατζάκη Ιωάννη. Χωρίς τις γνώσεις και την προσωπική δουλειά που αφιέρωσαν η εργασία αυτή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί. Η συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων και πληροφοριών για την πραγματοποίηση της εργασίας έγινε κυρίως μέσω του διαδικτύου αλλά και μέσω της κεντρικής βιβλιοθήκης του Πολυτεχνείου Κρήτης και της βιβλιοθήκης του Παραρτήματος Χανίων Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Κλείνοντας αυτό τον πρόλογο, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μας κ. Βαγγέλη Σωτηρόπουλο ο οποίος πίστεψε στις δυνατότητες μας και μας ανέθεσε αυτή την εργασία καθώς και στην οικογένεια μου αλλά και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της.

Θεοδωρόπουλος Ηλίας

Στρατάκης Γιάννης

Χανιά Αύγουστος 2008



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ενεργειακό σύστημα που έχει αναπτύξει η κοινωνία μας προκαλεί διάφορα προβλήματα. Είναι κατά βάση δομημένο στις συμβατικές μορφές ενέργειας οι οποίες για την μετατροπή τους παράγουν απόβλητα τα οποία παραμένουν ενεργά και ρυπογόνα για εκατομμύρια χρόνια. Τα τελευταία δέκα χρόνια μόνο παρατηρείται μια στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η οποίες είναι καθαρές μορφές που δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι ανεξάντλητες. Η σημαντικότερη των ΑΠΕ είναι η ηλιακή ενέργεια η οποία προσδίδει το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας στον πλανήτη μας. Σε λιγότερο από μια ώρα η ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στη γη θα μπορούσε να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις για ένα χρόνο αν μπορούσε να αξιοποιηθεί. Οι περισσότερες από τις άλλες μορφές Α.Π.Ε. εξαρτώνται από τον ήλιο. Η υδροηλεκτρική, η αιολική και ένα μέρος της ενέργειας των κυμάτων, οφείλονται στην ηλιακή ενέργεια.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια να διερευνηθεί η βελτίωση της παραγόμενης ενέργειας φωτοβολταϊκών. Τα συνήθη φωτοβολταϊκά είναι σταθερά τοποθετημένα. Εφαρμόζοντας μηχανισμούς κίνησης και κατάλληλα ηλεκτρονικά στοιχεία μπορούμε να δώσουμε περιστροφική κίνηση στο πλαίσιο έτσι ώστε να ακολουθεί την φορά του ήλιου από την ανατολή μέχρι την δύση. Η επιπλέον απόδοση μπορεί να φτάσει και το 50%. Η κατασκευή και η ενεργειακή αποτίμηση ενός τέτοιου συστήματος παρακολούθησης του ήλιου, είναι το θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

## ABSTRACT

The energy system that our society has developed causes numerous problems. It is primarily structured in the conventional forms of energy that for their transformation produce waste which remains active and pollutant for millions of years. Only the last ten years is observed a turn in renewable energy which are clean forms that do not pollute the environment and are inexhaustible. One the most important is solar energy which lends the bigger rate of energy in our planet. In less than an hour the energy from the sun reaches the earth could meet world energy requirements for a year if it could be exploited. Most other forms of renewable energies depend on the sun. The hydropower, wind and a portion of the energy of waves, caused by solar energy.

In this graduation project we will make an effort to explore the improvement of the electricity produced by photovoltaics. Normally photovoltaics are steadily mounted. Applying drives and electronic components can give rotational movement in order to follow the sun from east to west. The extra yield could rise to 50%. The construction and energy valuation of such a monitoring system of the sun, is the subject of this thesis.

# 1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 1.1 Εισαγωγή

Το ανθρώπινο είδος και κατά συνέπεια ο ανθρώπινος πολιτισμός έχει βασιστεί σε μια κοινή παραδοχή, ότι η εξέλιξη μας και η ανάπτυξη του πολιτισμού είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την ενέργεια και την ικανότητα του ανθρώπου να την εκμεταλλευτεί.

Σε όλο σχεδόν τον αρχαίο κόσμο κάθε λαός λάτρευε τον ήλιο σαν θεό καθώς είχαν συνειδητοποιήσει την αναγκαιότητα του για την ισορροπία και την διαίωνιση της ζωής στον πλανήτη. Στον σύγχρονο κόσμο δυστυχώς κάποιοι όροι όπως η αειφορεία και η ισορροπία της φύσης τέθηκαν σε δεύτερη μοίρα μετά την βιομηχανική επανάσταση και την επικράτηση του πετρελαίου ως κύρια πηγή ενέργειας. Όμως αυτό που δεν σκέφτηκαν οι άνθρωποι την δεκαετία του 1950 όντας θαμπωμένοι από τις δυνατότητες της καινούργιας πηγής ενέργειας είναι κάποια βασικά μειονεκτήματα τα οποία αρκούν για την παράκαμψη του πετρελαίου ως κύρια πηγή καύσης. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι :

1. Το πετρέλαιο δεν είναι ανεξάντλητο.
2. Προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον.
3. Δεν το διαθέτουν όλες οι χώρες

Αυτοί και μόνο οι λόγοι αρκούν για να μας δείξουν την ανεπάρκεια του πετρελαίου δεδομένου του ότι ζούμε σε μια κοινωνία που χαρακτηρίζεται καπιταλιστική και αυτό σημαίνει εξάρτηση ενεργειακή και τεχνολογική από κράτη όπως η Η.Π.Α. Οι εξάρτηση αυτή έχει σημαντικές πολιτικές επιπτώσεις σε κράτη κυρίως της Μέσης Ανατολής (Πόλεμος του κόλπου 1 και 2, Αφγανιστάν, Συρία, Ιράκ και Λίβανος είναι μερικά από τα παραδείγματα).



Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 λοιπόν έγινε μια προσπάθεια εύρεσης μιας νέας μορφής ενέργειας η οποία θα έλυne τα ενεργειακά προβλήματα του ανθρώπου. Η μορφή ενέργειας αυτή είναι η πυρηνική, η οποία όχι μόνο δεν απέδωσε καρπούς στα προβλήματα αλλά τα μεγιστοποίησε. Από τα εργοστάσια παραγωγής πυρηνικής ενέργειας παράγονται μεγάλες ποσότητες ενεργών απόβλητων διπλά καταστροφικών για το περιβάλλον και επιπλέον υπάρχει και ο φόβος ατυχήματος με καταστροφικές συνέπειες τόσο για το περιβάλλον αλλά και για την ανθρώπινη ζωή (Τσερνομπίλ 1985). Δυστυχώς αυτό δεν στέκεται εμπόδιο για ορισμένα κράτη τα οποία χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια για πολεμικούς σκοπούς.

Από την δεκαετία του 1970 λοιπόν έγινε κατανοητό από το μεγαλύτερο μέρος της επιστημονικής κοινότητας η ανάγκη για στροφή σε φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας όπως είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.). Μέρος των Α.Π.Ε. είναι και η ηλιακή την οποία θα αναλύσουμε σε αυτήν την πτυχιακή εργασία.

## **1.2 Ηλιακά Συστήματα**

*«Στρέψου στον ήλιο και θα αφήσεις τις σκιές πίσω σου» (Γερμανική παροιμία)*

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο παγκόσμιο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να αξιοποιηθεί κανείς την ηλιακή ενέργεια.

- Ενεργητικά συστήματα: Παράγοντας ηλιακό ηλεκτρισμό μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

- Παθητικά Συστήματα: Αξιοποιώντας τη θαλπωρή του ήλιου για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό με τα ηλιοθερμικά συστήματα.

Εδώ και μια εικοσαετία οι Έλληνες καταναλωτές έχουν εξοικειωθεί με τους ηλιακούς θερμοσίφωνες για την παραγωγή ζεστού νερού. Εκείνο όμως που αγνοεί η πλειοψηφία των καταναλωτών είναι, όχι μόνο οι τεχνολογικές βελτιώσεις των ηλιοθερμικών συστημάτων για ζέσταμα του νερού, αλλά κυρίως οι λοιπές χρήσεις των ηλιοθερμικών τεχνολογιών όπως η θέρμανση χώρων, η τηλεθέρμανση οικισμών, ο ηλιακός κλιματισμός και η ηλιοθερμική παραγωγή ηλεκτρισμού.

### ***1.3 Εκμετάλλευση της Ηλιακής Ενέργειας***

Το κέρδος με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είναι ότι καλύπτονται δύο τουλάχιστον ανάγκες. Η ανάγκη σε ενέργεια και η ανάγκη να προστατευτεί το περιβάλλον. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου” που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον.

Την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε με δυο διαφορετικές τεχνολογίες: τα θερμικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

### 1.3.1 Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

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 ενός θερμαινόμενου ρευστού (π.χ. νερό, αέρας) πραγματοποιείται είτε με φυσική ροή είτε με κυκλοφορητή [1].

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής νερού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα ελέγχου. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον συλλέκτη η συλλεγόμενη θερμότητα αντλείται με φυσικό ή τεχνητό τρόπο στην δεξαμενή.

Τα θερμικά ηλιακά συστήματα ποικίλουν από τα απλά συστήματα χαμηλού κόστους χωρίς παρεκόμενο μηχανολογικό εξοπλισμό έως τα πιο περίπλοκα, δαπανηρά αλλά και αποτελεσματικά κεντρικά ηλιακά συστήματα όπου χρησιμοποιούνται αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας, αισθητήρες και συστήματα ελέγχου.

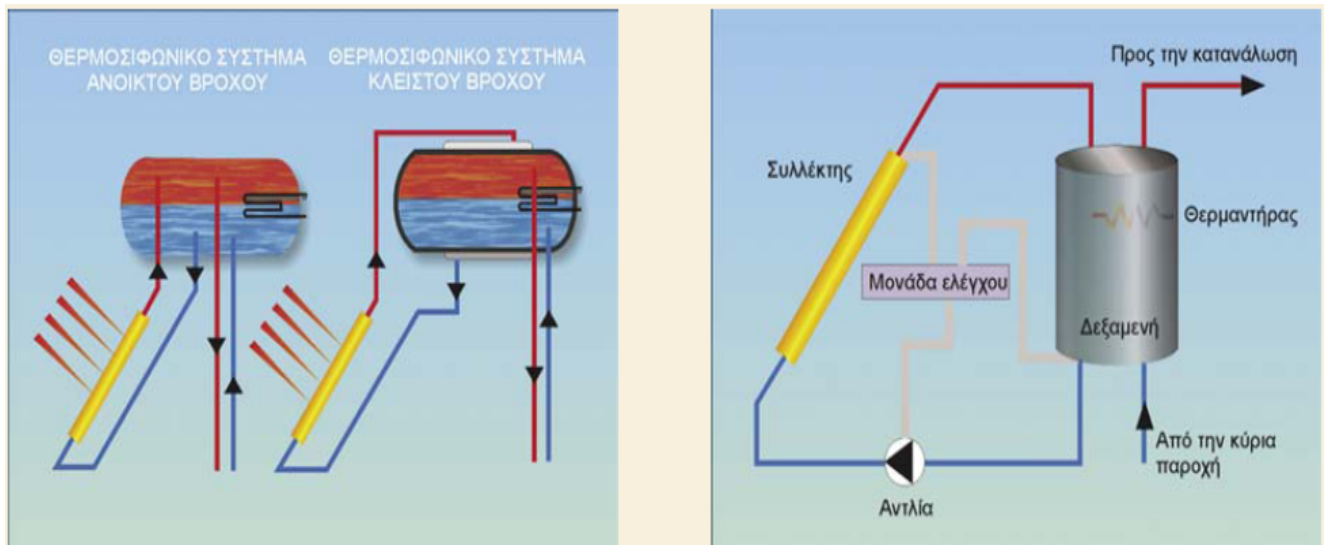
Ανάλογα λοιπόν με της εκάστοτε απαιτήσεις της εφαρμογής, την τεχνολογία που χρησιμοποιείτε, το μέγεθος τους, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής κ.λ.π. χρησιμοποιούνται διαφορετικού τύπου θερμικά ηλιακά συστήματα. Η ποικιλία που παρουσιάζουν οι διατάξεις των συστημάτων αυτών οφείλεται κυρίως στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους τα συστήματα αυτά προστατεύονται από τον παγετό και στον τρόπο που επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του ζεστού νερού. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε δυο διαφορετικές κατηγορίες ενεργητικών ηλιακών συστημάτων [1]. Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας και τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

## 1 Συστήματα φυσικής κυκλοφορίας.

Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας χωρίζονται σε δυο κατηγορίες .

α) Τα ολοκληρωμένα συστήματα συλλέκτη-αποθήκευσης που αποτελούνται από μια ή περισσότερες δεξαμενές αποθήκευσης και τοποθετούνται σε ένα μονωμένο περίβλημα με την διαφανή πλευρά προς τον ήλιο.

β) Τα θερμοσιφωνικά συστήματα τα οποία στηρίζονται στην φυσική κυκλοφορία του νερού στους συλλέκτες και στην δεξαμενή η οποία βρίσκεται πάνω από τον συλλέκτη (Εικόνα 1.1). Καθώς το νερό θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη μεταφέρεται προς τα πάνω με φυσικό τρόπο όπου και βρίσκεται η δεξαμενή αποθήκευσης ενώ το ψυχρότερο νερό του συστήματος μεταφέρεται στο κάτω μέρος του ηλιακού συλλέκτη δημιουργώντας κυκλοφορία σε ολόκληρο το σύστημα.



Εικόνα 1.1 α) Φυσικής Κυκλοφορίας β) Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας (Θερμικά Ηλιακά συστήματα ΚΑΠΕ 2005)

## 2 Συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες και συστήματα έλεγχου για να κυκλοφορήσουν το νερό ή τα άλλα ρευστά μεταφοράς της θερμότητας μέσα στους συλλέκτες. Υπάρχουν δυο είδη τέτοιων συστημάτων.

α) Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου που χρησιμοποιούν αντλίες (κυκλοφορητές) για να κυκλοφορήσουν νερό χρήσης στους συλλέκτες.

β) Τα συστήματα κλειστού βρόχου που αντλούν το ρευστό μεταφοράς θερμότητας, το οποίο συνήθως είναι ένα μίγμα γλυκόλης και νερού, μέσα στους συλλέκτες. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω εναλλακτών θερμότητας από το ρευστό στο νερό που αποθηκεύεται στις δεξαμενές.

Οι ηλιακοί θερμαντήρες ανάλογα με τον τύπο τους και τις ανάγκες του κάθε νοικοκυριού ή της κάθε επιχείρησης μπορούν να καλύψουν ένα σημαντικό μέρος των αναγκών μας με σημαντικό οικονομικό όφελος για εμάς καθώς και περιβαλλοντικό καθώς έχουμε:

- Εξοικονόμηση καυσίμων που ισοδυναμεί με 50-70 Kg πετρελαίου /τμ ηλιακού συλλέκτη ανά έτος.
- Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> άνω των 750 Kg/τμ ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (Όταν υποκαθιστούμε ηλεκτρικό ρεύμα).
- Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> άνω των 250 Kg/τμ ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (Όταν υποκαθιστούμε πετρέλαιο).

### 1.3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (με τη σημερινή τεχνολογία, η οποία συνεχώς βελτιώνεται). Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από

την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, και τα άμορφα. Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση είναι όμως φθηνότερα. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν σε οικόπεδα, στέγες (επίπεδες και κεκλιμένες) ή και σε προσόψεις κτιρίων.

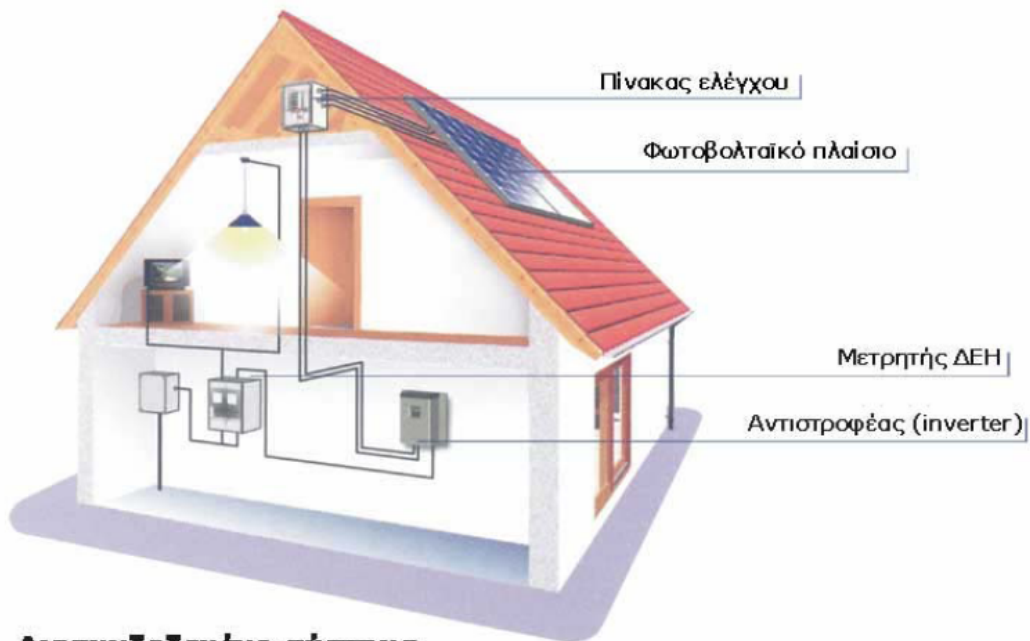
Υπάρχουν δύο τρόποι χρήσης τους. Ανεξάρτητα από το δίκτυο της ΔΕΗ ή σε συνεργασία μ' αυτό.

Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση [2] μπορεί να αποτελεί λοιπόν ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.

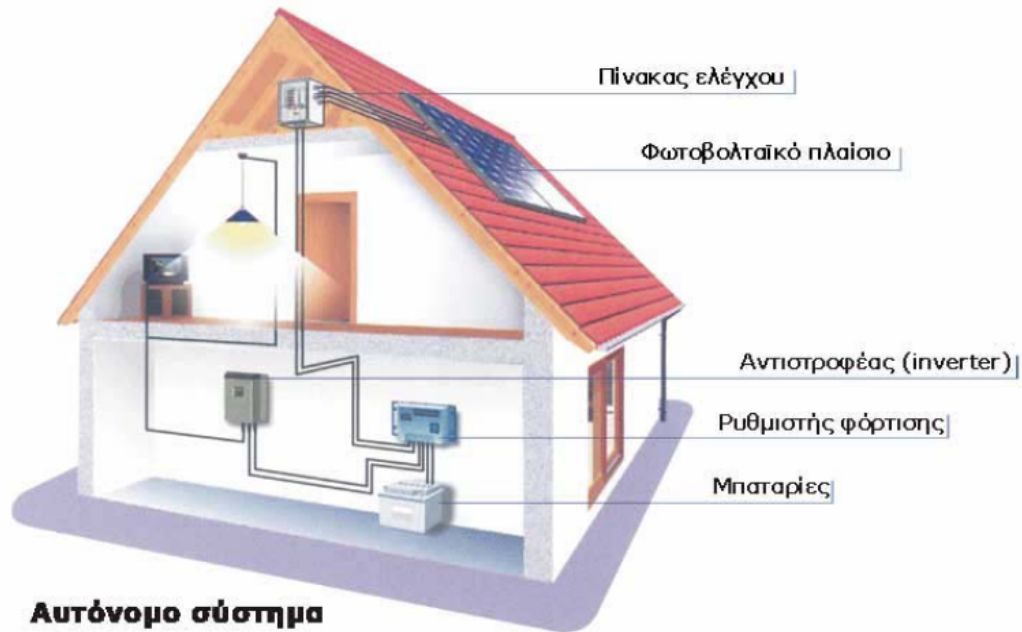
Εναλλακτικά, ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Στην περίπτωση αυτή, καταναλώνει κανείς ρεύμα από το δίκτυο όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν επαρκεί (π.χ. όταν έχει συννεφιά ή κατά τη διάρκεια της νύχτας) και δίνει ενέργεια στο δίκτυο όταν η παραγωγή υπερκαλύπτει τις ανάγκες του, π.χ. τις ηλιόλουστες ημέρες ή σε μέρες με μειωμένη κατανάλωση.

Και τα δυο συστήματα αποτελούνται από επιμέρους μονάδες οι οποίες συνήθως είναι οι εξής :

- Διασυνδεδεμένα συστήματα.
  - Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.
  - Πίνακας ελέγχου.
  - Αντιστροφέας τάσης.
  - Μετρητής Δ.Ε.Η.
  
- Αυτόνομα συστήματα.
  - Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.
  - Πίνακας ελέγχου.
  - Ρυθμιστής φόρτισης.
  - Συσσωρευτής.
  - Αντιστροφέας τάσης.



**Διασυνδεδεμένο σύστημα**  
(ανταλλάσσει ενέργεια με το δίκτυο της ΔΕΗ)



Εικόνα 1.2 Διασυνδεδεμένο και αυτόνομο σύστημα (ΕΝΑΣ ΠΡΑΚΤΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ, Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών)

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής – UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό ισχύος 1 κιλοβάτ (kW) παράγει κατά μέσο όρο 1.200-1.500 κιλοβατώρες το χρόνο (ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής) και αποτρέπει κατά μέσο όρο κάθε χρόνο την έκλυση 1.450 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους.

Τα φωτοβολταϊκά εγγυώνται:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)



- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά, υποκαθιστώντας άλλα παραδοσιακά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις). Κατ' αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται χρήματα και φυσικοί πόροι. Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων σε προσόψεις εμπορικών κτιρίων, διατίθενται σήμερα διαφανή φωτοβολταϊκά με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεμπιμότητας (low-e), τα οποία επιτυγχάνουν (πέραν της ηλεκτροπαραγωγής) και εξοικονόμηση ενέργειας 15-30% σε σχέση με ένα κτίριο με συμβατικά υαλοστάσια.

## **1.4 Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία**

### **1.4.1 Υπάρχουσα Φ/Β Τεχνολογία**

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) ή solar cells όπως συχνά ονομάζονται είναι συσκευές ημιαγωγών η οποίες μετατρέπουν την απευθείας ακτινοβολία του ήλιου σε συνεχές ρεύμα (DC). Με την σύνδεση πολλών Φ/Β σε παράταξη μπορούμε να φορτίσουμε μπαταρίες, να λειτουργήσουν μηχανές και να δώσουμε ρεύμα σε πολλά ηλεκτρικά φορτία. Με τον κατάλληλο ηλεκτρικό -ηλεκτρονικό εξοπλισμό, είναι δυνατό να παραχθεί από τα Φ/Β και εναλλασσόμενο ρεύμα συμβατό με κάθε συσκευή. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ραγδαία αύξηση της παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.3



Εικόνα 1.3 Παγκόσμια Παραγωγή Φ/Β στοιχείων

#### 1.4.2 Ιστορία των Φ/Β

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος ανακάλυψε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Οι Αμερικάνοι Adams και Day το 1876 χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο σεληνίου είχαν κάνει επίδειξη αυτού του φαινομένου. Η απόδοση σε αυτή την περίπτωση ήταν μόνο 1%. Το 1905 ο Albert Einstein διατύπωσε την εξήγηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου (υπόθεση του φωτονίου). Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ διευκρινίζοντας τη φυσική των «p» και «n» ενώσεων των ημιαγωγίμων υλικών. Το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο με απόδοση κοντά στο 6% κατασκευάστηκε το 1956, ενώ αργότερα κατασκευάστηκε το φωτοβολταϊκό κύτταρο από πυρίτιο, το οποίο λειτουργούσε με απόδοση 10%.

Τα πρώτα συμβατικά Φ/Β πλαίσια κατασκευάστηκαν στο τέλος της δεκαετίας του 1950 και συγκεκριμένα το 1958, 108 ηλιακά κύτταρα είχαν σταλεί στο διάστημα για δοκιμή. Μέσα στην δεκαετία του 1960 χρησιμοποιούντουσαν κυρίως για να παρέχουν ρεύμα σε δορυφόρους που ήταν σε τροχιά γύρω από την γη. Στην δεκαετία του 1970 οι βελτιώσεις στην κατασκευή, στην απόδοση καθώς και στην ποιότητα των Φ/Β πλαισίων βοήθησαν στην μείωση του κόστους, και άνοιξε πολλές δυνατότητες για ηλεκτροδότηση

απομονωμένων εγκαταστάσεων κυρίως τηλεπικοινωνιακών σταθμών αλλά και άλλων εφαρμογών.

Στην δεκαετία του 1980 τα Φ/Β έγιναν πολύ διάσημη πηγή ενέργειας για μικρές συσκευές όπως υπολογιστές τσέπης, ρολόγια, ραδιόφωνα και άλλες συσκευές με μικρή κατανάλωση ενέργειας. Παίρνοντας δυναμική από την πετρελαϊκή κρίση του 1973-74 και δίνοντας ερεθίσματα για την εκπόνηση πληθώρας ερευνητικών μελετών έγιναν προσπάθειες ανάπτυξης Φ/Β συστημάτων για οικιακή και εμπορική χρήση είτε αυτόνομων είτε διασυνδεδεμένων με το υπάρχον δίκτυο. Κατά την ίδια περίοδο εφαρμογές για ηλεκτροδότηση με Φ/Β πλαίσια απομονωμένων κέντρων υγείας, για ψύξη, άντληση νερού και για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς αυξήθηκε σημαντικά και παραμένει μέχρι σήμερα ένα σημαντικό ποσοστό στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β πλαισίων. Σήμερα η βιομηχανία κατασκευής Φ/Β πλαισίων αυξάνεται κατά 25% ετησίως και μεγάλα προγράμματα πραγματοποιούνται στις ΗΠΑ στην Ιαπωνία και στην Ευρώπη βοηθώντας στην διείσδυση των Φ/Β στην καθημερινότητα μας.

### 1.4.3 Πως κατασκευάζονται τα Φ/Β

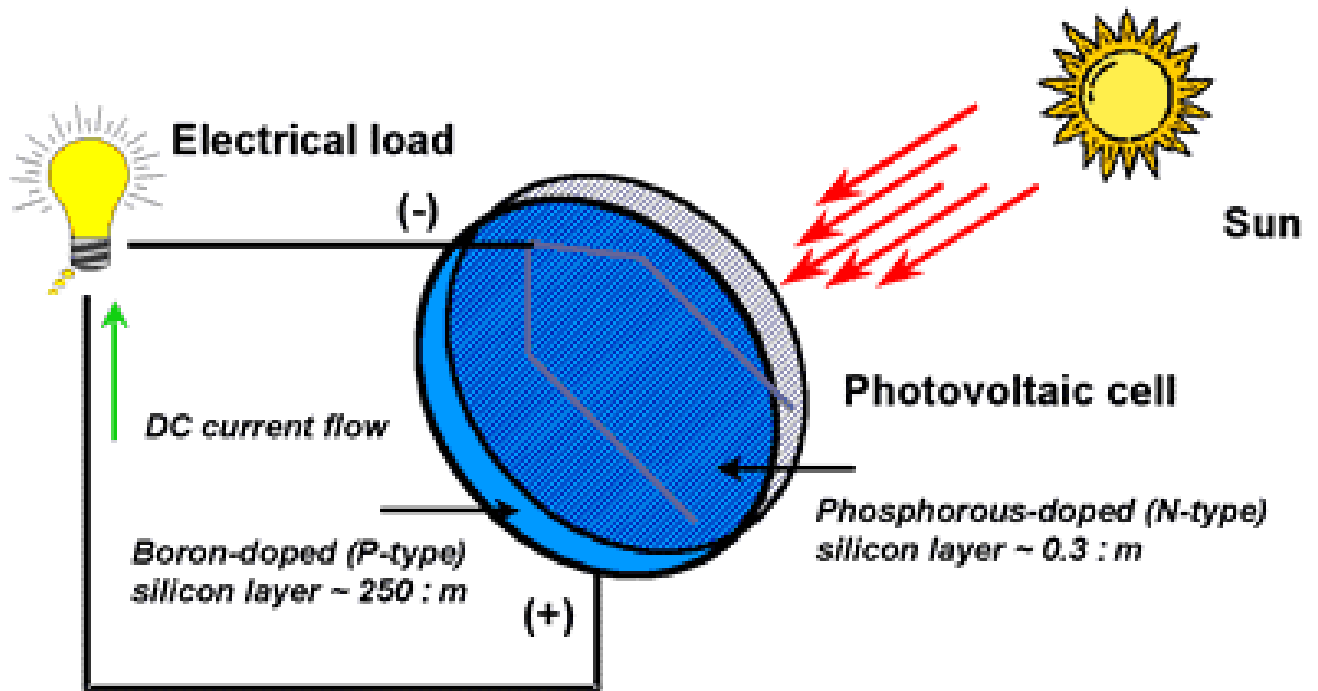
Η διαδικασία κατασκευής συμβατικών μόνο- και πολυκρυσταλλικών Φ/Β σιλικόνης βασίζεται σε έναν απλό ημιαγωγό ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως από την ηλεκτρονική βιομηχανία, την βελτιωμένη πολυσιλικόνη (grade polysilicon). Η πολυσιλικόνη θερμαίνεται ώσπου να λιώσει. Όταν συμβεί αυτό μικρές ποσότητες βόριου προστίθενται έτσι ώστε να παραχθεί ένα ημιαγωγίμο υλικό τύπου P. Μετά κατασκευάζεται ένα πλινθώμα ή ένα καλούπι σιλικόνης και χρησιμοποιείτε μια από τις δυο παρακάτω μεθόδους :

- 1) Αναπτύσσονται πλινθώματα καθαρής κρυσταλλικής σιλικόνης χρησιμοποιώντας έναν κρύσταλλο από την λιωμένη πολυσιλικόνη ως πηγή.
- 2) Χυτεύοντας την πολυσιλικόνη στο καλούπι φτιάχνοντας έτσι ένα πολυκρυσταλλικό υλικό σιλικόνης.

Στην συνέχεια ανεξάρτητα δισκία κόβονται από τα πλινθώματα χρησιμοποιώντας πριονιά καλωδίων και υποβάλλονται στην διαδικασία χάραξης. Τα δισκία αυτά έπειτα καθαρίζονται και τοποθετούνται σε ένα κλίβανο διασποράς φωσφόρου, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα λεπτό (N-type) ημιαγωγίμο στρώμα γύρω από όλη την εξωτερική επιφάνεια του κελιού. Μετά ένα αντι-ανακλαστικό κάλυμμα εφαρμόζεται στην πάνω επιφάνεια του κελιού και οι ηλεκτρικές επαφές αποτυπώνονται από πάνω (αρνητικό). Ένα αγώγιμο αλουμινένιο υλικό εναποτίθεται στην πίσω μεριά του κελιού (θετικό), ανανεώνοντας έτσι τις (P-type) ιδιότητες της πίσω επιφάνειας του κελιού που έχει δεχθεί τον διάχυτο φωσφόρο. Κάθε κελί μετά δοκιμάζεται ηλεκτρικά διαχωρίζεται ανάλογα με το ρεύμα εξόδου και συνδέεται ηλεκτρικά με άλλα κελιά ίδιων αποδόσεων έτσι ώστε να σχηματιστεί στο τέλος ένα Φ/Β πλαίσιο.

#### **1.4.4. Πως λειτουργούν τα Φ/Β κελιά**

Ένα απλό Φ/Β κελί από σιλικόνη κατασκευάζεται από ένα λεπτό δίσκο πυριτίου που αποτελείται από ένα πολύ μικρό στρώμα σιλικόνη εμπλουτισμένη με φωσφόρο (N-Type) πάνω από ένα πιο λεπτό στρώμα από σιλικόνη εμπλουτισμένη με βόριο (P-type) . Ένα ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται στο σημείο που τα δυο αυτά στρώματα έρχονται σε επαφή το οποίο ονομάζεται P-N σημείο συνένωσης (P-N junction). Όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια του κελιού το πεδίο που δημιουργείτε δίνει ορμή και κατεύθυνση στα ηλεκτρόνια. Όταν το κελί είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρικό φορτίο η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων έχει ως αποτέλεσμα την ροή ρεύματος (Εικόνα 1.4).



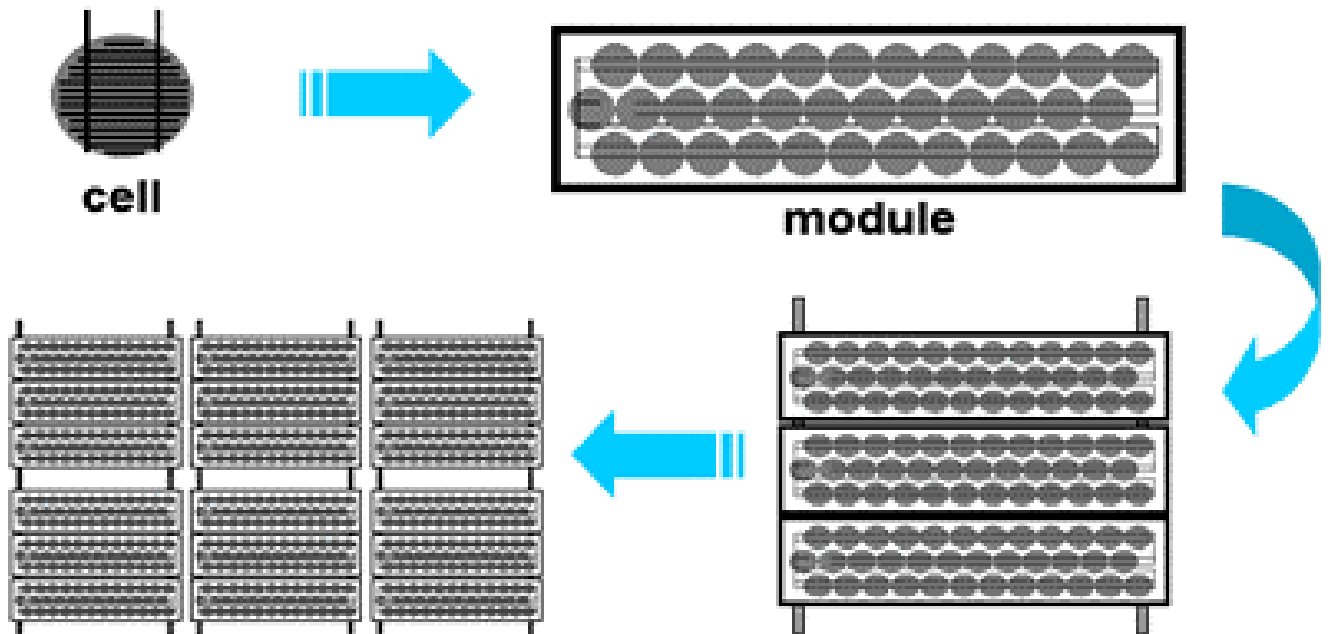
Εικόνα 1.4 :Διάγραμμα λειτουργίας Φ/Β κελιού

Υπό συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος και χωρίς φορτίο συνδεδεμένο ένα Φ/Β κελί, ανεξάρτητα από το μέγεθος του, παράγει 0,5 - 0,6 Volt DC. Το Ρεύμα (και η ισχύς) εξόδου ενός Φ/Β κελιού εξαρτάται από την αποδοτικότητα του και το μέγεθος του (επιφάνεια) και είναι ανάλογη με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια του κελιού. Για παράδειγμα υπό συνθήκες μέγιστης ηλιοφάνειας ένα απλό Φ/Β κελί με επιφάνεια 160 cm<sup>2</sup> θα παράγει περίπου 2 Watt μέγιστη ισχύ. Αν η ηλιακή ένταση ήταν στο 40% της μέγιστης, το ίδιο κελί θα παρήγαγε περίπου 0.8 Watt.

#### 1.4.5. Φ/Β πλαίσια συστοιχίες και panels

Τα Φ/Β κελιά μπορούν να συνδεθούν ηλεκτρικά μεταξύ τους, σε σειρά ή παράλληλα έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερη απόδοση σε volts ρεύμα και ισχύ. Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από κυκλώματα Φ/Β Κελιών σφραγισμένα μέσα σε ένα λεπτό στρώμα προστατευόμενο από το εξωτερικό περιβάλλον και αποτελούν την βασική δομή των

Φ/Β συστημάτων. Μια συστοιχία Φ/Β (Σχήμα 1.5) είναι μια πλήρης μονάδα παραγωγής ενέργειας η οποία αποτελείτε από οσαδήποτε Φ/Β πλαίσια ή panels



Σχήμα 1.5. : Φωτοβολταϊκά κελιά, πλαίσια και συστοιχίες.

Η απόδοση των Φ/Β πλαισίων ή συστοιχιών ταξινομείται σύμφωνα με την μέγιστη DC έξοδο ισχύος (watt) υπό Standard Test Conditions (STC). Οι Standard Test Conditions ορίζονται σε θερμοκρασία 25ο C, και προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία της τάξης των 1000 W/m<sup>2</sup> και κάτω από φασματική διανομή της αέριας μάζας τις τάξεως του 1.5. Μιας και αυτές οι συνθήκες δεν πάντα εφικτές στις εξωτερικές μετρήσεις, η πραγματική απόδοση είναι συνήθως στο 85 με 90 % τις STC κλίμακας

## 1.5 Εξέλιξη των Φ/Β

### 1.5.1 Ηλιακά θερμικά συστήματα

Η εφαρμογή των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών για ζεστό νερό χρήσης είναι αρκετά διαδεδομένη, αν και η αγορά τους δεν έχει διεισδύσει με τους ίδιους ρυθμούς σε όλες τις χώρες της Ευρώπης. Ο ρυθμός πωλήσεων των ηλιακών συλλεκτών αυξήθηκε κατά 18% κατά την περίοδο 1994 μέχρι το 1999. Εντούτοις, για να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Κοινότητα με τη Λευκή Βίβλο για 100 εκατ. τ.μ. εγκαταστημένων ηλιακών συλλεκτών μέχρι το 2010, ο ετήσιος ρυθμός πωλήσεων θα πρέπει να διπλασιαστεί, φθάνοντας το 35 %.

Για τις Μεσογειακές χώρες, η κατασκευή των ηλιακών συλλεκτών είναι πιο απλή συγκρινόμενη με εφαρμογές στις Β. Ευρωπαϊκές χώρες, όπου χρησιμοποιούνται επιλεκτικές επιφάνειες για την απορροφητική τους επιφάνεια, μεγαλύτερη συλλεκτική και αποθηκευτική επιφάνεια, τεχνικές αντιψύξης.

Τα συνδυασμένα συστήματα θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού αποκτούν περισσότερες εφαρμογές, ιδίως σε μεγάλα κτίρια. Αν και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους είναι γνωστές, η επιτυχής εφαρμογή τους χρειάζεται συνεχή βελτίωση της συνδυασμένης λειτουργίας των συστημάτων και ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου για μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

Ο αριθμός των κλιματιζόμενων κτιρίων αυξάνει, με κυρίαρχα τα μεγάλα κτίρια του τριτογενή τομέα στις Β. Ευρωπαϊκές χώρες, ενώ στη Ν. Ευρώπη σημαντικό μερίδιο καταλαμβάνουν και τα κτίρια του οικιστικού τομέα. Σαν αποτέλεσμα, ο ηλιακός κλιματισμός αποκτά μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς οι ώρες αιχμής του ψυκτικού φορτίου και της μέγιστης θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα συμπίπτουν. Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για ψύξη είτε νερού (κλειστό κύκλωμα) ή απευθείας του αέρα (ανοικτό κύκλωμα). Συστήματα απορρόφησης, (νερό /λιθιούχο βρώμιο ή αμμωνία) είναι εμπορικά διαθέσιμα (μεγαλύτερα των 100 kW) και τα συστήματα

αυτά έχουν υψηλή απόδοση σε ψηλές θερμοκρασίες (> 160°C), η οποία μειώνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, τυπικές των θερμοκρασιών των επίπεδων συλλεκτών (80°C). Συστήματα προσρόφησης με στερεό απορροφητή είναι εμπορικά διαθέσιμα με συνδυασμό νερού και σιλικόνης. Αν και τα συστήματα αυτά μπορούν να δουλέψουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, (70°C) είναι σχετικά ογκώδη συστήματα, βαριά και ακριβά. Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού χρειάζονται περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας τους, ώστε να βελτιωθεί η απόδοση τους και να καταστούν οικονομικά πιο προσιτά.

Ένας άλλος τομέας εφαρμογών που αποκτά αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον, είναι τα συνδυασμένα συστήματα φωτοβολταϊκών και ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη των αναγκών των κτιρίων.

Επίσης ένας άλλος τομέας εφαρμογών των επίπεδων κεντρικών ηλιακών συστημάτων είναι η παραγωγή ζεστού νερού για βιομηχανική χρήση, όπου απαιτούνται σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες νερού (40-80°C). Οι κυριότεροι βιομηχανικοί κλάδοι στους οποίους παρουσιάζονται σημαντικές δυνατότητες θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι η βιομηχανία τροφίμων, βιομηχανίες ένδυσης, χημικές βιομηχανίες, ποτοποιία, αγροτικά προϊόντα.

Καθώς οι διαφορετικές χρήσεις ηλιακών συλλεκτών απαιτούν και διαφορετικές απαιτήσεις θερμοκρασίας του ρευστού, περαιτέρω έρευνα χρειάζεται για υλικά τόσο της απορροφητικής όσο και της διαφανής επιφάνειάς τους για βελτίωση της απόδοσης και αισθητικής εμφάνισής τους. Έρευνα για νέα υλικά, μεγάλης θερμικής αποθήκευσης, θα διευρύνει τις εφαρμογές τους και θα επιμηκύνει το χρόνο λειτουργίας αυτών των συστημάτων. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κυκλοφορητών (circulation pumps) είναι ένα αντικείμενο περαιτέρω έρευνας. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η έρευνα για ανάπτυξη και τεκμηρίωση μεθόδων ελέγχου της αξιοπιστίας και συμπεριφοράς των υλικών και των ολοκληρωμένων συστημάτων τόσο στο χρόνο καθώς επίσης και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των υλικών. Ανακεφαλαιώνοντας τις διαφορετικές τεχνολογίες, θα πρέπει να



επισημανθεί ότι είναι απαραίτητες νέες μεθοδολογίες ελέγχου της απόδοσης, τόσο της στιγμιαίας όσο και στη διάρκεια του χρόνου, ώστε τα διαφορετικά προϊόντα και συστήματα να γίνουν αξιόπιστα και να διεισδύσουν περισσότερο στην αγορά. Επιπλέον περισσότερες πιλοτικές και επιδεικτικές εφαρμογές θα βοηθήσουν στην ταχύτερη διάδοση των συστημάτων και μείωση του κόστους τους.

Η χρήση συλλεκτών παραβολικής σκάφης για θερμικές εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες νερού (80-200°C), αποτελεί ένα αντικείμενο περαιτέρω έρευνας. Ερευνητική δουλειά γίνεται και για την ανάπτυξη μικρών/μεσαίων συστημάτων συλλεκτών παραβολικής σκάφης που να είναι οικονομικά ανταγωνιστικά των αντίστοιχων εφαρμογών επίπεδων συλλεκτών και συλλεκτών κενού. Για το σκοπό αυτό διερευνώνται λύσεις για ελαφρές κατασκευές που να μπορούν να προσαρμοστούν στην οροφή των κτιρίων, με αντοχή στα φορτία του ανέμου, συστήματα που να προσαρμόζονται εύκολα στις διαφορετικές ανάγκες θερμικών φορτίων των αντίστοιχων εφαρμογών, και βεβαίως τη συνδυασμένη χρήση αυτών των συστημάτων με βοηθητικά θερμικά συστήματα.

Μία άλλη εφαρμογή των ηλιακών συλλεκτών είναι οι συλλέκτες αέρα, για τη προθέρμανση του αέρα και απευθείας χρήση στο χώρο ή σε συνδυασμό με το σύστημα θέρμανσης.

### **1.5.2 Ηλιακά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Η πιο ώριμη τεχνολογία ηλιακών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι συλλέκτες παραβολικής σκάφης, οι οποίοι έχουν δοκιμαστεί σε διαφορετικά μεγέθη πεδίων από τις αρχές της δεκαετίας του '80, με μεγαλύτερη εμπορική εφαρμογή στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ (354 MW<sub>p</sub>).

Το σχέδιο δράσης της Λευκής Βίβλου της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, θέτει σα στόχο ότι τουλάχιστον 1 GWe ηλιακών συστημάτων θα πρέπει να εγκατασταθούν στην Ευρώπη μέχρι το 2010. Για να επιτευχθεί αυτό το σενάριο, 25 έως 30 εμπορικές εφαρμογές θερμικών ηλιακών συστημάτων, μεγέθους 30 - 50 MW<sub>e</sub> το κάθε ένα, θα πρέπει να κατασκευαστούν στη Ν. Ευρώπη. Στην Ισπανία, έχει εγκριθεί ένα σχέδιο

προώθησης των ηλιακών θερμικών συστημάτων, το οποίο προβλέπει την εγκατάσταση τουλάχιστον 200 MW<sub>p</sub> μέχρι το 2010, με ετήσια παραγωγή 413 GW<sub>p</sub>.

Η ποιότητα και απόδοση αυτών των συστημάτων συνεχώς βελτιώνεται, επιτυγχάνοντας μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησής τους. Τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε η παραγωγή τέτοιων συλλεκτών και στην Ευρώπη. Σήμερα, τα συστήματα αυτά κυρίως λειτουργούν για κάλυψη των φορτίων αιχμής αλλά η έρευνα συνεχίζεται για μελλοντικά ηλιακά, αυτόνομα συστήματα με συνδυασμό αποθήκης θερμότητας. Συστήματα που προορίζονται για μελλοντικές εφαρμογές είναι τα υβριδικά συστήματα με ηλιακή συμμετοχή περίπου 10-50%.

Επιπλέον, η έρευνα επικεντρώνεται :

- Στη χρήση ρευστών που θα πετυχαίνουν υψηλότερες θερμοκρασίες. Επιπλέον έρευνα γίνεται για την απευθείας παραγωγή ατμού στο εστιακό σωλήνα του συλλέκτη.
- Στην ανάπτυξη και δοκιμή μεγαλύτερης ανθεκτικότητας υλικών κατασκευής του εστιακού σωλήνα του ρευστού.
- Βελτιωμένο σχεδιασμό για μεγαλύτερη αντοχή σε ισχυρούς ανέμους.
- Υλικά θερμικής αποθήκευσης υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλού κόστους, καθώς και
- Βελτιστοποίηση των μηχανισμών παρακολούθησης του ήλιου.

Αναμένεται ότι το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τα θερμικά ηλιακά συστήματα θα μειωθεί από τη σημερινή τιμή των 14-20 Euro/kWh, σε 5-6 Euro/kWh.

Συστήματα με κεντρική συλλεκτική μονάδα, ο ηλιακός πύργος, είναι ακόμη σε πειραματικό και πιλοτικό επίπεδο εφαρμογής. Το ίδιο ισχύει και για τα συστήματα ηλιακού δίσκου.

### 1.5.3. Ηλιακά Φ/Β Συστήματα

Τα αποτελέσματα της 25-ετούς συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης στη Φ/Β τεχνολογία οδήγησαν στη μεγάλη ανάπτυξη της αγοράς Φ/Β συστημάτων που παρατηρείται τα τελευταία 10 χρόνια. Το γεγονός ότι το κόστος των πρώτων υλών για χρήση σε γεννήτριες μειώθηκε κατά 1000 φορές τα τελευταία 30 χρόνια δείχνει ότι υπάρχει η δυνατότητα για επιπλέον μείωση του κόστους παραγωγής. Αυτό, σε συνδυασμό με την τεχνολογική βελτιστοποίηση, δίνει μια δυναμική για ανάπτυξη των Φ/Β συστημάτων σε επίπεδα κόστους συγκρίσιμα με συμβατικές σημερινές τεχνολογίες μέσα στα επόμενα 15-20 χρόνια.

Από το 1980 έως το 1995, η βιομηχανία Φ/Β αύξησε τις πωλήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο σε ποσοστό 15% έως 20% κάθε χρόνο. Το 1995, η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β ήταν 80 MW<sub>p</sub> ενώ το έτος 1999 ανήλθε σε 200 MW<sub>p</sub>, δηλαδή η μέση ετήσια αύξηση, την τελευταία πενταετία, ήταν 26%. Τη στιγμή αυτή, η παγκόσμια δυνατότητα παραγωγής Φ/Β γεννητριών υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 280MW<sub>p</sub> ανά έτος. Λαμβάνοντας υπόψη τους ρυθμούς ανάπτυξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η δυναμικότητα αυτό θα έχει χρησιμοποιηθεί, το αργότερο, έως το τέλος του έτους 2001.

Οι κύριες κατευθύνσεις, οι οποίες εξελίσσονται για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των Φ/Β και την εξάπλωση των εφαρμογών έχουν ως ακολούθως:

- Μείωση κόστους παραγωγής.
- Ανάπτυξη μηχανημάτων παραγωγής Φ/Β στοιχείων και πλαισίων ειδικά σχεδιασμένων για τη Φ/Β τεχνολογία.
- Αναβάθμιση και βελτίωση των μεθόδων απόθεσης υλικού για την τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin films).
- Εξασφάλιση πρώτων υλών.
- Αύξηση της αξιοπιστίας και οικονομικότητας των υποσυστημάτων (ηλεκτρονικά ισχύος, μπαταρίες, κλπ.).
- Ανάπτυξη διεθνών μεθόδων πιστοποίησης και ποιοτικού ελέγχου.

- Έμφαση στην αναβάθμιση της τεχνολογίας 3<sup>ης</sup> γενιάς Φ/Β στοιχείων.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή Φ/Β γεννητριών ανά τεχνολογία για το έτος 1998 είχε ως εξής:

Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο:	43.30%
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο:	42.20%
Άμορφο Πυρίτιο:	13.00%
EFG:	1.35%
CdTe:	0.14%
CIS:	0.01%

Πίνακας 1.1 : Παραγωγή Φ/Β γεννητριών (1998)

**Κρυσταλλικό Πυρίτιο:** Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις αναφέρονται στις προσπάθειες που γίνονται για τη μείωση της ανακλαστικότητας σε επίπεδα μικρότερα του 10% που ισχύει σήμερα. Το σύννηθες αντιανακλαστικό υλικό που χρησιμοποιείται στην επιφάνεια ενός Φ/Β στοιχείου είναι το  $TiO_2$ . Ορισμένοι κατασκευαστές προσανατολίζονται στη χρησιμοποίηση του υλικού  $Si_3N_4$  ενώ γίνεται έρευνα για την εφαρμοσιμότητα και καταλληλότητα μεθόδων επάλληλων καλύψεων διαφορετικών υλικών και παχών ώστε να μειωθεί η ανακλαστικότητα ακόμη περισσότερο, με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του βαθμού απόδοσης της Φ/Β γεννήτριας [3].

Σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο Φ/Β πλαίσια των 350 φωτοβολταϊκών στοιχείων (cells) διαστάσεων 10cm×10cm, που αντιστοιχούν σε ισχύ τάξης μεγέθους

490W<sub>p</sub> και καταλαμβάνουν επιφάνεια 4.2 m<sup>2</sup>. Επίσης, ειδικά για εφαρμογές σε κτίρια (προσόψεις, σκιάστρα, προκατασκευασμένες στέγες για οικίες, κλπ.), διατίθενται στο εμπόριο Φ/Β γεννήτριες διαστάσεων έως και 6.5 m<sup>2</sup>. Το τρέχον εμπορικό κόστος των Φ/Β γεννητριών τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου είναι τάξης μεγέθους 3 Euro/W<sub>p</sub>.

**Αμορφο Πυρίτιο: a-Si:** Η εξέλιξη στην παραγωγή Φ/Β γεννητριών a-Si αφορά την κατασκευή πλαισίων έως και 50W<sub>p</sub>. Επίσης, έχει επιτευχθεί η μείωση της γήρανσης του υλικού και έχουν μετρηθεί σταθεροποιημένες αποδόσεις 10,2% για πλαίσιο διαστάσεων 30cm × 30cm. Τα πλαίσια που βρίσκονται στο εμπόριο σήμερα έχουν σταθεροποιημένη απόδοση που κυμαίνεται σε επίπεδα 5% έως 6%. Διαφαίνεται ότι η αγορά Φ/Β γεννητριών a-Si βρίσκεται κυρίως σε χαμηλής ισχύος φορητές συσκευές και σε εφαρμογές σε προσόψεις κτιρίων ως εναλλακτικές κατασκευές στη θέση συμβατικών υλικών υψηλού κόστους, π.χ. διπλά υαλοπετάσματα κλπ.

**Άλλες Τεχνολογίες Φ/Β:** Διεθνώς παρατηρείται έντονη ερευνητική δραστηριότητα στις τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμενίων. Οι ερευνητικοί στόχοι αναφέρονται σε σταθερής απόδοσης προϊόντα με κόστος διάθεσης μικρότερο του \$1.0/W<sub>p</sub>. Τα πρώτα Φ/Β πλαίσια Δισελινιούχου Ινδικού Χαλκού (CIS) διατίθενται στο εμπόριο από το 1999 σε τιμές τάξης μεγέθους 8 Euro/W<sub>p</sub> για πλαίσια 40W<sub>p</sub>, με απόδοση περίπου 9%. Νέες μονάδες κατασκευής CIS Φ/Β γεννητριών διαμορφώνονται αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη. Ειδικά μηχανήματα απαιτούνται για την παραγωγή Φ/Β τύπου CuInSe<sub>2</sub> και CdTe. Τα υλικά αυτά έχουν καλά στοιχεία απόδοσης και σταθερότητας αλλά υπάρχουν προβλήματα όταν αφορά την ομοιογένεια, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αξιοπιστία. Πρόσφατα, μια γερμανική εταιρεία κατασκεύασε εργοστάσιο παραγωγής πλαισίων τεχνολογίας CdTe, δυναμικότητας 10MW<sub>p</sub> ανά έτος. Τα Φ/Β πλαίσια αναμένεται να είναι εμπορικά διαθέσιμα μέσα στο 2001.

**Ηλεκτρονικά Συστήματα και Μετατροπείς Ισχύος:** Από πλευράς τεχνολογίας, διαφαίνεται ότι οι σχετικά μικροί μετατροπείς ισχύος εν σειρά (string inverters), μεγέθους 1kW<sub>p</sub> έως 5 kW<sub>p</sub> πρόκειται να επικρατήσουν των μεγάλων μονάδων άνω

των 50 kW στα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα. Αυτό, διότι, το κόστος των μικρών μετατροπέων είναι ήδη αρκετά προσιτό και έχει τάσεις μείωσης λόγω της αύξησης της παγκόσμιας αγοράς. Επίσης, η βελτίωση της αξιοπιστίας και κυρίως η χρηστικότητα, όσον αφορά τη δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης μιας Φ/Β εγκατάστασης χωρίς αλλαγή των βασικών μονάδων λειτουργίας, κάνουν τους μικρούς μετατροπείς ισχύος τεχνολογικά ελκυστικούς για το βέλτιστο σχεδιασμό μιας Φ/Β εγκατάστασης. Στόχος, στη βελτίωση των προϊόντων αυτών, είναι η οριακή αύξηση του βαθμού απόδοσης σε επίπεδα μεγαλύτερα του 95% και η αύξηση του χρόνου ζωής στα 10 τουλάχιστον χρόνια. Επίσης, λόγω της μαζικής παραγωγής, αναμένεται μείωση του κόστους στο άμεσο μέλλον.

**Αποθήκευση Ενέργειας:** Οι συσσωρευτές για Φ/Β εφαρμογές αποτελούν βελτιστοποιημένες κατασκευές σε σχέση με συμβατικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, κυρίως όσον αφορά τη χαμηλή εσωτερική αντίσταση, τη μεγάλη αντοχή σε κύκλους και βαθιές εκφορτίσεις και την αποφυγή στρωμάτωσης του ηλεκτρολύτη με εξαναγκασμένη ροή. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα διότι συνδυάζουν καλό χρόνο ζωής με ικανοποιητικό κόστος αρχικής επένδυσης. Σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπου η προσβασιμότητα και επισκεψιμότητα είναι δύσκολη, χρησιμοποιούνται μπαταρίες τύπου VRLA, μηδενικών απαιτήσεων συντήρησης και πλήρωσης υγρών ηλεκτρολύτη.

**Φωτοβολταϊκά Συστήματα:** Στην Ευρώπη, το κόστος για ένα μικρό αυτόνομο Φ/Β σύστημα τάξης μεγέθους  $50W_p$ , συμπεριλαμβανομένων της αποθήκευσης ενέργειας και των ηλεκτρονικών ισχύος, ανέρχεται σε 8 έως 10 Euro/ $W_p$ . Αντίστοιχα, σε ευρωπαϊκές εφαρμογές, το μέσο κόστος για ένα εγκατεστημένο διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα ισχύος  $3kW_p$  υπολογίζεται σε 13500 Euro, δηλαδή μεταξύ 4 και 5 Euro/ $W_p$ . Το κόστος ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος αναμένεται να μειωθεί περαιτέρω για τους παρακάτω λόγους:

- Αύξηση ανταγωνιστικότητας, βελτίωση τεχνολογίας και κατασκευή νέων σύγχρονων εργοστασίων παραγωγής Φ/Β γεννητριών δυνατότητας έως 100 MW ανά έτος
- Θεωρώντας την πρόσφατη αύξηση του 25% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β από το 1998 έως το 2000 και ακολουθώντας αυτό το ρυθμό αύξησης, υπολογίζεται ότι έως το έτος 2010, η παγκόσμια παραγωγή Φ/Β θα είναι δεκαπλάσια της σημερινής (Πίνακας 1.2) .

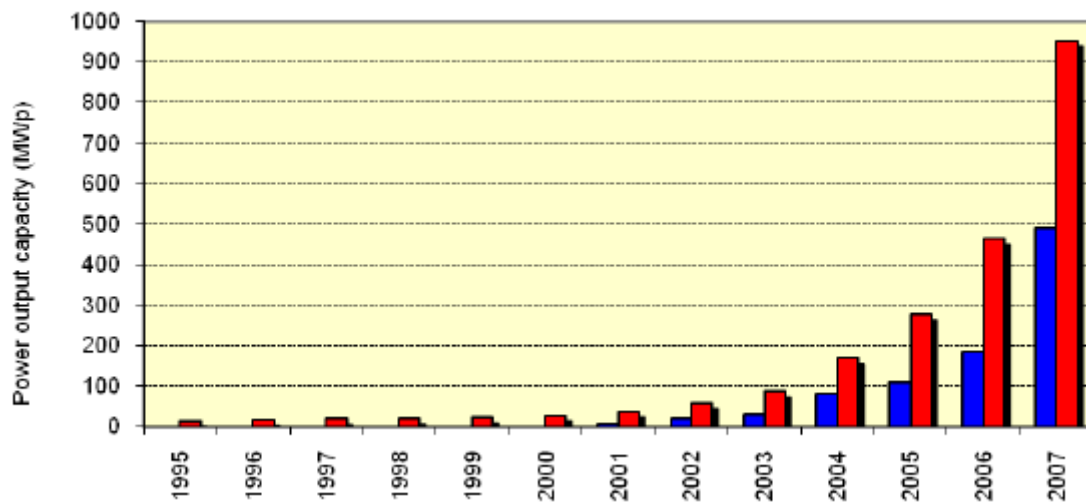
Country	Population [Mio]	Market 2002 [MW]	Potential 2010 [MW]	(2015) [MW]
Germany	80	100	600	≤ 1.000
France	60	1	100	≥ 500
UK	60	1	50	≥ 500
Italy	60	3	200	≥ 1.000
Spain	40	5	200	≥ 1.000
Greece	10	1	100	≥ 500
Benelux/Austria	30	10	150	≥ 700
Rest of EU-15	60	-	-	-
New EU states	75	-	100	≥ 100
<b>Total</b>	<b>455</b>	<b>120</b>	<b>Up to 1.500</b>	<b>≥ 5.000</b>
For comparison: Japan	130	200	1.200	ca. 4.500

Πίνακας 1.2 : Ευρωπαϊκή πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας από Φ/Β

Σε αρκετές χώρες, η εξασφάλιση της αγοράς Φ/Β επιτυγχάνεται από τα Εθνικά Προγράμματα, όπως π.χ. Γερμανίας (1995) - 1.000 στέγες, κατασκευάστηκαν 2250 συστήματα, Ιαπωνία - 70.000 Φ/Β στέγες σε διάστημα 10 ετών, Ολλανδία - Πρόγραμμα 10 MW<sub>p</sub> για εφαρμογές στον οικιακό τομέα, Ιταλία - Πρόγραμμα 10.000 Φ/Β συστημάτων, ΗΠΑ - Πρωτοβουλία για 1.000.000 Φ/Β στέγες, Ευρωπαϊκή Ένωση - 300.000 Φ/Β συστήματα ενσωματωμένα σε κτίρια, Γερμανία (1999) - 100.000 Φ/Β στέγες με επιδότηση ενέργειας 0,99 DM/kWh και χαμηλότοκο δανεισμό, Ισπανία - επιδότηση ενέργειας 0,40 Euro/kWh, Βέλγιο - κρατική επιδότηση 50% για διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα με επιπλέον 20% επιδότηση από την εταιρεία ηλεκτρισμού.

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
5,3	2,0	2,2	1,9	2,4	4,8	9,7	19,7	29,2	81,5	108,7	185,6	489,2
15,3	17,3	19,5	21,4	23,8	28,6	38,3	58	87,2	168,7	276,4	462	951,2

Πίνακας 1.3: Συνολική εγκατεστημένη και αθροιστική ισχύς Φ/Β έως το 2007



Εικόνα 1.6: Συνολική εγκατεστημένη και αθροιστική ισχύς Φ/Β έως το 2007

- Η βελτίωση των γραμμών παραγωγής Φ/Β γεννητριών με μηχανήματα κοπής ειδικά κατασκευασμένα για Φ/Β και όχι προσαρμοσμένα από τις υφιστάμενες τεχνολογίες κατασκευής και επεξεργασίας ημιαγωγών. Η τάση είναι για κατασκευή μεγαλύτερων και λεπτότερων Φ/Β στοιχείων (cells).

Πρόσφατες ερευνητικές δραστηριότητες σε επίπεδο φωτοβολταϊκού συστήματος αφορούν μεθόδους και τεχνικές ενσωμάτωσης των Φ/Β σε κτίρια και προσαρμογής σε ηλεκτρικά δίκτυα. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην τεχνική αρτιότητα των Φ/Β εγκαταστάσεων σε ασθενή ηλεκτρικά δίκτυα, όπως π.χ. νησιωτικές περιοχές. Στα πλαίσια της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού των Φ/Β και υβριδικών συστημάτων για την μείωση του αρχικού κόστους εγκατάστασης, εξετάζεται η αύξηση της απόδοσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, η διαθεσιμότητα της ισχύος όταν απαιτείται και η οικονομικότητα της εγκατάστασης, δηλαδή η βελτίωση του χρόνου



αποπληρωμής της επένδυσης. Στα πλαίσια αυτά, αναπτύσσονται ερευνητικές δραστηριότητες ανάπτυξης συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου τελευταίας γενιάς, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις ιδιαιτερότητες των Φ/Β και υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία και διαχείριση ενέργειας των συστημάτων αυτών.

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Υπολογισμός Ηλιακής Ακτινοβολίας

#### Συμβολισμοί - Μονάδες

Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες
$\delta$	Ηλιακή απόκλιση	μοίρες °
$\theta_{zs}$	Ηλιακή γωνία ζενίθ	μοίρες °
$\Psi_s$	Γωνία ηλιακού αζιμούθιου	μοίρες °
$\gamma_s$	Ηλιακό ύψος	μοίρες °
$\omega_s$	Γωνία δύσης ηλίου	μοίρες °
$\omega$	Ωριαία γωνία	μοίρες °
$\beta$	Κλίση επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο	μοίρες °
$\alpha$	Προσανατολισμός επιφάνειας	μοίρες °
$\theta_s$	Γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας	μοίρες °
$\varphi$	Γεωγραφικό πλάτος τοποθεσίας	μοίρες °
$\beta_0$	Ηλιακή σταθερά ( $\beta_0 = 1367$ )	w/m <sup>2</sup>
$B_0$	Ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας	w/m <sup>2</sup>
$k_T$	Συντελεστής αιθριότητας	w/m <sup>2</sup>
$G$	Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου εντός ατμόσφαιρας	w/m <sup>2</sup>
$D$	Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου εντός ατμόσφαιρας	w/m <sup>2</sup>
$B$	Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου εντός ατμόσφαιρας	w/m <sup>2</sup>
$R$	Ανακλώμενη ακτινοβολία	w/m <sup>2</sup>
<b>Δείκτες</b>		
$(\beta, \alpha)$	Κεκλιμένη επιφάνεια με προσανατολισμό	
$d$	Ημερήσια τιμή	
$m$	Μηνιαία τιμή	
$dm$	Μέση ημέρα του μήνα	
$h$	Ωριαία τιμή	
$hm$	Μέση ωριαία τιμή	

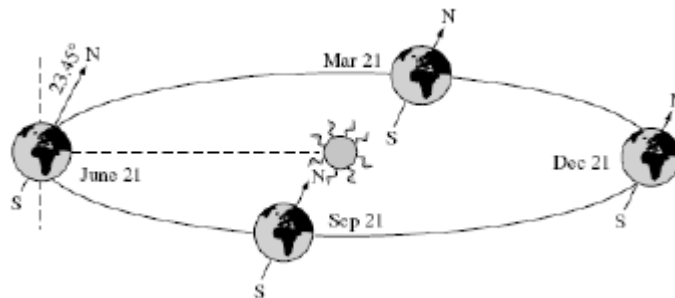
## 2.1 Βασικές γωνίες

Η γη περιστρέφεται μια φορά την ημέρα γύρω απ' τον άξονα της, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο διατηρώντας μια σταθερή γωνία,  $23,45^\circ$ . Αυτή η γωνία είναι υπεύθυνη για το ότι ο ήλιος φαίνεται ψηλότερα στον ουρανό το καλοκαίρι απ' ότι το χειμώνα. Επίσης εξαιτίας της γωνίας αυτής είναι μεγαλύτερη η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι. Στην εικόνα 2.1 φαίνεται η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο και η κλίση του άξονα της.

Η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και την ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με αυτό του ήλιου ονομάζεται ηλιακή απόκλιση  $\delta$  και φαίνεται στο εικόνα 2.2. Η ηλιακή απόκλιση δίνεται από τον τύπο

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360(284+n)}{365}\right) \quad (2.1)$$

όπου  $n$  είναι η ημέρα του έτους που μας ενδιαφέρει. Οι γωνίες βόρεια του ισημερινού θεωρούνται θετικές και αυτές νότια αρνητικές.



Εικόνα 2.1 : Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο

Σε μια συγκεκριμένη περιοχή όπου θα τοποθετηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι βολικό να ορίσουμε τη θέση του ήλιου χρησιμοποιώντας δυο γωνίες που θα αναφέρονται η μια στο οριζόντιο και η άλλη στο κάθετο επίπεδο [4]. Στο σχήμα 2.3 φαίνονται οι δυο αυτές γωνίες. Η ηλιακή γωνία ζενίθ  $\theta_{zs}$  είναι η γωνία μεταξύ του κάθετου άξονα και της κατεύθυνσης της ακτινοβολίας του ηλίου. Και η γωνία

ηλιακού αζιμούθιου  $\Psi_s$  είναι αυτή μεταξύ της νότιας διεύθυνσης και της προβολής της ακτινοβολίας του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο. Η συμπληρωματική γωνία της γωνίας ζενίθ ονομάζεται ηλιακό ύψος  $\gamma_s$ . Σε κάθε δεδομένη στιγμή οι συντεταγμένες του ήλιου σε κάποιο σημείο με γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ , δίνονται από τις εξισώσεις :

$$\cos \theta_{zs} = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega = \sin \gamma_s \quad (2.2)$$

$$\cos \psi_s = \pm \frac{\sin \gamma_s \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \gamma_s \cdot \cos \phi} \quad (2.3)$$

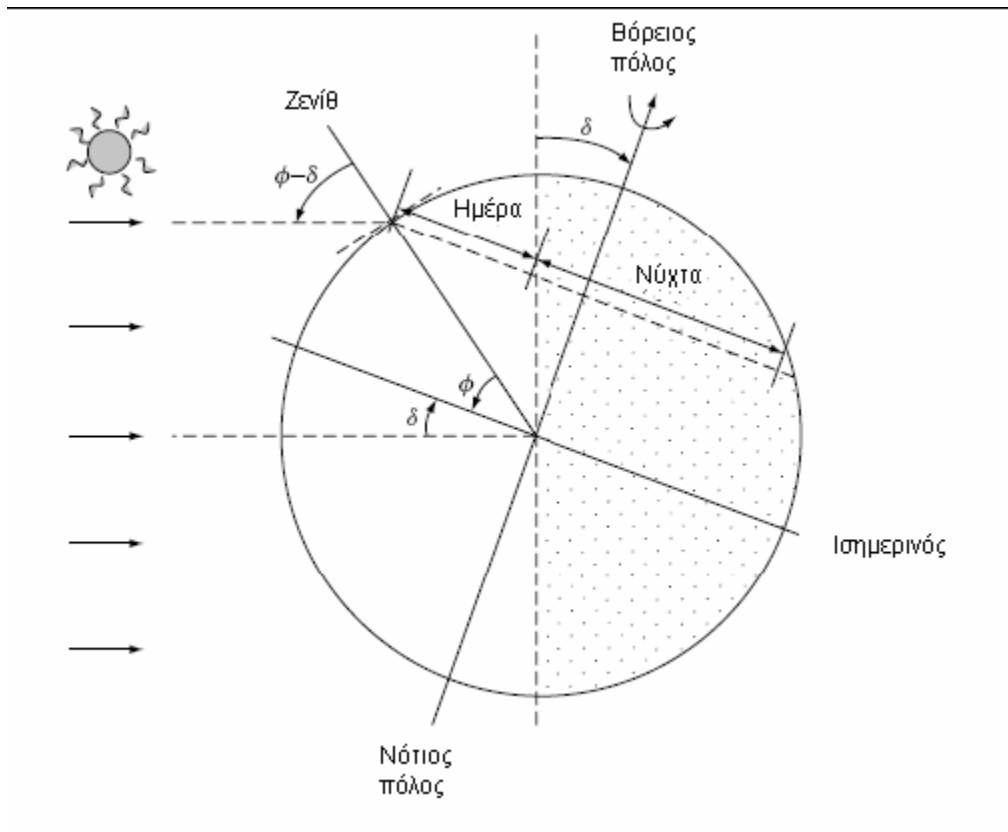
όπου  $\omega$  είναι η ωριαία γωνία.

$$\omega = 0, 25 \text{ (min από ηλιακό μεσημέρι)} \quad (2.4)$$

Για τη γωνία δύσης του ηλίου ισχύει ότι

$$\omega_s = -\arccos(-\tan \delta \tan \phi) \quad (2.5)$$

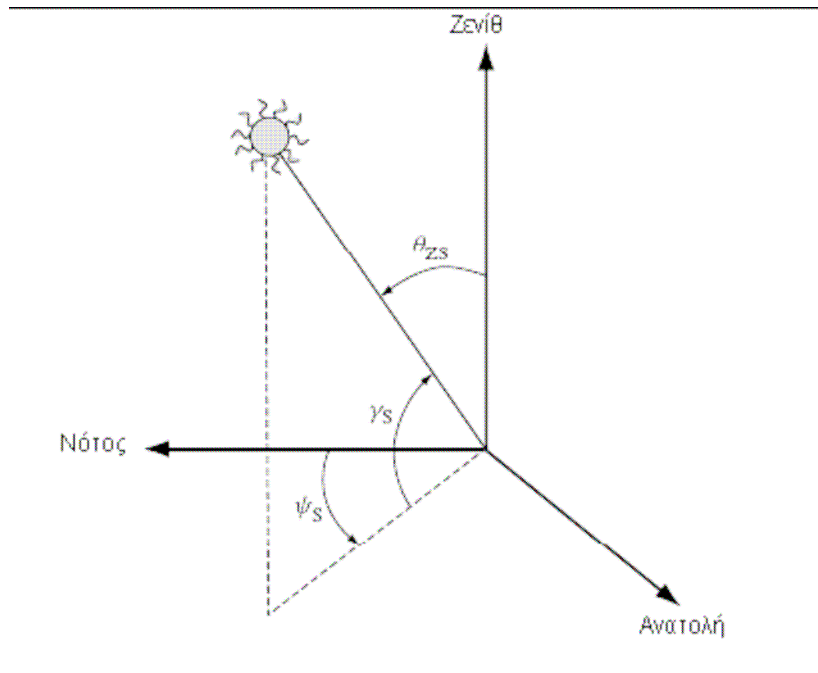
Οι εξισώσεις (2.2) και (2.3) μας δίνουν τις γωνίες  $\theta_{zs}$  και  $\Psi_s$  για μια οριζόντια επιφάνεια. Ωστόσο είναι πιο πρακτικό σε κάποιες περιπτώσεις να γνωρίζουμε τη θέση του ήλιου σε σχέση με κεκλιμένες επιφάνειες. Η θέση μιας επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί από την κλίση της,  $\beta$ , και από το αζιμούθιο,  $a$ , όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.4.



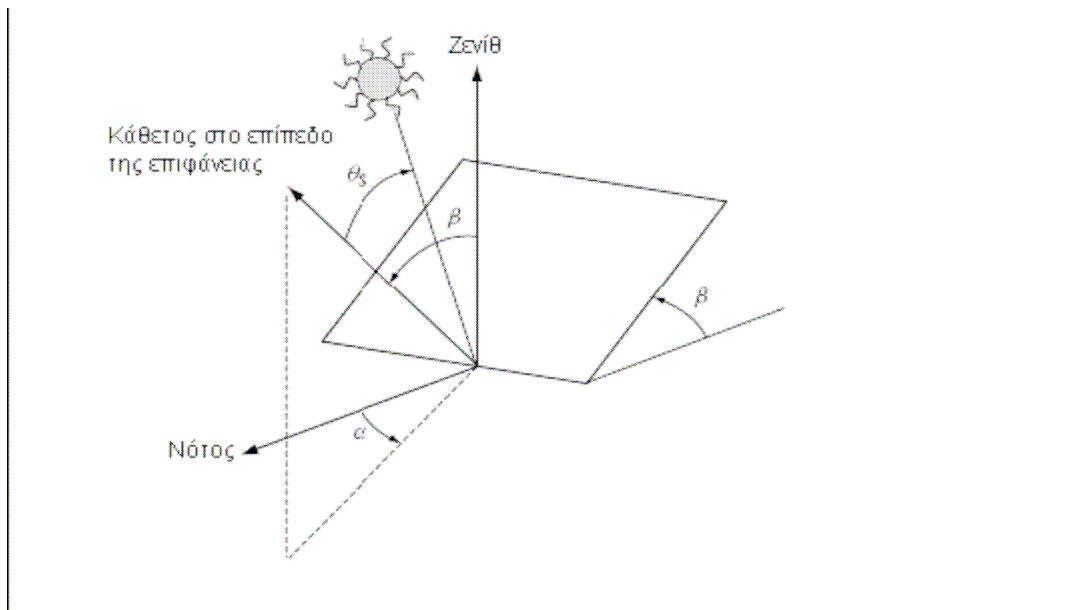
Εικόνα 2.2 : Θέση ήλιου – γης κατά το μεσημέρι μιας ημέρας με αρνητική ηλιακή απόκλιση  $\delta$

Η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της καθέτου στην επιφάνεια για περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου δίνεται από τη σχέση

$$\begin{aligned}
 \theta_s = & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \\
 & \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + \\
 & \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \quad (2.6) \\
 & \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \omega + \\
 & \cos \delta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega \cdot \sin \beta
 \end{aligned}$$



Εικόνα 2-3 : Η θέση του ήλιου σε σχέση με κάποιο σημείο στη γη



Εικόνα 2-4 : Θέση επιφάνειας (κλίση  $\beta$  και αζιμούθιο  $\alpha$ ) και γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων  $\theta_s$

## 2.2 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία που πέφτει σ' ένα σώμα που βρίσκεται έξω από την ατμόσφαιρα της γης ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή με αφετηρία τον ήλιο και φτάνει στο σώμα χωρίς να υποστεί καμία μεταβολή. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία περνάει μέσα από την ατμόσφαιρα της γης αλλάζει αφού έρχεται σε επαφή με συστατικά που υπάρχουν σε αυτή. Μερικά από αυτά όπως τα σύννεφα αντανakλούν την ακτινοβολία. Άλλα όπως το όζον, το οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί απορροφούν ένα μέρος της.

Επίσης τα σταγονίδια του νερού και η σκόνη προκαλούν διασκορπισμό της. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την αποσύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα σώμα στην επιφάνεια της γης, σε τρία διαφορετικά συστατικά.

Στην άμεση ακτινοβολία που είναι αυτή που φτάνει κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να υποστεί αντανάκλαση ή διασκορπισμό, στην διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από τον ορίζοντα και είναι αυτή που έχει υποστεί διασκορπισμό και στην ανακλώμενη ακτινοβολία που έχει υποστεί ανάκλαση στο έδαφος. Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια είναι το άθροισμα των τριών αυτών συνιστωσών.

Η ακτινοβολία που προσπίπτει σ' ένα σώμα στην επιφάνεια της γης δεν είναι πάντα η ίδια αλλά διαφέρει σημαντικά αναλόγως την ώρα της ημέρας και την εποχή, αλλά και τις καιρικές συνθήκες. Ακόμα και η ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας παρουσιάζει ομαλές ημερήσιες και ετήσιες μεταβολές που οφείλονται στην κίνηση του ήλιου. Οι μεταβολές αυτές είναι προβλεπόμενες και μπορούν να καθοριστούν θεωρητικά [5].

Η ακτινοβολία για κάποια ημέρα του έτους σε μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμόσφαιρας δίνεται από τη  $B_o = \beta_o \varepsilon_o \cos \theta_{zs}$  (2.7) όπου  $\beta_o$  είναι η ηλιακή σταθερά,  $\beta_o = 1367 \text{ W/m}^2$  και  $\varepsilon_o = 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}$  (2.8). Η σχέση 2.7 για τον

υπολογισμό της ενέργειας ( $wh/m^2$ ) στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια μιας ολόκληρης ημέρας γίνεται  $B_{0d} = \frac{T}{\pi} B_0 \varepsilon_0 \left( \left( -\frac{\pi}{180} \omega_s \sin \delta \sin \phi - \cos \delta \sin \omega_s \right) \right)$  (2.9), όπου

Τα είναι η διάρκεια της ημέρας, δηλαδή 24 h.

Η σχέση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης και σε αυτή εκτός της ατμόσφαιρας δίνει ένα μέτρο της διαπερατότητας της ατμόσφαιρας. Έτσι ο συντελεστής διαπερατότητας (ή συντελεστής αιθριότητας) υπολογίζεται για κάθε μήνα από τη σχέση

$$K_{Tm} = \frac{G_{dm}}{B_{Odm}} \quad (2.10)$$

όπου  $G_a$  είναι η ημερήσια ενέργεια σε οριζόντιο επίπεδο εντός ατμόσφαιρας

Ο συντελεστής αυτός μπορεί να χαρακτηρίσει το ηλιακό κλίμα μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας και είναι και η βάση για να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο.

Συνήθως οι μετρήσεις ακτινοβολίας γίνονται σε οριζόντιο επίπεδο. Επειδή όμως η τιμή της σε κεκλιμένο επίπεδο είναι μεγαλύτερη συμφέρει τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να είναι τοποθετημένα με κλίση σε σχέση με το οριζόντιο. Οπότε χρειάζεται να υπολογίσουμε την ακτινοβολία για το κεκλιμένο επίπεδο. Οι μετρήσεις συνήθως μας δίνουν την ολική ακτινοβολία και αυτό δημιουργεί δυο προβλήματα. Πρώτα να την διαχωρίσουμε σε άμεση και διάχυτη και στη συνέχεια να υπολογίσουμε το μέγεθος της κάθε μιας για το κεκλιμένο επίπεδο.

### 2.3 Υπολογισμός της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο όταν γνωρίζουμε την ολική ακτινοβολία.

Η γενική ιδέα προτάθηκε από τους Liu και Jordan [5]. Περιλαμβάνει τον υπολογισμό μιας εμπειρικής σχέσης μεταξύ του κλάσματος της διάχυτης ακτινοβολίας προς την

ολική για οριζόντιο επίπεδο  $F_{Dm} = \frac{D_{dm}}{G_{dm}}$  (2.11) και του συντελεστή διαπερατότητας.



Χρησιμοποιώντας δεδομένα από δέκα διαφορετικές τοποθεσίες ανάμεσα στα πλάτη 40°N και 40°S ο Page πρότεινε την ακόλουθη γραμμική σχέση που συνήθως δίνει και τα καλύτερα αποτελέσματα  $F_{Dm} = 1 - 1.13K_{Td}$  (2.12).

Μια πρόσφατη μελέτη για την περιοχή της Μεσογείου χρησιμοποιώντας 150.000 ζευγάρια δεδομένων από έντεκα διαφορετικούς σταθμούς της Ευρώπης προτείνει την ακόλουθη σχέση :

$$\begin{aligned}
 F_{Dm} &= 0.952 \\
 F_{Dm} &= 0.868 + 1.335K_T^2 + 3.721K_T^3 & K_{Td} &\leq 0.13 \\
 F_{Dm} &= 0.141 & 0.13 &< K_{Td} \leq 0.8 \\
 & & K_{Td} &< 0.8
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Τα περισσότερα προβλήματα μηχανικών για εφαρμογές φωτοβολταϊκών μπορούν να επιλυθούν ικανοποιητικά με την εξίσωση (2.12).

Αφού υπολογίσουμε την διάχυτη ακτινοβολία μπορούμε να υπολογίσουμε και την άμεση η οποία προκύπτει με αφαίρεση της διάχυτης από την ολική

$$B_{dm} = G_{dm} - D_{dm} \tag{2.14}$$

## 2.4 Εκτίμηση ωριαίας ακτινοβολίας από την ημερήσια

Επειδή η ηλιακή ενέργεια (Wh/m<sup>2</sup>) κατά τη διάρκεια μιας ώρας είναι αριθμητικά ίση με την τιμή της ισχύος (W/m<sup>2</sup>) την ώρα αυτή, οι τιμές της ισχύος μπορούν να μετατραπούν σε ωριαίες τιμές ενέργειας. Ωστόσο επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμες τιμές ωριαίας ακτινοβολίας το πρόβλημα είναι να υπολογίσουμε την ωριαία ακτινοβολία με δεδομένη την ημερήσια.

Ο λόγος της ενέργειας της ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου εκτός ατμόσφαιρας σε κάποια στιγμή (W/m<sup>2</sup>) προς την ημερήσια ενέργεια (Wh/m<sup>2</sup>) μπορεί θεωρητικά να υπολογιστεί με χρήση των εξισώσεων (2.2), (2.7) και (2.9). Δηλαδή :

$$\frac{B_o(0)}{B_{od}(0)} = \frac{\pi}{T} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\frac{\pi}{180} \omega_s \cos \omega_s - \sin \omega_s} \quad (2.15),$$

όταν η γωνία δύσης  $\omega_s$  είναι εκφρασμένη σε μοίρες και  $T$  είναι η διάρκεια της ημέρας συνήθως εκφρασμένης σε ώρες.  $B_o(0)$  και  $B_{od}(0)$  είναι τα αντίστοιχα μεγέθη για οριζόντιο επίπεδο.

Από την εξέταση δεδομένων από διάφορους σταθμούς έχει παρατηρηθεί ότι όσον αφορά τις μέσες τιμές μακροχρόνιων μετρήσεων ακτινοβολίας εντός ατμόσφαιρας, η σχέση του μετρούμενου λόγου της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) προς την ημερήσια ενέργεια της διάχυτης ακτινοβολίας ( $Wh/m^2$ ),  $r_D = \frac{D(0)}{D_d(0)}$ , και της θεωρητικής έκφρασης της εξίσωσης (2.13) είναι πολύ κοντά. Ενώ η σχέση του μετρούμενου λόγου της ολικής στιγμιαίας ακτινοβολίας προς την ολική ημερήσια ενέργεια της ακτινοβολίας,  $r_G = \frac{G(0)}{G_d(0)}$  και η  $r_D$  βρίσκονται πολύ κοντά ώστε με μια μικρή διόρθωση ταιριάζουν στα παρατηρούμενα δεδομένα. Οπότε έχουμε :

$$r_D = \frac{D(0)}{D_d(0)} = \frac{B_o(0)}{B_d(0)} \quad (2.16)$$

$$r_G = \frac{G(0)}{G_d(0)} = \frac{B_o(0)}{B_d(0)} (a + b \cos \omega) \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \text{όπου } \alpha &= 0.409 - 0.5016 \sin(\omega_s + 60) \\ b &= 0.6609 + 0.4767 \sin(\omega_s + 60) \end{aligned}$$

Σημειώνεται ότι τα  $r_G$  και  $r_D$  έχουν μονάδες  $(\text{χρόνο})^{-1}$  και μπορούν να επεκταθούν για να υπολογίσουν ακτινοβολίες για σύντομες χρονικές περιόδους επικεντρωμένες στη στιγμιαία γωνία  $\omega$ . Για παράδειγμα αν θέλουμε να υπολογίσουμε την ακτινοβολία για μια ώρα μεταξύ 10:00 και 11:00 (ηλιακή ώρα), θέτουμε τη γωνία  $\omega = -22,5^\circ$  (το κέντρο του διαστήματος, δηλαδή για 10:30) και  $T = 24h$ .

Όπως έχει ήδη αναφερθεί γι αυτόν τον υπολογισμό μπορεί να θεωρηθεί ότι η ενέργεια ( $Wh/m^2$ ) στη διάρκεια μιας ώρας είναι αριθμητικά ίση με την ισχύ ( $W/m^2$ )

της ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ώρας αυτής και επίσης ίση με την ισχύ της ακτινοβολίας στο μέσον του διαστήματος της ώρας. Για παράδειγμα αν η ολική ακτινοβολία το μεσημέρι είναι  $G(0) = 580,4 \text{ W/m}^2$  είναι και αριθμητικά ίδια με την ενέργεια από 11:30 έως 12:30  $G_h(0) = 580,4 \text{ Wh/m}^2$ . Αυτή η υπόθεση βρίσκεται πολύ κοντά στην πραγματικότητα και έτσι απλοποιούνται κατά πολύ οι υπολογισμοί που κάνουμε.

## 2.5 Εκτίμηση ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες με δεδομένη την ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

Η πιο συνηθισμένη διαδικασία για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο,  $G(\beta, a)$ , είναι να υπολογίσουμε ξεχωριστά την άμεση,  $B(\beta, a)$ , τη διάχυτη,  $D(\beta, a)$ , και την ανακλώμενη ακτινοβολία  $R(\beta, a)$ . Μόλις αυτά είναι γνωστά τότε  $G(\beta, a) = B(\beta, a) + D(\beta, a) + R(\beta, a)$

### 2.5.1 Εκτίμηση άμεσης ακτινοβολίας

Για την άμεση ακτινοβολία ισχύει

$$B(\beta, \alpha) = B \max(0, \cos \theta_s) \quad (2.18)$$

όπου  $B$  είναι η άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου και  $\theta_s$  είναι η γωνία μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της καθέτου στην επιφάνεια και δίνεται από την εξίσωση (2.6). Η άμεση ακτινοβολία  $B$  προκύπτει από τη σχέση

$$B = \frac{B(0)}{\cos \theta_{zs}} \quad (2.19)$$

Σημειώνεται ότι όταν οι ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν στην πίσω πλευρά της επιφάνειας (όπως συμβαίνει τις πρωινές ώρες σε μια επιφάνεια με δυτικό προσανατολισμό)  $|\theta_s| > \frac{\pi}{2}$ . Τότε,  $\cos \theta_s < 0$  και  $B = 0$ . Έτσι ο παράγοντας  $\max(0,$

$\cos\theta_s$ ), δείχνει ότι η ακτινοβολία στο πίσω μέρος της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών δεν χρησιμοποιείται.

## 2.5.2 Εκτίμηση διάχυτης ακτινοβολίας

Το πιο απλό μοντέλο για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας θεωρεί ότι η ακτινοβολία στον ουρανό είναι ισοτροπική, το οποίο σημαίνει πως από κάθε σημείο του ουράνιου θόλου εκπέμπεται ακτινοβολία με την ίδια ένταση. Για το μοντέλο αυτό προκύπτει ότι  $D(\beta, \alpha) = D(0) \frac{1 + \cos\beta}{2}$  (2.20). Εξαιτίας της απλότητας του το μοντέλο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο, έστω και αν συστηματικά υποτιμά την διάχυτη ακτινοβολία για επιφάνειες προσανατολισμένες προς τον ισημερινό.

Η αντίθετη προσέγγιση υποθέτει ότι όλη η διάχυτη ακτινοβολία εκπέμπεται από τη θέση στην οποία βρίσκεται ο ήλιος. Με αυτό τον τρόπο θεωρούμε τη διάχυτη στην άμεση ακτινοβολία και προκύπτει ότι  $D(\beta, \alpha) = \frac{D(0)}{\cos\theta_{zs}} \max(0, \cos\theta_s)$  (2.21).

Και το μοντέλο αυτό έχει το πλεονέκτημα της απλότητας αλλά υπερεκτιμά τη διάχυτη ακτινοβολία.

Γενικά, τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται από τα λεγόμενα ανισοτροπικά μοντέλα. Οι Hay και Davies θεώρησαν ότι η διάχυτη ακτινοβολία αποτελείται από δυο συνιστώσες. Μια που εκπέμπεται από τη θέση του ήλιου και μια από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο. Και οι δυο συνιστώσες εξαρτώνται από ένα συντελεστή  $k_1$  για τον οποίο ισχύει

$$k_1 = \frac{B(0)}{B_o(0)} = \frac{B}{\beta_o \varepsilon_o} \quad (2.22)$$

Τελικά ισχύει ότι  $D(\beta, \alpha) = D^1(\beta, \alpha) + D^c(\beta, \alpha)$  (2.23)

$$D^1(\alpha, \beta) = D(0)(1 - k_1) \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (2.24)$$

$$D^c(\beta, \alpha) = \frac{D(0)k_1}{\cos\theta_{zs}} \max(0, \cos\theta_s) \quad (2.25)$$

Όταν ο ουρανός είναι εντελώς συννεφιασμένος  $k_l = 0$  η εξίσωση (2.21) ταυτίζεται με το απλό ισοτροπικό μοντέλο. Το μοντέλο αυτό είναι εξαιρετικός συνδυασμός απλότητας και ακρίβειας. Έχει συγκριθεί με μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες τοποθεσίες παγκοσμίως και έχει αποδειχθεί πως έχει ικανοποιητική ακρίβεια.

### 2.5.3. Εκτίμηση ανακλώμενης ακτινοβολίας

Η ανακλαστικότητα των περισσότερων τύπων εδάφους είναι πολύ μικρή. Συνεπώς η συνεισφορά της ανακλώμενης στην ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια είναι ελάχιστη (εξαιρέση αποτελεί η περίπτωση που έχουμε χιόνι). Γι αυτό το λόγο δεν έχουν αναπτυχθεί πολύπλοκα μοντέλα για την ανάκλαση. Συνήθως θεωρείται ότι το έδαφος είναι οριζόντιο με άπειρη έκταση και ανακλά ισοτροπικά. Με βάση αυτή τη θεωρία η ανακλώμενη ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια δίνεται από τη σχέση  $R(\beta, \alpha) = \rho G(0) \frac{1 - \cos \beta}{2}$  (2.26) όπου  $\rho$  είναι ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους και εξαρτάται από τη σύσταση που έχει το έδαφος. Για την Ελλάδα λαμβάνεται  $\rho = 0,2$ .

### 2.5.4 Μεθοδολογία υπολογισμού συνολικής ακτινοβολίας

Ανακεφαλαιώνοντας όταν σε μια περιοχή μας δίνεται το γεωγραφικό πλάτος, η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, η κλίση των φωτοβολταϊκών 18 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας πλαισίων και ο προσανατολισμός τους, για να υπολογίσουμε την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια των συλλεκτών ακολουθούμε την εξής διαδικασία.

1. Από τη σχέση (2.10) υπολογίζεται ο συντελεστής αιθριότητας  $K_{t,d}$ .
2. Από τη σχέση (2.12) ή (2.13) υπολογίζουμε το συντελεστή  $F_{da}$ .
3. Από τη σχέση (2.11) υπολογίζεται η ημερήσια διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου  $D_{dm}(0)$ .
4. Από τη σχέση (2.14) υπολογίζεται η ημερήσια άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου  $B_{dm}(0)$ .
5. Από τις σχέσεις (2.15) και (2.16) υπολογίζεται η ωριαία διάχυτη

ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου  $D_{hm}(0)$  θέτοντας όπου  $\omega$  τη γωνία που αντιστοιχεί στο κέντρο του διαστήματος της μιας ώρας και  $T=24h$ .

6. Από τη σχέση (2.17) υπολογίζουμε την ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου  $G_{hm}(0)$ .

7. Η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου είναι η διάφορα της διάχυτης από την ολική  $B_{hm}(0) = G_{hm}(0) - D_{hm}(0)$ .

8. Από τις σχέσεις (2.18) και (2.19) υπολογίζεται η άμεση ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου  $B_{hm}(\beta, \alpha)$ .

9. Από τις σχέσεις (2.23), (2.24) και (2.25) υπολογίζεται η διάχυτη ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου  $D_{hm}(\beta, \alpha)$ .

10. Από τη σχέση (2.26) υπολογίζεται η ανακλώμενη ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου  $R_{hm}(\beta, \alpha)$ .

11. Η ολική ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου είναι το άθροισμα της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενης

$$G_{hm}(\beta, \alpha) = B_{hm}(\beta, \alpha) + D_{hm}(\beta, \alpha) + R_{hm}(\beta, \alpha).$$

12. Η ολική ημερήσια ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου δίνεται από τη σχέση

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = \sum_{-\omega_s}^{\omega_s} G_{hm}(\beta, \alpha)$$

## 3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Περιστρεφόμενα Φ/Β

#### 3.1 Γενικά

Το ποσό της ενέργειας που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται από το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας στην οποία εκτίθεται το σύστημα. Έτσι λοιπόν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος που βρισκόμαστε ή την εποχή που διανύουμε υπάρχουν διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες. Ένας ηλιοστάτης (tracker) είναι μια συσκευή για τον προσανατολισμό ενός Φ/Β πλαισίου ή για την συγκέντρωση ηλιακής αντανάκλασης. Οι εφαρμογές χωρίς συγκεντρωτές απαιτούν λιγότερη ακρίβεια και ο tracker δεν είναι απαραίτητος αλλά μπορεί σταδιακά να βελτιώσει τον βαθμό της ενέργειας που παράγεται από ένα σύστημα αξιοποιώντας την πρωινή αλλά και την απογευματινή ηλιακή ακτινοβολία. Η δυνατή απογευματινή ακτινοβολία είναι επιθυμητή για τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά στοιχεία καθώς η παραγωγή εκείνη την ώρα θα συμπίπτει με την μέγιστη περίοδο ζήτησης κατά την καλοκαιρινή περίοδο με την χρήση air conditions [6]. Για χαμηλής θερμοκρασίας θερμικές εφαρμογές δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε trackers, λόγω του υψηλού τους κόστους σε σύγκριση με την τοποθέτηση παραπάνω συλλεκτών, λαμβάνοντας υπόψη τις περιορισμένες ηλιακές γωνίες που απαιτούνται κατά την χειμερινή περίοδο οι οποίες επηρεάζουν την μέση ετήσια χωρητικότητα. Σε σύγκριση με τα Φ/Β οι trackers μπορούν να έχουν σχετικά χαμηλό κόστος. Αυτό τους κάνει αρκετά αποδοτικούς για Φ/Β συστήματα που χρησιμοποιούν πλαίσια υψηλής αποδοτικότητας. Ορισμένοι trackers μπορούν να ρυθμιστούν για εποχική περιστροφή ενώ οι περισσότεροι απαιτούν ετήσια επιθεώρηση και λίπανση.

#### 3.2 Διατάξεις ηλιοστατών (trackers)

Οι trackers μπορούν να είναι ενεργητικοί, παθητικοί ή και χρονολογικοί καθώς επίσης να έχουν κίνηση στον ένα άξονα ή κίνηση σε 2 άξονες [7]. Οι trackers με κίνηση στον ένα άξονα συνηθίζεται να έχουν πολική τοποθέτηση για μέγιστη ηλιακή

απόδοση. Οι trackers με κίνηση σε 2 άξονες χωρίζονται με την σειρά τους σε δυο υποκατηγορίες: πολικοί και αζιμούθιου – ύψους.



Εικόνα 3.1 α) κίνηση σε έναν άξονα β) κίνηση σε δυο άξονες

### 3.2.1 Πολικοί

Οι πολικοί trackers έχουν έναν άξονα ευθυγραμμιζόμενο κοντά στον άξονα περιστροφής της γης, έτσι προκύπτει και το όνομα πολικοί. Αυτός ο όρος, χρησιμοποιείται συνήθως για τα υψηλής ακριβείας αστρονομικά τηλεσκόπια τα οποία τοποθετούνται έτσι ώστε να περιστρέφονται σε έναν άξονα παράλληλο με τον άξονα της γης. Για τους trackers, οι επονομαζόμενοι πολικοί trackers έχουν την τροχιά τους ευθυγραμμισμένη κάθετα στην ελλειπτική τροχιά του ήλιου (ένας φανταστικός δίσκος που περιέχει την προφανή πορεία του ήλιου).

Η αρχική ρύθμιση γίνεται ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος της περιοχής τοποθέτησης. Οι πολικοί trackers είναι και χειροκίνητα ρυθμιζόμενοι για να αντισταθμιστεί η μετατόπιση του ελλειπτικού διάμεσο των εποχών. Η ρύθμιση γίνεται συνήθως δυο φορές τον χρόνο στις ισημερίες, μια για να ορίσουμε μια θέση για φθινόπωρο και χειμώνα, και μια δεύτερη ρύθμιση για άνοιξη και καλοκαίρι. Τέτοιου είδους trackers θεωρούνται ως μονού άξονα, επειδή μόνον ένας μηχανισμός κατεύθυνσης χρειάζεται για καθημερινή χρήση. Αυτό μειώνει το κόστος και επιτρέπει την χρήση παθητικών μεθόδων tracking.





Εικόνα 3.2: Trackers πολικής τοποθέτησης

### 3.2.2 Οριζοντίου άξονα

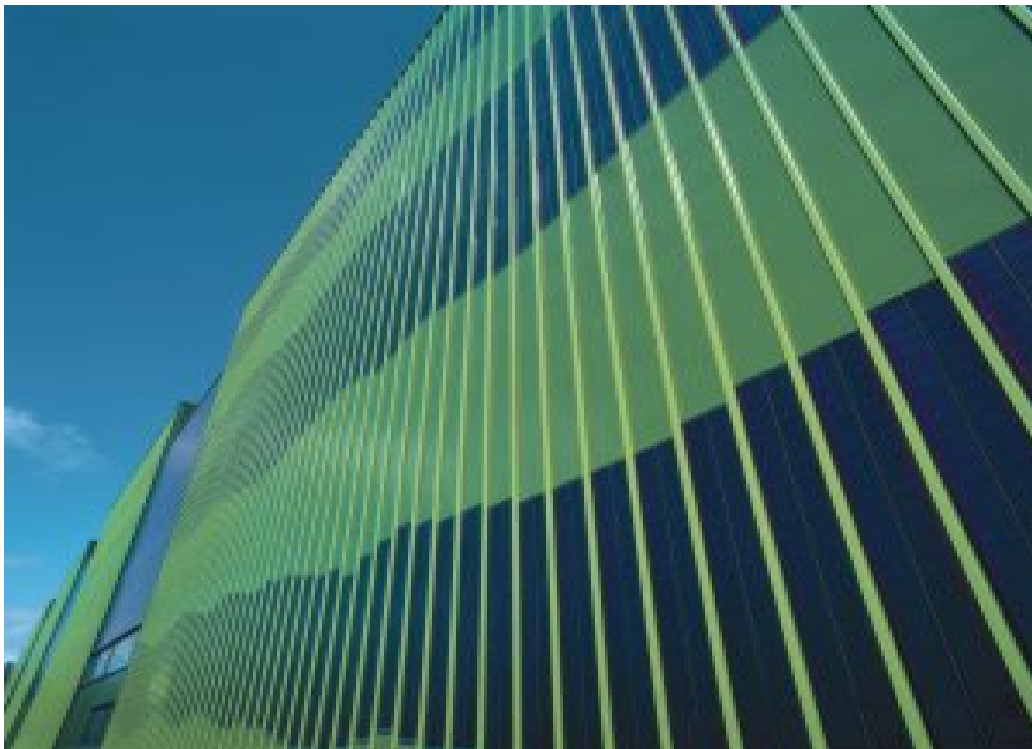
Πολλοί κατασκευαστές μπορούν να παρέχουν trackers μονού - οριζοντίου άξονα οι οποίοι μπορεί να είναι είτε παθητικοί είτε ενεργοί μηχανισμοί, κάτι που εξαρτάται από τον κατασκευαστή. Σε αυτού του τύπου τους trackers, ένας μακρύς οριζόντιος σωλήνας υποστηρίζεται στα ρουλεμάν που τοποθετούνται επάνω στους πυλώνες ή τα πλαίσια.



Εικόνα 3.3 Διάταξη οριζόντιου άξονα

Ο άξονας του σωλήνα βρίσκεται σε ευθυγράμμιση Βορά-Νότου. Τα πλαίσια τοποθετούνται επάνω στον σωλήνα και ο σωλήνας περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του για να εντοπίσει την κίνηση του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας. Δεδομένου ότι τα πλαίσια αυτά δεν στρέφονται προς τον ισημερινό, δεν είναι αρκετά αποτελεσματικά κατά την διάρκεια ενός χειμωνιάτικου μεσημεριού (εκτός αν είναι τοποθετημένα κοντά στον ισημερινό), αλλά προσθέτουν ένα σημαντικό ποσό παραγωγικότητας κατά την διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού όπου το ηλιακό μονοπάτι είναι ψηλότερα στον ουρανό. Οι συσκευές αυτές είναι λιγότερο αποτελεσματικές στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η σταθερότητα του συστήματος στήριξης και η απλότητα του μηχανισμού. Μιας και τα πλαίσια είναι οριζόντια, μπορούν εύκολα και πρακτικά να τοποθετηθούν στον άξονα χωρίς να υπάρχει φόβος αλληλοσκίασης καθώς επίσης είναι εύκολα προσβάσιμα για καθαρισμό.

### 3.2.3.Κατακόρυφου Άξονα



Εικόνα 3.4: Διάταξη κατακόρυφου άξονα σε κτήριο

Ένας tracker μονού άξονα μπορεί να κατασκευαστεί έτσι ώστε ο νοητός του άξονας να περιστρέφεται σε κατακόρυφο άξονα, με τα πλαίσια είτε κάθετα είτε σε συγκεκριμένη γωνία. Τέτοιου είδους trackers είναι κατάλληλοι για υψηλά γεωγραφικά πλάτη (πίνακας 3.1), όπου η προφανής ηλιακή διαδρομή δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή, αλλά καταλήγει σε μεγάλες καλοκαιρινές μέρες, με τον ήλιο να ταξιδεύει διάμεσο ενός μεγάλου τόξου.

### 3.2.4. Εγκαταστάσεις αζιμούθιου - ύψους

Οι εγκαταστάσεις αζιμούθιου - ύψους είναι απλές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται κυρίως για τηλεσκόπια, κάμερες καθώς και για trackers όπου έχουμε κίνηση σε δυο κατακόρυφους μεταξύ τους άξονες, έναν κάθετο και έναν οριζόντιο. Η κάθετη κίνηση είναι γνωστή ως ύψος, ενώ η οριζόντια είναι γνωστή ως αζιμούθιου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των εφαρμογών αυτών είναι το ότι είναι απλά τόσο στην κατασκευή όσο και στην χρήση. Στην αστρονομία οι εφαρμογές αζιμούθιου - ύψους θεωρήθηκαν, για ένα διάστημα, ξεπερασμένες από τις πιο πολύπλοκες εφαρμογές ισημερινού. Το τελευταίο είναι ιδανικό για εντοπισμό ηλιακών αντικειμένων στον νυχτερινό ουρανό καθώς η γη γυρίζει στον άξονα της, μιας και ο πολικός του προσανατολισμός προϋποθέτει ρύθμιση μόνο στον ένα άξονα, σε αντίθεση με τους δυο άξονες της εγκατάστασης αζιμούθιου - ύψους.

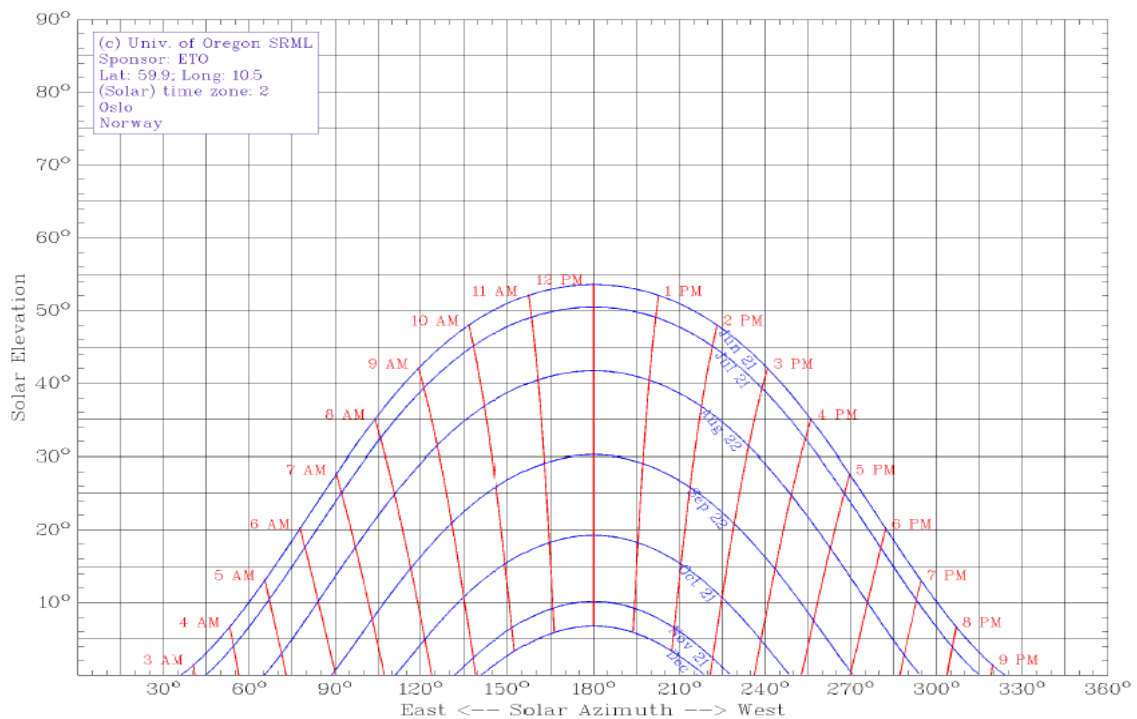
<b>Πολικοί</b>	Ρυθμίζεται ανάλογα με το Γ.Π.
<b>Οριζοντίου άξονα</b>	Μεσαία Γεωγραφικά Πλάτη
<b>Κατακόρυφου Άξονα</b>	Υψηλά Γεωγραφικά Πλάτη
<b>Αζιμούθιου - Ύψους</b>	Οποιοδήποτε Γεωγραφικό Πλάτος

Πίνακας 3.1: Επιλογή διάταξης ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος

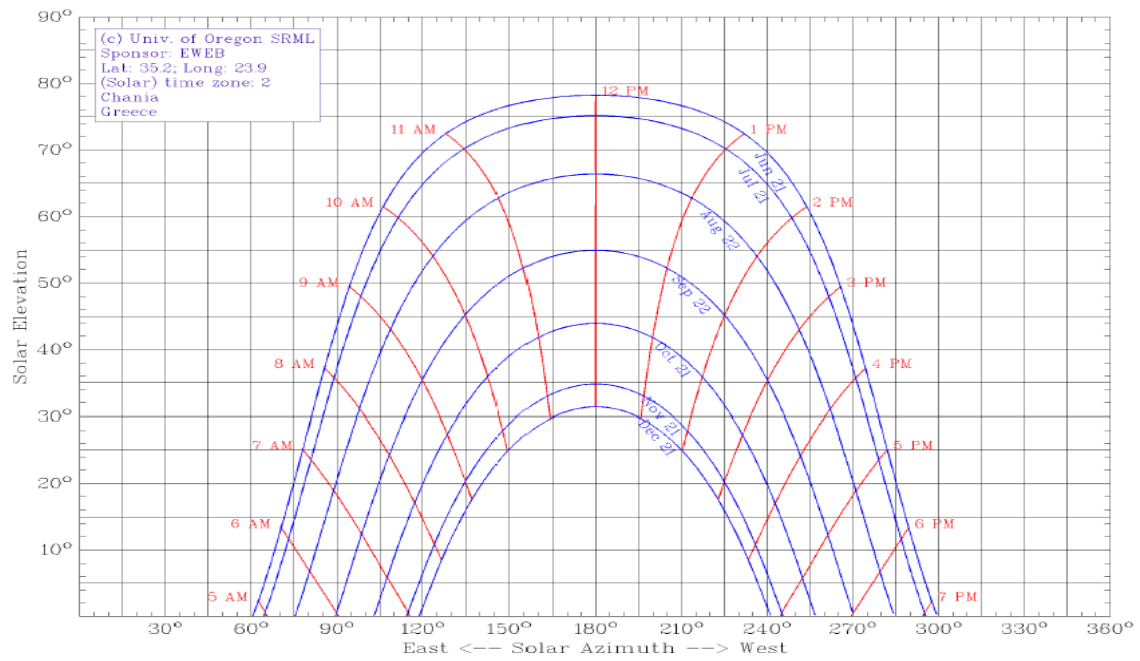
### 3.3 Ηλιακοί Χάρτες

Η Ηλιακή διαδρομή στα διάφορα γεωγραφικά πλάτη του κόσμου είναι αρκετά διαφορετική. Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια μιας χρονιάς, αλλάζει η θέση του ήλιου σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού.

Στα παρακάτω σχήματα θα δούμε τους ηλιακούς χάρτες τριών διαφορετικών πόλεων. Αρχικά ο ηλιακός χάρτης του Oslo στην Νορβηγία (Γ.π: 59,9 Β, Γ.μ: 10,5 Α) μας δείχνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ηλιακής ακτινοβολίας σε υψηλό γεωγραφικό πλάτος όπου το ύψος του ήλιου είναι χαμηλό αλλά η ηλιακή μέρα έχει μεγαλύτερη διάρκεια.

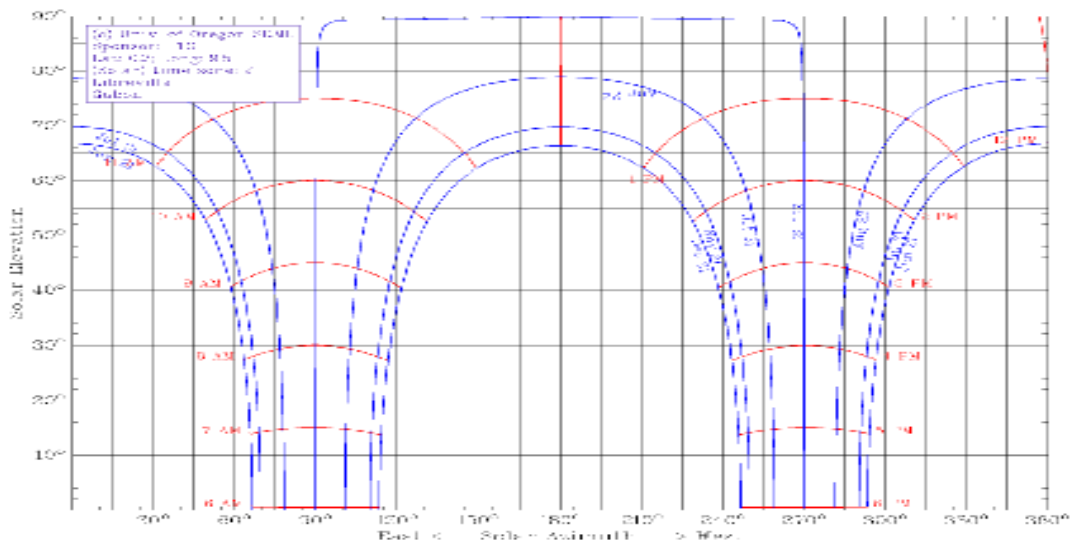


Σχήμα 3.1 : Ηλιακός χάρτης Oslo (Νορβηγία)



Σχήμα 3.2 Ηλιακός χάρτης Χανίων

Στην συνέχεια σε ένα μέσο γεωγραφικό πλάτος όπως αυτό των Χανίων (Γ.π: 35,2B Γ.μ: 23,9A) παρατηρούμαι ότι ο ήλιος βρίσκεται υψηλά στον ουράνιο θόλο αλλά για μικρότερη διάρκεια απο ότι στο Oslo.



Σχήμα 3.3: Ηλιακός χάρτης Libreville

Για να έχουμε ένα επαρκές δείγμα, πρέπει να παρουσιάσουμε και μια τρίτη ακραία θέση. Στην πόλη Libreville της Gabon η οποία βρίσκεται πάνω στον ισημερινό (Γ.π: 0,2B Γ.μ: 9,5A) παρατηρούμε ότι ο ήλιος από τον Ιούλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο πραγματοποιεί μια πορεία στο βόρειο ημισφαίριο ενώ από τον Σεπτέμβρη μέχρι τον Δεκέμβρη στο νότιο. Και στις δυο περιπτώσεις ο ήλιος στο συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος βρίσκεται πολύ υψηλά στον ουράνιο θόλο.

Γενικά παρατηρούμε ότι ο ήλιος το μεσημέρι τις 21 Δεκεμβρίου βρίσκεται σε ύψος  $67^\circ$  ενώ την αντίστοιχη μέρα στο Oslo βρίσκεται σε ύψος  $7^\circ$ . Η διάφορα ύψους όπως φαίνετε είναι τεραστία αλλά μεγάλη είναι επίσης και η διακύμανση που παρουσιάζει το ύψος στην κάθε περιοχή. Συγκεκριμένα κοντά στον ισημερινό έχουμε μια μεταβολή του ηλιακού ύψους τις τάξεως των  $30^\circ$  κατά την διάρκεια του θερινού ηλιοστασίου ενώ στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη η μεταβολή αυτή φτάνει τις  $50^\circ$ .

### **3.4 Τύποι οδηγών**

#### **3.4.1 Ενεργοί trackers**

Οι ενεργοί trackers χρησιμοποιούν κινητήρες και ταχύτητες για να κατευθύνουν το πλαίσιο στην ηλιακή κατεύθυνση που ορίζει ο ελεγκτής. Οι ενεργοί trackers δυο αξόνων χρησιμοποιούνται επίσης για τον προσανατολισμό κινούμενων κάτοπτρων όπου αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία έτσι ώστε να την απορροφήσει ο κεντρικός σταθμός ενέργειας. Μιας και το κάθε κάτοπτρο σε ένα μεγάλο πεδίο θα έχει διαφορετικό προσανατολισμό χρειαζόμαστε ελεγχόμενο προγραμματισμό μέσω ενός κεντρικού υπολογιστικού συστήματος, το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να τερματίσουμε το σύστημα όταν κριθεί αναγκαίο.

#### **3.4.2. Παθητικοί trackers**

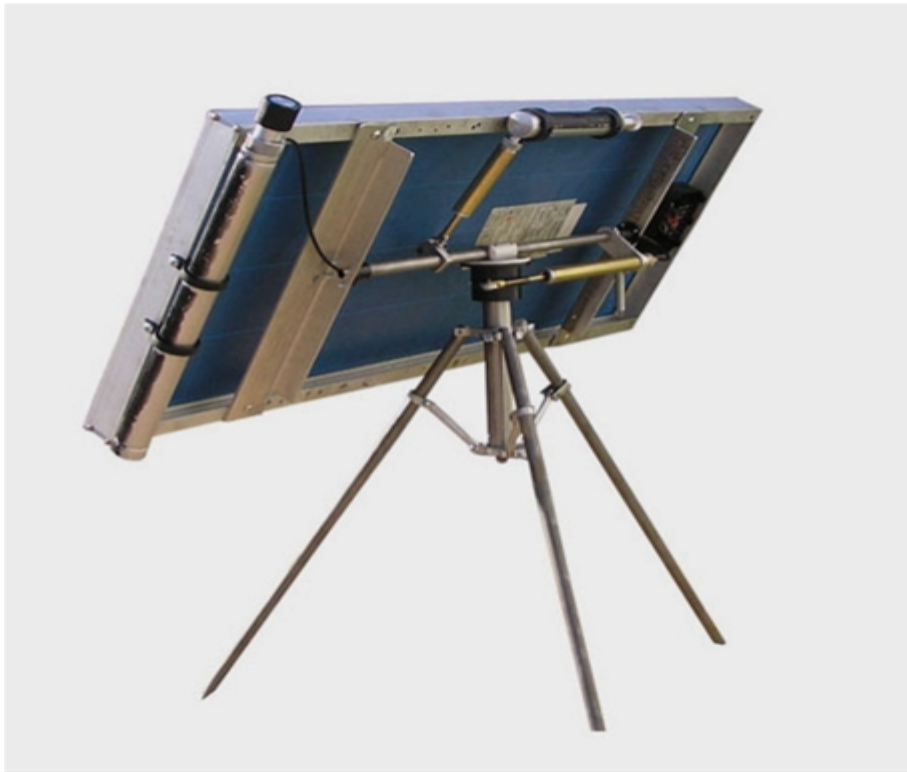
Οι παθητικοί trackers χρησιμοποιούν ένα συμπυκνωμένο ρευστό με χαμηλό σημείο βρασμού για το σωστό προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών. Η ηλιακή θερμότητα δημιουργεί αύξηση της πίεσης στο χώρο του ρευστού με αποτέλεσμα τη μετατόπιση του συστήματος μέχρι να αποκατασταθεί ξανά ισορροπία (Εικόνα 3.5.α,β). Καθώς ο ήλιος κινείται ο tracker μετατοπίζεται κατά  $15^\circ$  την ώρα αναζητώντας το σωστό



σημείο ισορροπίας. Μιας και αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιεί μεθόδους προσανατολισμού οι οποίοι δεν είναι ακριβείς, δεν είναι εφαρμόσιμη σε ορισμένους τύπους συλλεκτών αλλά λειτουργεί για τα κοινά Φ/Β πλαίσια. Οι οδηγοί αυτοί θα έχουν ιξώδεις διατάξεις απόσβεσης για να αποτρέψουν την υπερκινητικότητα του συστήματος από ριπές άνεμου. Οι Shader/reflectors χρησιμοποιούνται για να αντανακλούν την πρόωμη πρωινή ακτινοβολία έτσι ώστε να θέτουν το σύστημα σε λειτουργία, και να το στρέφουν προς την ανατολή, κάτι το οποίο μπορεί να διαρκέσει μέχρι και μια ώρα.

Εικόνα 3.5.α: Tracker με παθητικό σύστημα κίνησης (εμπρόσθια όψη).





Εικόνα 3.5.β: Tracker με παθητικό σύστημα κίνησης (πίσω όψη).

### 3.4.3. Χρονολογικοί trackers

Ένας tracker χρονολογικής διάταξης αλληλεπιδρά με την κίνηση της γης γυρνώντας με τον ίδιο τρόπο αλλά με αντίθετη κατεύθυνση. Καθώς η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο, η θέση του ήλιου αλλάζει σε σχέση με την γη κατά  $360^\circ$  τον χρόνο η ανά 365,24 μέρες. Ένας χρονολογικός tracker είναι ένας πολύ απλός και όμως πολύ αποτελεσματικός μηχανισμός που ακολουθεί τον ήλιο στα τυφλά βάσει της ώρας. Ο μηχανισμός κίνησης μπορεί να είναι ένα απλός κινητήρας ο οποίος στρέφει το πλαίσιο με αργό ρυθμό τις τάξεως των  $15^\circ$  την ώρα. Θεωρητικά θα μπορούσε να κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον άξονα του αν αυτό του επιτρεπότανε από την κατασκευή. Επίσης μπορεί να ρυθμιστεί να επιστρέφει στην αρχική του θέση μετά την δύση του ήλιου.

### 3.5 Μελέτες και η κατασκευή τους.

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έχει πραγματοποιηθεί για να ερευνηθεί η βελτίωση της απόδοσης χρησιμοποιώντας tracking δυο αξόνων. Ο Barakat [8] σχεδίασε ένα



σύστημα δυο αξόνων με σύστημα κλειστού βρόχου και με πολύπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Ο Neville [9] παρουσίασε μια θεωρητική συγκριτική μελέτη ανάμεσα στην διαθέσιμη ενέργεια ενός συστήματος δυο αξόνων, ενός tracker ανατολής-δύσης και ενός σταθερού Φ/Β. Οι Hession και Bonwick [10] εισήγαγαν ένα σύστημα εντοπισμού του ηλίου για χρήση με διαφόρους συλλέκτες ή πλατφόρμες. Το σύστημα χρησιμοποιούσε αναλογικές καθώς και ψηφιακές τεχνικές με ήλιο-ευαίσθητα Φώτο τρανζίστορ όπου επέτρεπαν την ανάλυση της θέσης του ηλίου με ακρίβεια καλύτερη της 0.1°. Ο Brunottr [11] παρουσίασε ένα πρωτότυπο φωτοβολταϊκό tracker δυο αξόνων με επίπεδα συγκέντρωσης έως και 300X με εντοπισμό ενός άξονα. Τέτοιου είδους συγκεντρωτές είναι πολλά υποσχόμενοι για την μείωση του κόστους της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας. Τέλος ο Abdallah [12] σχεδίασε και κατασκεύασε ένα σύστημα δυο αξόνων με PLC. Ένα τέτοιο σύστημα χαρακτηρίζεται από μια σχετικά απλή ηλεκτρομηχανική εγκατάσταση, κάτι το οποίο μειώνει το κόστος συντήρησης και την πιθανότητα αποτυχίας. Επίσης τέτοιου είδους συστήματα μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν και να συναρμολογηθούν.

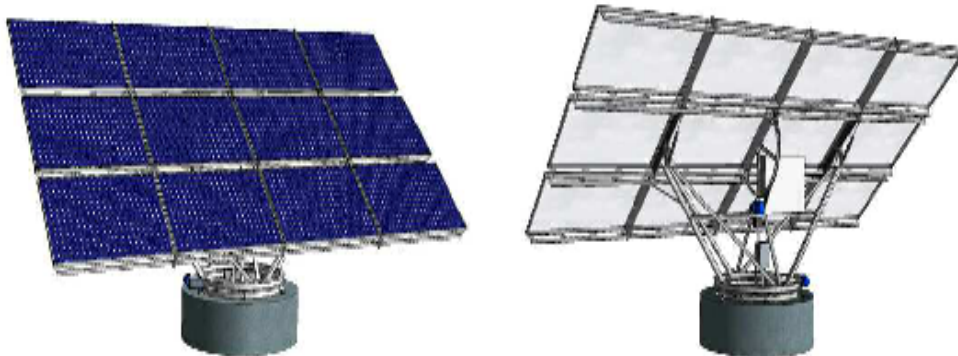
### **3.6 Εμπορικές εφαρμογές.**

Η αγορά φ/β στοιχείων την τελευταία πενταετία είναι από τις πιο αναπτυσσόμενες αγορές στον κόσμο. Απέραντες εκτάσεις στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία καλύπτονται με φ/β πλαίσια που παράγουν εκατοντάδες χιλιάδες MW. Όπως είναι αναμενόμενο αναζητούνται συνεχώς τρόποι βελτίωσης της απόδοσης και όπου επιτρέπετε από τις γεωγραφικές και καιρικές συνθήκες προτιμώνται τα περιστρεφόμενα φ/β.



Εικόνα 3.6: Φ/Β εγκατάσταση με trackers στην Γερμανία

Συγκεκριμένα η γερμανική εταιρεία Solon έχει αναπτύξει tracker φ/β (Εικόνα 3.7) με ονομαστική ισχύ  $9100 W_p$  όπου αποτελείτε από δυο τρι-φασικούς κινητήρες συνεχούς ρεύματος, έχει κίνηση σε δυο άξονες είναι δηλαδή διάταξης αζιμουθίου – ύψους και η κάθε συστοιχία αποτελείται από 12 συνδεδεμένα πλαίσια με συνολική επιφάνεια  $52.7 \mu^2$



Εικόνα 3.7: Tracker της εταιρίας solon.

Ένα άλλο παράδειγμα πιο κοντά στην παρούσα πτυχιακή, είναι ο tracker που έχει αναπτύξει η εταιρεία conergy με εύρος κίνησης  $90^\circ$  έναν κινητήρα τάσεως 12V και ονομαστικής ισχύος  $1300 W_p$  (Εικόνα 3.7). Όπως αναφέρει η εταιρεία η απόδοση με το συγκεκριμένο μοντέλο βελτιώνετε κατά μέσο όρο 25% κατά την διάρκεια του έτους και 55% κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.



Εικόνα 3.8: Tracker της εταιρίας conergy.

Power (MWp)	Country	Location	On-grid since
20	Spain	Jumilla	2007
20	Spain	Beneixama	2007
14	USA	Nellis, NV	2007
13,8	Spain	Salamanca	2007
12,7	Spain	Lobosillo	2007
12	Germany	Erlasee / Arnstein	2006
11	Portugal	Serpa	2007
10,35 (16,1 MW <sup>***</sup> )	Germany	Brandis *	2007
10	Germany	Pocking	2006
9,55	Spain	Milagro	2007
8,76	Spain	Viana	2007
8,4	Germany	Göttelbom **	2004 – 2007
8,22	USA	San Luis Valley, Alamosa, CO	2007
6,3	Germany	Mühlhausen	2004
6,277	Spain	Aldea del Conde	2007
6	Spain	Olmedilla	2007
6	Germany	Doberschütz	2007
5,8	Spain	Darro	2007
5,568	Germany	Oberottmarshausen	2007
5,27	Germany	Miegersbach	2005
5,21	Japan	Kameyama	2006
5,076	Germany	Kleinaitingen	2007
5,04	Spain	Alvarado	2007
5	Germany	Thierhaupten	2007
5	Spain	Builas	2007

Πίνακας 3.2: Οι μεγαλύτερες Φ/Β εγκαταστάσεις στον κόσμο μέχρι και το 2007

Όπως βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα η εγκατεστημένη ισχύς μέχρι τα τέλη του 2007 στο μεγαλύτερο φ/β πάρκο έφτανε τα 20MW<sub>p</sub>. Εννέα μόνο μήνες μετά τα δεδομένα έχουν αλλάξει ραγδαία συγκριτικά με τις προηγούμενες χρονιές. Η εξέλιξη και οι εγκαταστάσεις φ/β ανά τον κόσμο ακολουθούν γεωμετρική πρόοδο.

Η μεγαλύτερη φ/β εγκατάσταση στον κόσμο τον Σεπτέμβρη του 2008 ήταν ονομαστικής ισχύος 40 MW. Τα 550.000 φωτοβολταϊκά πλαίσια λεπτού υμενίου (thin film) είναι εγκατεστημένα σε μια παλιά αεροπορική βάση ανατολικά του Leirzig στην Γερμανία. Το φωτοβολταϊκό πάρκο αυτό καλύπτει 2 Km<sup>2</sup> και παράγει ενέργεια ικανή να καλυφθούν οι ανάγκες 40,000 κατοικιών.

Όσον αφορά τους trackers η μεγαλύτερη φ/β εγκατάσταση στον κόσμο η οποία παράγει 715.000 kWh τον χρόνο και προσδίδει κέρδη πάνω από 400.000 ευρώ βρίσκεται στην Ισπανία. Συγκεκριμένα στην περιοχή της Casabermaja έχουν εγκατασταθεί 150 κατασκευές εντοπισμού (trackers) με κίνηση σε δυο άξονες που



αποτελούνται από 4.500 πλαίσια. Ο μηχανισμός των trackers αποτελείται από καινούργιο καινοτόμο υδραυλικό σύστημα κίνησης, το οποίο αντικαθιστά τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Το σύστημα αυτό που αποτελεί πατέντα της εταιρίας Felix Gil, κινεί τις συστοιχίες σε ομάδες των 10 κάτι που έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερη κατανάλωση για την κίνηση των tracker και απόδοση μεγαλύτερη από 40% κάτι που μεταφράζεται σε κέρδος τις τάξεως των 5000 ευρώ τον χρόνο. Από την συνολική εγκατάσταση τροφοδοτούνται με ρεύμα 250 κατοικίες κάτι που εξοικονομεί ενέργεια και δεν εκπέμπονται τελικά στην ατμόσφαιρα 430 τόνοι διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>, 2200 κιλά διοξειδίου του θείου SO<sub>2</sub> και 2800 κιλά οξειδίου του αζώτου NO<sub>x</sub>.



Εικόνα 3.9 :Φ/Β πάρκο στο Caceres (Ισπανία)

Στην ίδια χώρα και λίγο πιο βόρεια βρίσκετε ένα εξίσου μεγάλο φ/β πάρκο. Συγκεκριμένα βρίσκετε στην επαρχία του Almaraz - CACERES και είναι ένα από τα μεγαλύτερα πάρκα στην Ευρώπη. (Σχήμα 3.8). Το ηλιακό πάρκο των 20 MW αποτελείται από 2000 εγκαταστάσεις των 11 kW<sub>p</sub> με πλαίσια της εταιρίας MECASOLAR. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά της εγκατάστασης των 11 kW <sub>p</sub>	
Ισχύς αιχμής των πλαισίων	11 kW <sub>p</sub>
Μέγιστη απόδοση της επένδυσης	94% - 96%
Ελάχιστη απόδοση της επένδυσης	85%
Σύστημα εντοπισμού	2 αξόνων
Βελτίωση απόδοσης	35%
Αριθμός trackers / ισχύς	10 / 110 kW <sub>p</sub>
Εγγύηση	35 Χρόνια
Έλεγχος της παραγωγής	Μέσω διαδικτύου

Πίνακας 3.2 : Τεχνικά Χαρακτηριστικά της εγκατάστασης

### 3.7 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Στα πλεονεκτήματα του κινητού συγκαταλέγετε η παραπάνω ενέργεια που παράγει σε σχέση με αυτήν του σταθερού. Με την ημερήσια παρακολούθηση του ήλιου έχουμε μια βελτίωση της τάξεως του 40%. Επίσης η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει καθ' όλη την διάρκεια τις μέρας κάθετα στο επίπεδο της επιφάνειας του πλαισίου. Αυτό συγκαταλέγεται στα πλεονεκτήματα μιας και έτσι αποφεύγονται οι αντανάκλασεις που συνήθως δημιουργούνται με την υπό γωνία πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ως μειονεκτήματα θεωρούνται οι απώλειες ενέργειας που έχουμε για την λειτουργία του κινητήρα καθώς και ότι απαιτείται η αγορά πολλών παραπάνω εξαρτημάτων σε σχέση με το σταθερό. Οι trackers λόγω των μηχανικών μερών τους είναι πιο ευπαθείς σε ακραίες καιρικές συνθήκες.

Πλεονεκτήματα περιστρεφόμενου Φ/Β	Μειονεκτήματα περιστρεφόμενου Φ/Β
Επιπλέον ενέργεια έως 40%	Κατανάλωση ενέργειας κινητήρα
Μη ενοχλητικές αντανάκλασεις	Επιπλέον κόστος κατασκευής
	Ευπαθείς σε ακραίες καιρικές συνθήκες
	Συντήρηση
	Απαιτούν μεγαλύτερη έκταση εγκατάστασης

## 4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Πειραματική κατασκευή tracker Φ/Β αζιμουθιακής διάταξης με κίνηση σε έναν άξονα

#### 4.1 Εισαγωγή

Σε κάθε ερευνητικό ή κατασκευαστικό πρόγραμμα ή εργασία υπάρχει πάντα η πιθανότητα αποτυχίας ή αστοχίας των αποτελεσμάτων. Ποτέ δεν θα μπορούσαμε να είμαστε σίγουροι ότι η προσπάθειά μας θα στεφτεί με επιτυχία και αυτό άλλωστε είναι και η χαρά της έρευνας. Πόσο μάλλον όταν οι οικονομικοί πόροι είναι περιορισμένοι κάτι το οποίο στην προκειμένη περίπτωση μας ανάγκασε να στραφούμε σε λύσεις ασυνήθης και πρωτότυπες για την εκπλήρωση του σκοπού μας. Για την εργασίας μας λοιπόν, πέρα από το φ/β πλαίσιο και τα υλικά για την κατασκευή της βάσης στήριξης τα οποία μας παραχώρησε το ΤΕΙ Κρήτης για τον υπόλοιπο μηχανισμό έπρεπε να αυτοσχεδιάσουμε και μερικώς να αυτοχρηματοδοτήσουμε τα διάφορα μικρούλικά.

#### 4.2 Η βασική ιδέα της λειτουργίας

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας αυτής είναι η κατασκευή και η μελέτη tracker εντοπισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεργασίας του με φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ο tracker μας θα έχει κίνηση σε έναν άξονα και θα είναι αζιμουθιακής τοποθέτησης με προσανατολισμό προς τον νότο. Η γωνία κλίσης που επιλέχθηκε για το γεωγραφικό πλάτος των Χανίων είναι  $35^\circ$  και η μετάδοση της κίνησης θα γίνεται μηχανικά με ηλεκτρικό κινητήρα. Το πλαίσιο είναι της εταιρίας shell ισχύος αιχμής  $55 W_p$  και διαστάσεων  $0.33 \times 1.29m$ .

Η αιτία που περιστρέφει την κατασκευή είναι η διαφορά φωτεινότητας εκατέρωθεν του πλαισίου που προκαλείτε από την κίνηση του ηλίου. Η ιδέα για την κατασκευή της πλακέτας την οποία χρησιμοποιήσαμε αντλήθηκε από άρθρο του περιοδικού Ελέκτορ τεύχος Δεκεμβρίου '83 στο οποίο περιγράφετε η Θεοδωρόπουλος Ηλίας – Στρατάκης Γιάννης

δημιουργία πλακέτας για την κατεύθυνση ενός οχήματος μικρών διαστάσεων προς το φωτεινότερο σημείο του περιβάλλοντος του. Το αυτοκίνητο του άρθρου κινείται με κινητήρα μικρής ισχύος και η εντολή κίνησης δίνεται από φωτο-ευαίσθητες αντιστάσεις LDRS οι οποίες το οδηγούν στην αναζήτηση φωτός. Τη στιγμή που ένας από τους δυο αισθητήρες εντοπίσει μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία από τον άλλο, δίνετε εντολή από την πλακέτα στον κινητήρα να στραφεί, μέχρι να ισοροπήσει η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας και στους δυο αισθητήρες.

Το πλαίσιο της κατασκευής είναι τοποθετημένο σε άξονα στον οποίο με κατάλληλο σύστημα μετάδοσης θα μεταφέρετε η κίνηση από τον κινητήρα για την περιστροφή του. Ο άξονας με την σειρά του είναι τοποθετημένος πάνω σε μεταλλική βάση στήριξης με ρόδες για εύκολη μετακίνηση.

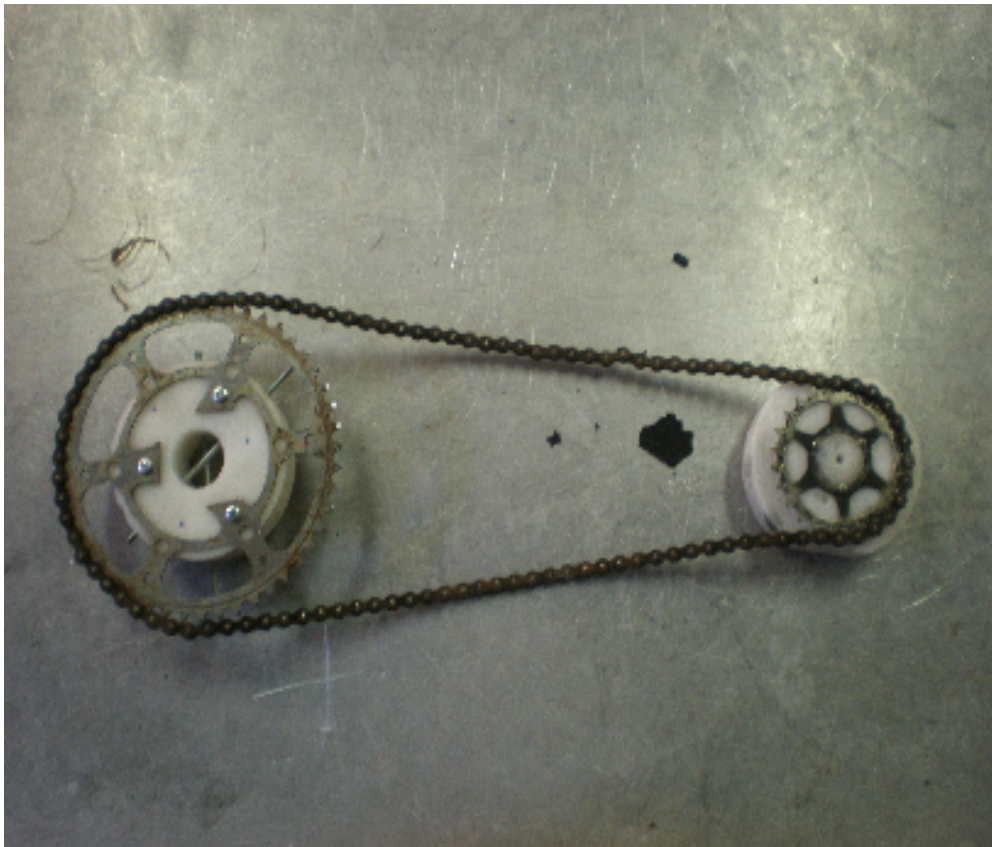
### **4.3 Αρχικές προσπάθειες**

→ Η βάση στήριξης είναι κατασκευασμένη από σιδερογωνιές (Εικόνα 4.9.1). Το πλαίσιο προσδίδει στη κατασκευή την επιθυμητή κλίση των 35°. Στο μπροστινό μέρος της βάσης έχουν προστεθεί δύο ρόδες για την ευκολότερη μετακίνησή του (Εικόνα 4.9.2). Η σύνδεση των επί μέρους τεμαχίων της βάσης έγινε με ηλεκτροσυγκόλληση.

→ Για την σύνδεση του πλαισίου με την βάση στήριξης ήταν αναγκαίο να βρεθούν εξαρτήματα με κυλινδρική διατομή τα οποία θα έχουν σταθερή βάση έτσι ώστε να γίνει η σύνδεση μεταξύ τους. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκαν έδρανα από τέντες, μια λύση οικονομική που εξυπηρετούσε απόλυτα τον σκοπό μας (Εικόνα 4.10.δ). Τα έδρανα αυτά είναι ο συνδετικός κρίκος του συστήματος στήριξης - περιστροφής του πλαισίου. Το πλαίσιο αρχικά είχε δυο βάσεις αλουμινίου σε σχήμα Π στην μια άκρη των οποίων συνδεόντουσαν τα έδρανα από τα οποία και περνούσε ο άξονας. Στον άξονα επίσης ήταν συνδεδεμένα άλλα δυο έδρανα με αντίθετο προσανατολισμό των οποίων η σταθερή άκρη συνδεόταν με την βάση στήριξης.

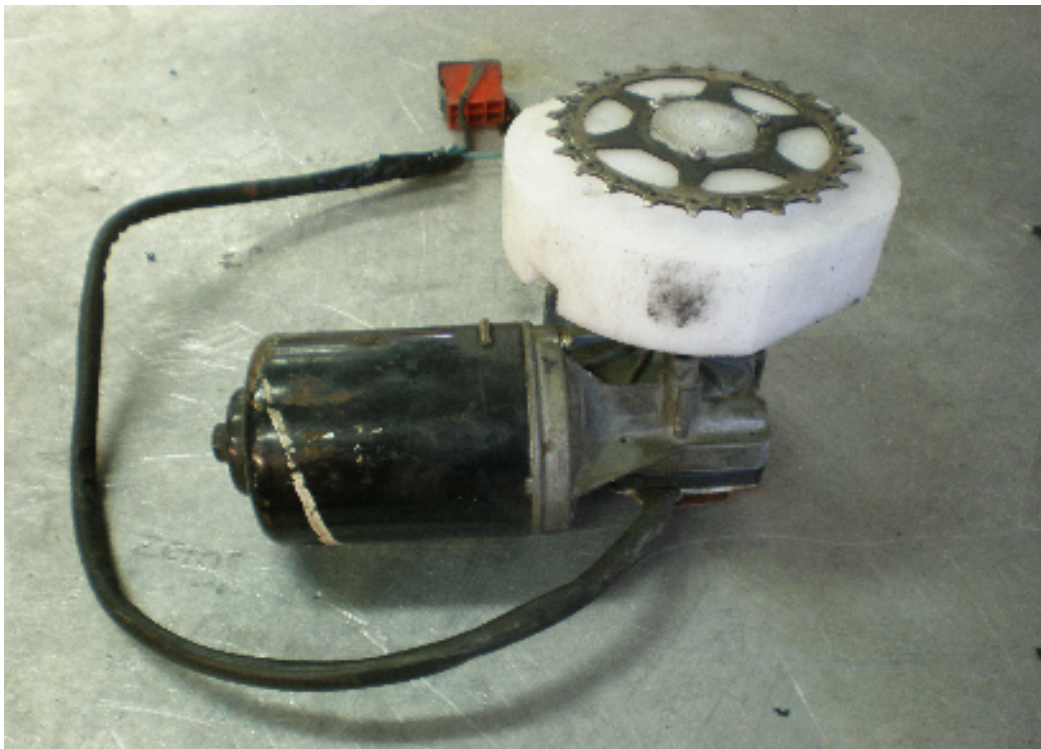


→ Για τον μηχανισμό κίνησης (*σύστημα μετάδοσης*) (Εικόνα 4.10.α.) επιλέξαμε να αναζητήσουμε ένα μεταχειρισμένο κινητήρα από υαλοκαθαριστήρες αυτοκινήτου τάσεως 12V DC. Στην συνέχεια και με την πολύτιμη βοήθεια του εργαστηρίου μηχανολογικών κατασκευών του ΤΕΙ επεξεργαστήκαμε στον τόρνο ένα κομμάτι τεφλον έτσι ώστε να εφαρμόζει στον άξονα του κινητήρα από την μια πλευρά και σε γρανάζι ποδηλάτου στην άλλη. Η τórνευση ήταν μια δύσκολη διεργασία η όποια απαιτούσε πολλές ώρες εργασίας μιας και έπρεπε να συναρμολογήσουμε δυο ανόμοια κομμάτια. Το τεφλον έπρεπε να επεξεργαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να τοποθετηθεί το γρανάζι μιας και σε εκείνο το στάδιο της μελέτης είχε επιλεγεί για την μετάδοση κίνησης γρανάζι και αλυσίδα από ποδήλατο (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Σύστημα μετάδοσης της αρχικής κατασκευής

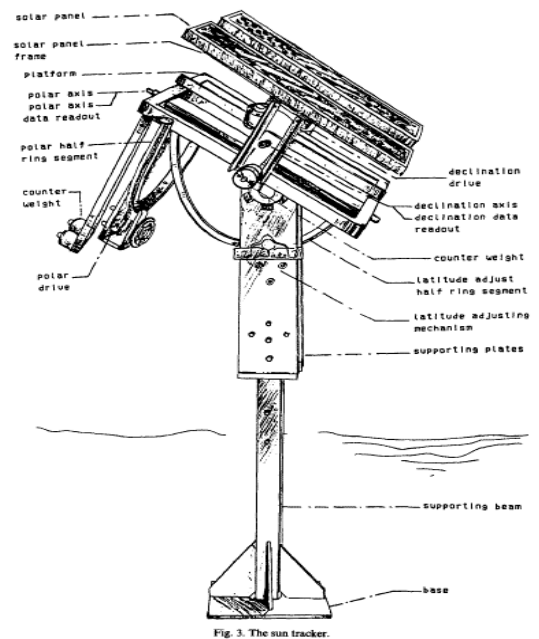
Ο σκοπός ήταν από τον κινητήρα με το επεξεργασμένο τεμάχιο να δένετε αλυσίδα η οποία κατέληγε σε γρανάζι προσκολλημένο στον άξονα κίνησης. Η δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε στο σημείο αυτό οφειλόντουσαν στο ότι έπρεπε να δημιουργηθεί διαμπερής τρύπα ακριβώς στο κέντρο του τεφλον χωρίς να επηρεαστεί η βάση στήριξης η όποια επίσης βρισκόταν στο κέντρο. Η λύση στο πρόβλημα βρέθηκε με την προσθήκη εξαρτήματος στον κινητήρα που μετατόπιζε την βάση στήριξης από το κέντρο σε ομόκεντρο κύκλο κοντά στο κέντρο. Στην συνέχεια έπρεπε να δοθεί μεγάλη προσοχή στο κεντράρισμα του κομματιού και στην σωστή κυκλική περιστροφή του. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.2. Δυστυχώς όμως λίγες μέρες μετά την ολοκλήρωση του μηχανισμού μετάδοσης της κίνησης ο κινητήρας κάηκε. Ολόκληρη η μέχρι τώρα κατασκευή είχε σχεδιαστεί με τον συγκεκριμένο κινητήρα κάτι που μας ανάγκασε να ξαναμελετήσουμε το σύστημα μετάδοσης και το σύστημα του άξονα από την αρχή. Αυτό θα το πραγματοποιούσαμε δημιουργώντας μια κατασκευή με χαμηλότερες ανάγκες ροπής στρέψης μιας και παρατηρήσαμε ότι η απόσταση του άξονα περιστροφής από το πλαίσιο δημιουργούσε υψηλές ροπές κάτι που πιθανότατα ήταν και η αιτία καταστροφής του κινητήρα.



Εικόνα 4.2:Κινητήρας αρχικής κατασκευής και επί μέρους κομμάτι του συστήματος μετάδοσης

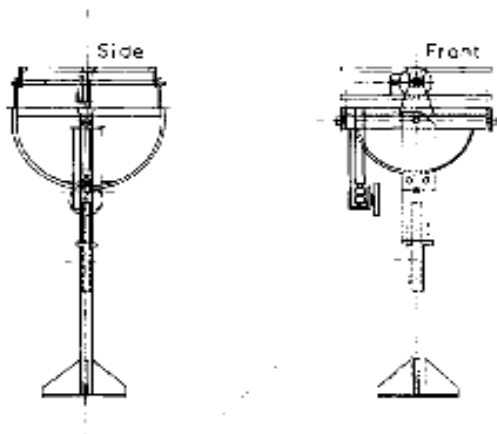
#### 4.4 Η τελική κατασκευή

Μετά την καταστροφή του κινητήρα το σύστημα μετάδοσης έπρεπε να επανασχεδιαστεί. Στο νέο σύστημα, θα έπρεπε ο άξονας περιστροφής να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πλαίσιο, για την μικρότερη ανάπτυξη ροπών. Μετά από έρευνα σε παρόμοιες εργασίες καταλήξαμε σε paper των F.M. Al-Naima και N.A. Yaghobian οι οποίοι μελέτησαν και κατασκεύασαν ένα σύστημα κίνησης σε δυο άξονες. Στην μελέτη τους [13] περιγράφουν μόνο το μηχανικό κομμάτι της κατασκευής τους (Σχήμα 4.3) από το οποίο και εμπνευστήκαμε το δικό μας σύστημα μετάδοσης.



Σχήμα 4.3: Κατασκευή tracker 2 αξόνων

Το σύστημα όπως φαίνεται στα σχήματα 4.3 και 4.4 αποτελείται από ένα ατσάλινο τετράγωνο πλαίσιο του 1m<sup>2</sup> στο οποίο είναι τοποθετημένος ο άξονας κίνησης και το πλαίσιο. Το πλαίσιο είναι στηριγμένο στον πολικό άξονα με δύο κυλινδρικά στηρίγματα. Η πλατφόρμα έχει ακόμα ένα κυκλικό τμήμα με την κίνηση στον άλλο άξονα. Το εύρος της κίνησης του είναι 46° στην κίνηση απ' την ανατολή μέχρι την δύση (από +23° έως και -23°) και 150° στην πολική κίνηση (από +75° έως και -75°).



Εικόνα 4.4: Πλάγια όψη

Με αφορμή την ανωτέρω κατασκευή, τοποθετήσαμε τον άξονα περιστροφής επάνω στο πλαίσιο και για την περιστροφή του, συνδέσαμε ομοαξονικά έναν τροχό ποδηλάτου. Η μετάδοση της κίνησης θα γινόταν με συρματόσχοινο το οποίο θα τυλιγόταν στον τροχό.

#### 4.4.1 Μηχανικά μέρη

Τα μηχανικά μέρη αποτελούνται από:

1. Την μεταλλική βάση στήριξης η οποία παρέμεινε ίδια από την αρχική κατασκευή.
2. Το σύστημα στήριξης – περιστροφής του πλαισίου, σε γενικές γραμμές παρέμεινε ως είχε. Η σημαντικότερη αλλαγή ήταν στις αλουμιένιες βάσεις η οποίες λόγω του σχήματος τους (Π) στήριζαν το πλαίσιο σε απόσταση από τον άξονα. Μια τέτοια απόσταση δεν ήταν επιθυμητή λόγω των αυξημένων ροπών που αναπτύσσονταν. Έτσι στον επανασχεδιασμό αφαιρέθηκαν και ο άξονας περιστροφής ήρθε σε απ' ευθείας επαφή με το πλαίσιο.
3. Το σύστημα μετάδοσης αποτελείται από: Τροχό ακτίνας 28 cm ο οποίος έχει συνδεθεί κατάλληλα με τον άξονα περιστροφής (ομοαξονικά) με την βοήθεια κατάλληλα τορνευμένου εξαρτήματος (Εικόνα 4.9.4 και 4.10.β.). Μεταχειρισμένο κινητήρα από ηλεκτρικό παράθυρο αυτοκινήτου τάσεως 12 Volt DC. Ο κινητήρας περιέχει τύμπανο στο οποίο ασφαλίζονται οι δυο άκρες του συρματόσχοινου και τυλιγονται γύρω από αυτό. Το συρματόσχοινο εν συνεχεία εφαρμόζει γύρω από τον τροχό (Εικόνα 4.10.α). Το συρματόσχοινο μεταφέρει την κίνηση από τον κινητήρα στον τροχό ο οποίος με την σειρά του την μεταφέρει στον άξονα περιστροφής του πλαισίου.
4. Βάση στήριξης κινητήρα: Ο κινητήρας είναι τοποθετημένος σε μια

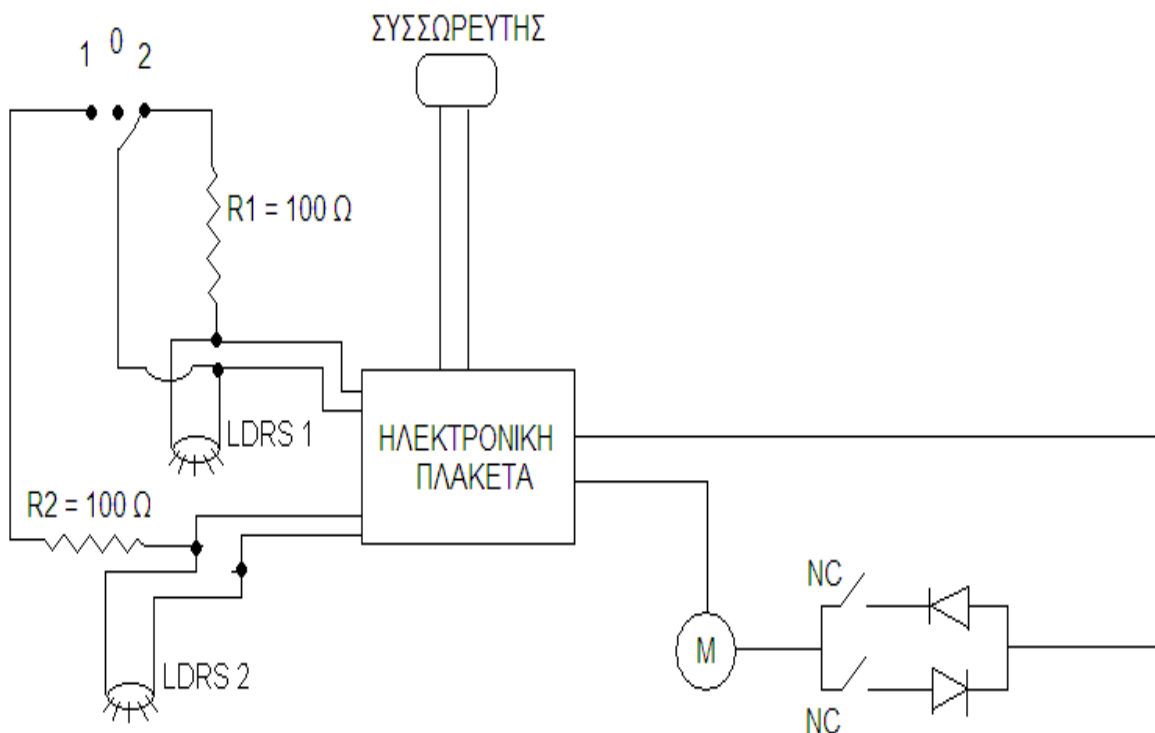
τριγωνική κατασκευή από λάμες σιδηρού και εξωτερικά της κατασκευής (Εικόνα 4.10.α).

#### 4.4.2 Ηλεκτρονικά μέρη - Λειτουργία

Τα ηλεκτρονικά μέρη αποτελούνται από:

- την πλακέτα (Εικόνα 4.10.β)
- της φωτοευαίσθητες αντιστάσεις (LDRS)
- τους διακόπτες ασφαλείας στις ακραίες θέσεις (NC)
- τον διακόπτη αυτόματης - χειροκίνητης λειτουργίας
- τον συσσωρευτή (Εικόνα 4.9.9.)

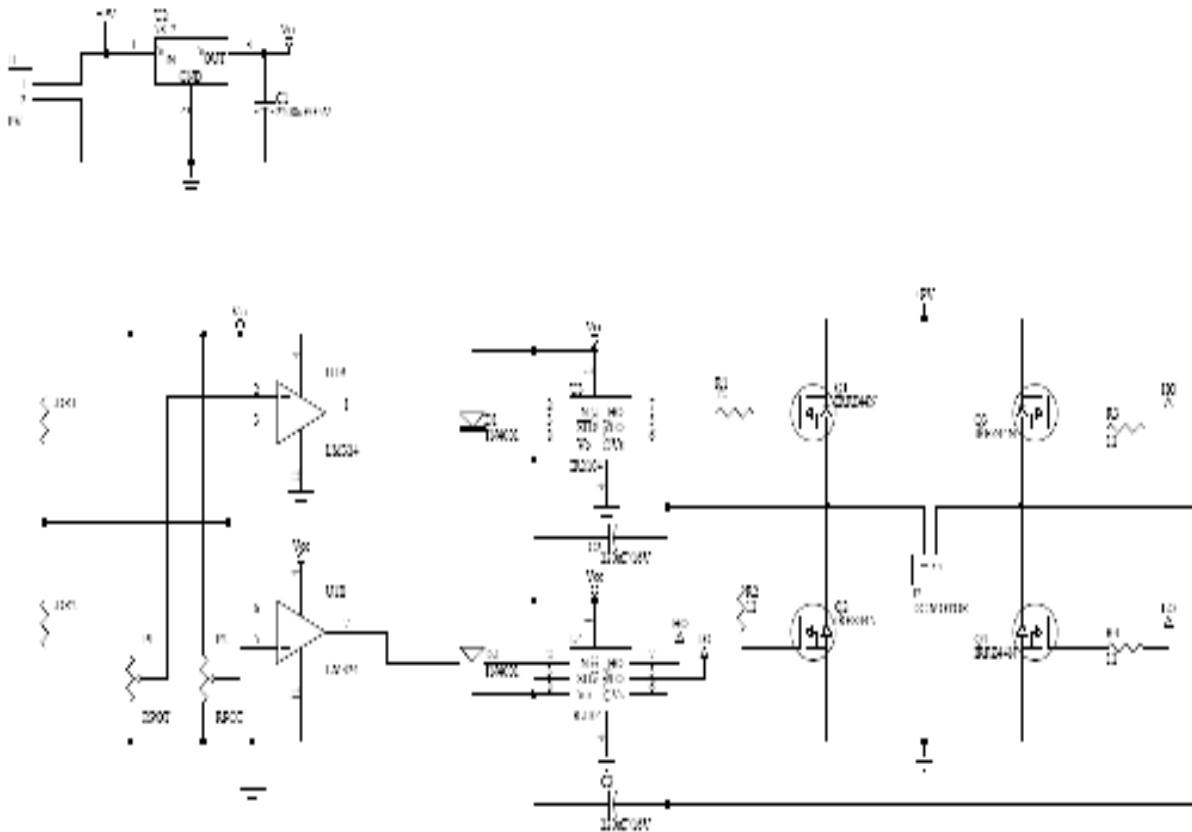
Η γενική λειτουργία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων της κατασκευής μας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.5: Γενικό διάγραμμα λειτουργίας

→ Η μονάδα από την οποία δίνονται οι εντολές για την λειτουργία του συστήματος μας είναι η ηλεκτρονική πλακέτα (Εικόνα 4.9.5 - 4.10.γ). Είναι συνδεδεμένη με τον συσσωρευτή από τον οποίο τροφοδοτείται. Στην πλακέτα είναι συνδεδεμένος και ο κινητήρας ο οποίος παίρνει εντολή από αυτή για δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη κίνηση με αλλαγή της πολικότητας. Δυο διακόπτες Normally Closed (NC) είναι τοποθετημένοι για να τερματίζουν την λειτουργία του tracker όταν αυτός τείνει να υπερβεί τις μέγιστες γωνίες στροφής. Οι γωνίες αυτές προκύπτουν από μέτρηση των μοιρών που δεν καλύπτει η κατασκευή μας.

Το σχήμα 4.6 παρουσιάζει το σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας μας.



Εικόνα 4.5: Κόκλωμα της πλακέτας





Σχ 4.7 Ημερησία λειτουργία tracker α) Ανατολή β) Μεσημέρι γ) Δύση

→ Οι αισθητήρες LDRS1, LDRS2 που αποτελούνται από φωτοευαίσθητες αντιστάσεις είναι τοποθετημένοι αντιδιαμετρικά μιας πλάκας αλουμινίου. Αν το φως χτύπη πλαγίως, τότε ένα από τα δύο LDRS δέχεται μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία από το άλλο. Το αποτέλεσμα είναι το κύκλωμα ηλεκτρονικού ελέγχου του κινητήρα να αλλάζει την θέση του tracker μέχρις ότου τα δυο LDRS να δέχονται το ίδιο ποσό ακτινοβολίας.

→ Για την σωστή θέση των αισθητήρων αρχικά τους τοποθετήσαμε σε αυτοσχέδιες αλουμινένιες βάσεις μέσα σε χάλκινα σωληνάρια. Οι βάσεις αυτές ήταν εκατέρωθεν του πλαισίου στο πάνω μέρος του. Λόγω της αντανάκλασης του ήλιου στο εσωτερικό των χάλκινων σωλήνων είχαμε ως αποτέλεσμα τον αποπροσανατολισμό της κατασκευής αντικαταστάθηκαν με αντίστοιχους πλαστικούς (Εικόνα 4.8).



*Εικόνα 4.8 Αρχική θέση αισθητήρων*



Η λειτουργία σε αυτήν την περίπτωση βελτιώθηκε αισθητά αλλά και πάλι το αποτέλεσμα δεν ήταν το επιθυμητό παρόλο που δοκιμάστηκαν διάφορα πιθανά ύψη.

→ Ο διακόπτης αυτόματης - χειροκίνητης λειτουργίας τριών θέσεων τοποθετήθηκε για να μπορούμε ανά πασα στιγμή να μετακινήσουμε το πλαίσιο σε οποιαδήποτε θέση θέλουμε, στην θέση 1 περιστρέφεται αριστερόστροφα στην θέση 2 δεξιόστροφα ενώ στην θέση 0 απενεργοποιείτε η χειροκίνητη λειτουργία και η εντολή κίνησης δίνετε αυτόματα με τους αισθητήρες.

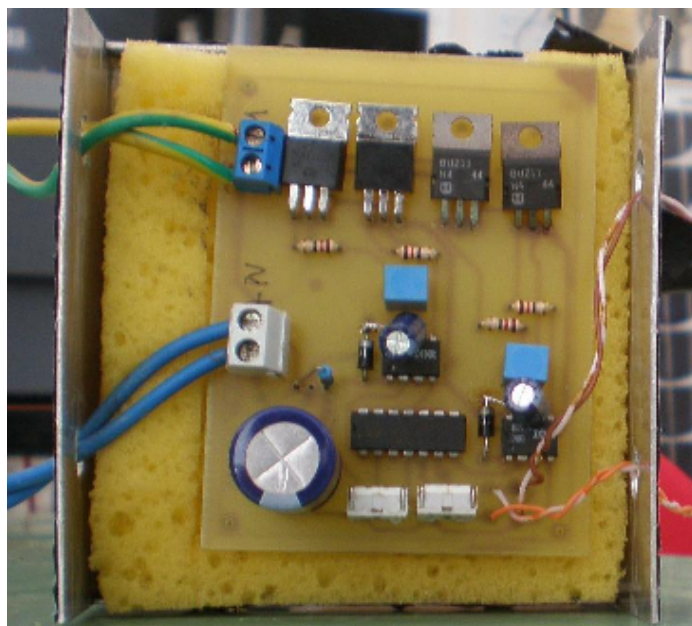
→ Τέλος οι διακόπτες NC είναι τοποθετημένοι στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής που πραγματοποιεί το φωτοβολταϊκό.



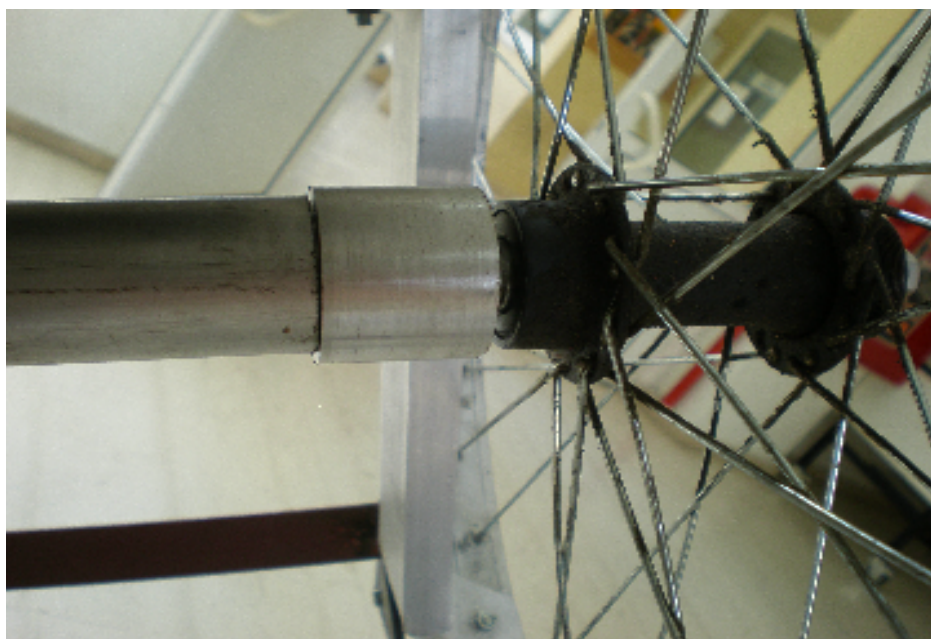
Εικόνα 4.9 Περιγραφή τελικής κατασκευής



α)

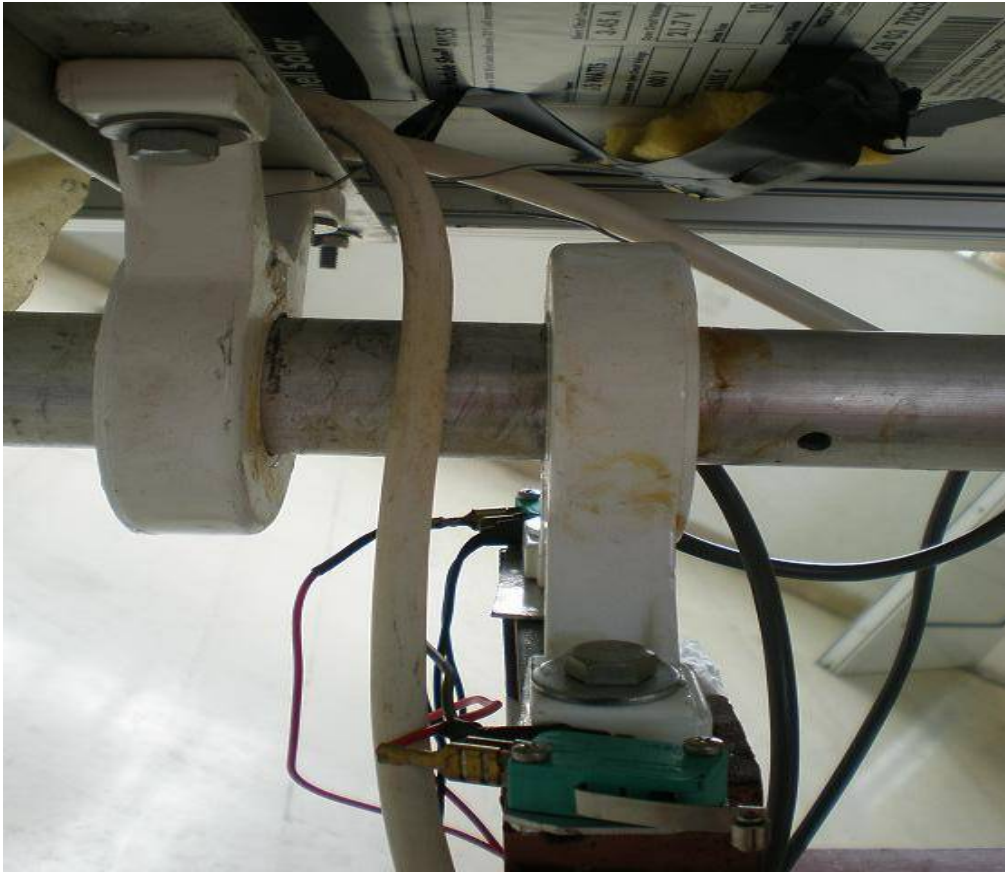


β)



γ)

δ)



Εικόνες 4.10 Επιμέρους κομμάτια α) Σύστημα μετάδοσης β) Συναρμογή άξονα - τροχού γ) Πλακέτα δ) έδρανα στήριξης - περιστροφής

## 5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Μετρήσεις αποτελέσματα

#### 5.1 Γενικά

Μετά την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης ξεκίνησε η διαδικασία των μετρήσεων. Οι μετρήσεις σταθερού και κινητού πάρθηκαν παράλληλα στις 25 Ιουνίου 2008. Η τοποθεσία στην οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις βρίσκεται στην νότια Ελλάδα και συγκεκριμένα στην πόλη των Χανίων στην Κρήτη. Το γεωγραφικό μήκος στην περιοχή των Χανίων είναι 24''02' και το πλάτος 35''30' ενώ ο ήλιος ανέτειλε στις 60° και σε ύψος 10° και έδυσε στις 300° και σε ύψος 2° .

#### 5.2 Όργανα μετρήσεως και βοηθητικός εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός μας αποτελείται από τα εξής:

Δύο μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ Shell ονομαστικής ισχύος 55W<sub>p</sub>.

Τρία πολύμετρα

Μεταβλητή αντίσταση (φορτίο κατανάλωσης)

Καλώδια σύνδεσης

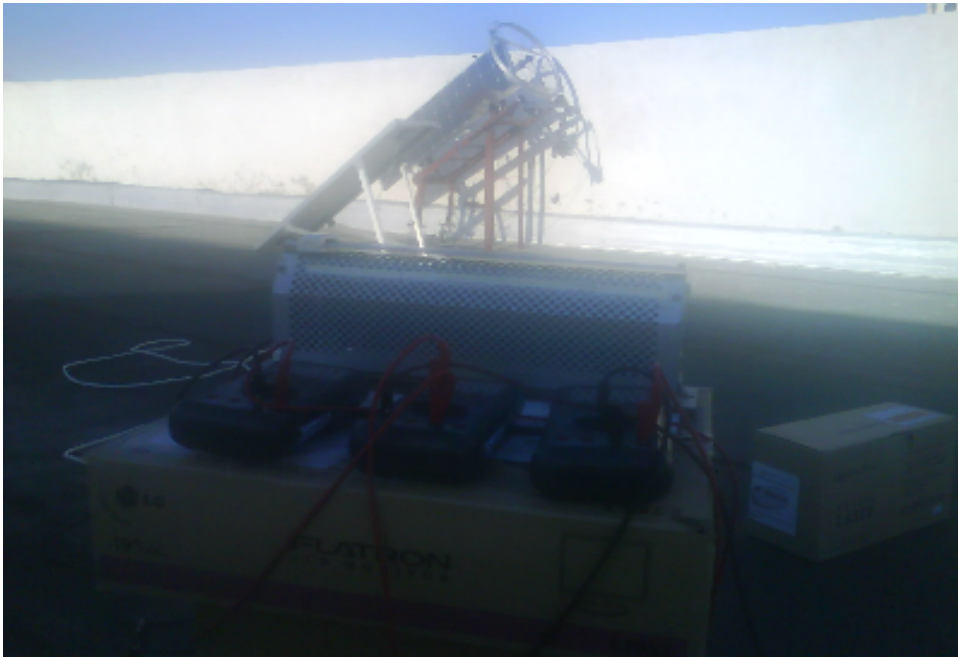
Πυρανόμετρο

Οι μετρήσεις παίρνονται ταυτόχρονα στο κινητό και στο σταθερό. Πραγματοποιούνται όποτε κινείται το φωτοβολταϊκό πάνελ ή ανά ελάχιστη συχνότητα δεκαπέντε λεπτών. Το φορτίο που εφαρμόσαμε ως κατανάλωση, αποτελείται από μία μεταβλητή ωμική αντίσταση (Εικόνα 5.1). Η τιμή της αντίστασης που εφαρμόσαμε ήταν αυτή της μέγιστης παραγόμενης ισχύος. Αυτή βρέθηκε από εκτεταμένες μετρήσεις διαφόρων φορτίων σε διάφορες ηλιακές ακτινοβολίες στο σταθερό φωτοβολταϊκό.



### 5.3 Μετρήσεις σταθερού Φ/Β

Αρχικά για να βρούμε την βέλτιστη τιμή της αντίστασης (max power point) μεταβάλλαμε κάθε φορά την αντίσταση μετρώντας την παραγόμενη ισχύ του πλαισίου. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για διάφορες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας 5.1

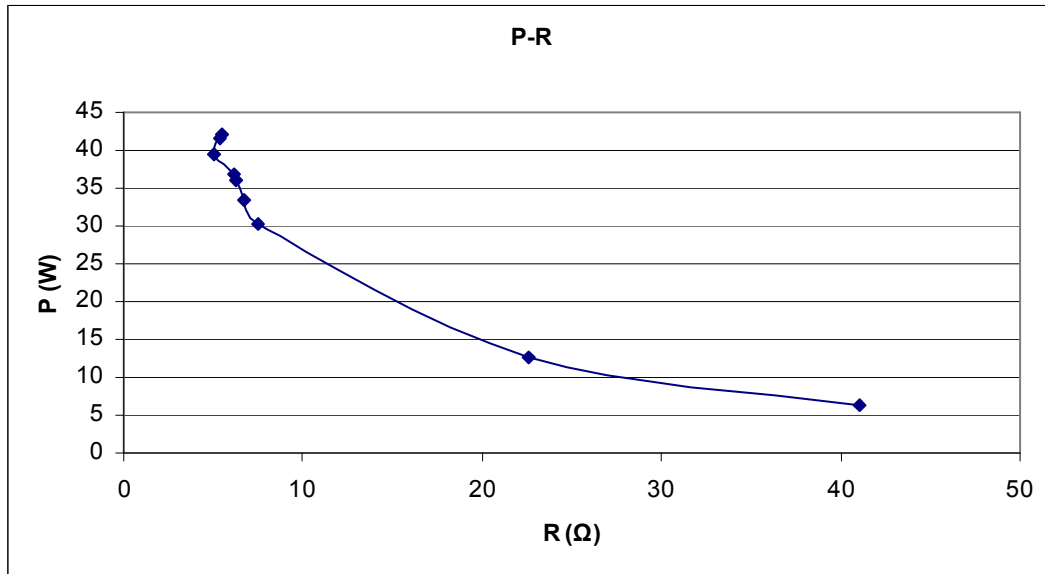


Εικόνα 5.1 Όργανα μετρήσεως κατά την διάρκεια των μετρήσεων

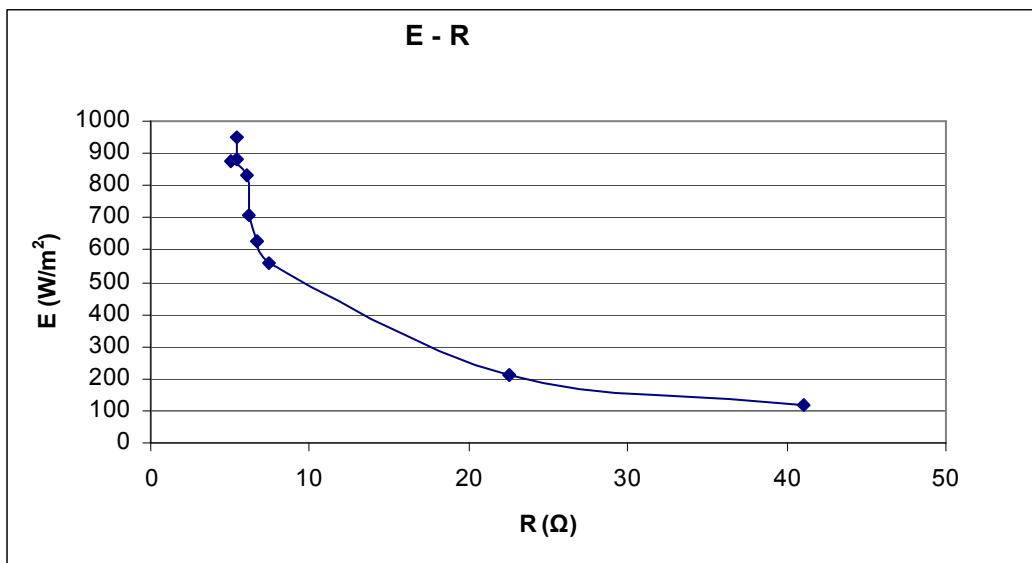
<b>E (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pmax (W)</b>	<b>R(Ω)</b>	<b>n</b>
117	6,24	41,0	0,12
209	12,75	22,6	0,14
561	30,15	7,4	0,12
628	33,45	6,7	0,12
706	36,15	6,2	0,12
834	36,75	6,1	0,10
874	39,58	5,0	0,10
883	41,97	5,4	0,11
949	41,55	5,4	0,10

Πίνακας 5.1: Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, ισχύος, αντιστάσεως και βαθμού απόδοσης σταθερού Φ/Β

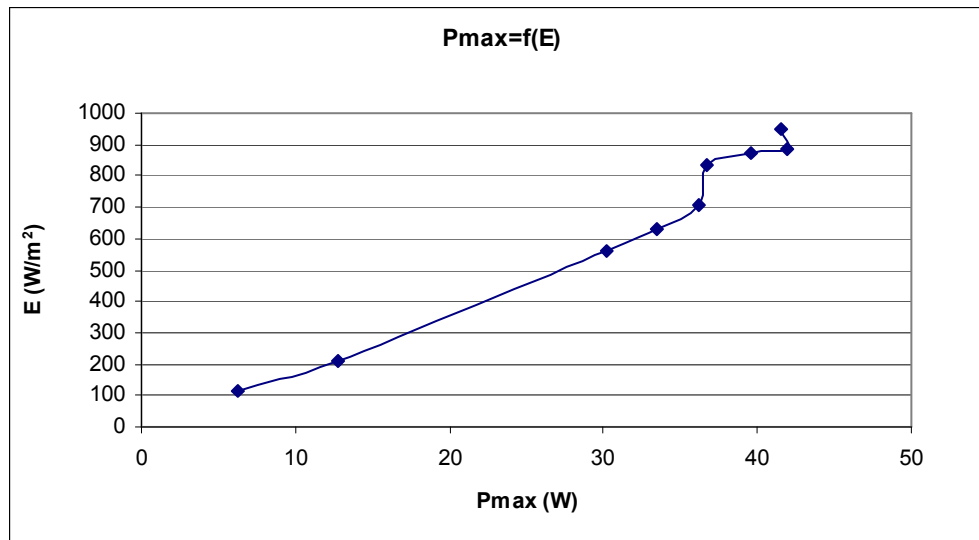
Μέσω αυτών των μετρήσεων προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα



Σχήμα 5.1 Διάγραμμα Αντίστασης - Ισχύος

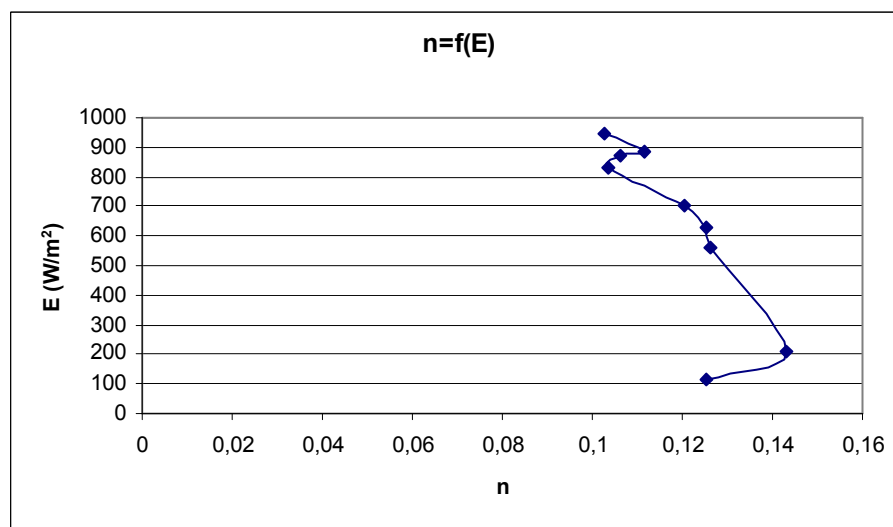


Σχήμα 5.2 Διάγραμμα Ηλιακής ακτινοβολίας - Αντίστασης



Σχήμα 5.3 Διάγραμμα Ισχύος - Ηλιακής ακτινοβολίας

Με την χρήση MPPT (Maximum power point tracker) οι μετρήσεις αυτές θα μπορούσαν να αποφευχθούν. Το εξάρτημα αυτό ρυθμίζει το φορτίο στην τιμή την οποία έχουμε μέγιστη ισχύ.



Σχήμα 5.4 Διάγραμμα Ηλιακής ακτινοβολίας - απόδοσης

Οι υπόλοιπες μετρήσεις ξεκίνησαν με την ανατολή του ήλιου στις 6.45 με συχνότητα δεκαπέντε λεπτών μέχρι την δύση του ηλίου και ώρα 20.30 (Πίνακας 5.2)

Χρόνος (min)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	R (Ω)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Joule)	E (Wh)
6:45	19,0	41,0	4,60	0,10	0,46	414,00	0,11500
7:00	44,2	41,0	6,50	0,15	0,98	877,50	0,24375
7:15	71,2	41,0	9,20	0,20	1,84	1.656,00	0,46000
7:30	101,2	41,0	12,25	0,28	3,43	3.087,00	0,85750
7:45	115,4	41,0	16,20	0,38	6,16	5.540,40	1,53900
8:00	175,0	28,0	15,28	0,54	8,25	7.426,08	2,06280
8:15	223,0	23,0	16,06	0,70	11,24	10.117,80	2,81050
8:30	254,5	20,0	16,30	0,80	13,04	11.736,00	3,26000
8:45	310,1	18,0	16,60	0,91	15,11	13.595,40	3,77650
9:00	353,6	15,0	16,38	1,07	17,53	15.773,94	4,38165
9:15	402,9	13,8	16,51	1,19	19,65	17.682,21	4,91173
9:30	458,8	11,8	16,19	1,39	22,50	20.253,69	5,62603
9:45	515,6	9,0	15,35	1,65	25,33	22.794,75	6,33188
10:00	553,7	7,4	14,45	1,84	26,59	23.929,20	6,64700
10:15	606,1	6,5	14,15	2,02	28,58	25.724,70	7,14575
10:30	638,7	6,5	14,67	2,12	31,10	27.990,36	7,77510
10:45	673,9	6,2	14,58	2,22	32,37	29.130,84	8,09190
11:00	715,5	6,2	14,95	2,28	34,09	30.677,40	8,52150
11:15	740,8	6,1	15,15	2,34	35,45	31.905,90	8,86275
11:30	770,1	6,1	15,32	2,33	35,70	32.126,04	8,92390
11:45	805,2	6,1	15,38	2,37	36,45	32.805,54	9,11265
12:00	816,4	6,1	15,59	2,46	38,35	34.516,26	9,58785
12:15	832,4	6,1	15,60	2,35	36,66	32.994,00	9,16500
12:30	840,4	6,1	15,84	2,38	37,70	33.929,28	9,42480
12:45	852,4	6,1	15,69	2,43	38,13	34.314,03	9,53168
13:00	856,5	6,1	15,83	2,39	37,83	34.050,33	9,45843
13:15	872,6	5,0	14,75	2,72	40,12	36.108,00	10,0300
13:30	866,1	5,0	14,75	2,70	39,83	35.842,50	9,95625
13:45	860,5	5,0	14,68	2,72	39,93	35.936,64	9,98240



Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών

14:00	858,1	6,1	15,49	2,45	37,95	34.155,45	9,48763
14:15	832,4	6,1	15,41	2,42	37,29	33.562,98	9,32305
14:30	830,0	6,1	15,48	2,39	37,00	33.297,48	9,24930
14:45	807,6	6,1	15,44	2,34	36,13	32.516,64	9,03240
15:00	772,5	6,1	14,95	2,45	36,63	32.964,75	9,15688
15:15	729,0	6,1	15,22	2,31	35,16	31.642,38	8,78955
15:30	688,0	6,1	14,97	2,25	33,68	30.314,25	8,42063
15:45	644,2	6,7	14,71	2,22	32,66	29.390,58	8,16405
16:00	621,6	6,7	14,83	2,08	30,85	27.761,76	7,71160
16:15	576,8	7,4	15,08	1,90	28,65	25.786,80	7,16300
16:30	515,6	9,0	15,50	1,67	25,89	23.296,50	6,47125
16:45	466,4	12,0	16,55	1,37	22,67	20.406,15	5,66838
17:00	417,7	12,0	16,21	1,31	21,24	19.111,59	5,30878
17:15	388,1	14,5	16,75	1,12	18,76	16.884,00	4,69000
17:30	333,2	16,0	16,49	1,00	16,49	14.841,00	4,12250
17:45	286,4	18,0	16,14	0,87	14,04	12.637,62	3,51045
18:00	216,1	22,0	15,81	0,69	10,91	9.818,01	2,72723
18:15	178,4	28,0	15,62	0,54	8,43	7.591,32	2,10870
18:30	138,2	36,0	14,60	0,39	5,69	5.124,60	1,42350
18:45	108,9	41,0	11,63	0,27	3,14	2.826,09	0,78503
19:00	89,8	41,0	18,67	0,43	8,03	7.225,29	2,00703
19:15	74,2	41,0	18,66	0,43	8,02	7.221,42	2,00595
19:30	62,0	41,0	18,62	0,43	8,01	7.205,94	2,00165
19:45	45,9	41,0	6,06	0,13	0,79	709,02	0,19695
20:00	27,1	41,0	4,57	0,10	0,46	411,30	0,11425
20:15	15,3	41,0	3,00	0,07	0,21	189,00	0,05250
20:30	4,9	41,0	1,60	0,03	0,05	43,20	0,01200

Πίνακας 5.2: Μετρήσεις σταθερού  $\phi/\beta$

## 5.4 Μετρήσεις Περιστρεφόμενου Φ/Β

Οι μετρήσεις του περιστρεφόμενου όπως φαίνονται στον πίνακα 5.3 πάρθηκαν ομοίως με αυτές του σταθερού

Χρόνος (min)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	R (Ω)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Joule)	E (Wh)
6:45	115,4	41,0	5,88	0,14	0,82	740,88	0,20580
7:00	251,0	20,0	18,43	0,90	16,59	14.928,30	4,14675
7:15	357,3	15,0	17,80	1,15	20,47	18.423,00	5,11750
7:30	449,1	12,0	17,00	1,46	24,82	22.338,00	6,20500
7:45	526,2	9,0	16,05	1,78	28,57	25.712,10	7,14225
8:00	658,2	7,0	14,55	2,05	29,83	26.844,75	7,45688
8:15	638,7	6,5	13,75	2,21	30,39	27.348,75	7,59688
8:30	671,5	6,2	14,58	2,27	33,10	29.786,94	8,27415
8:45	706,1	6,2	14,78	2,30	33,99	30.594,60	8,49850
9:00	740,8	6,1	14,79	2,35	34,76	31.280,85	8,68913
9:15	783,7	6,1	14,80	2,40	35,52	31.968,00	8,88000
9:30	796,4	6,1	15,06	2,40	36,14	32.529,60	9,03600
9:45	830,8	6,1	15,17	2,38	36,10	32.494,14	9,02615
10:00	850,0	6,1	15,38	2,40	36,91	33.220,80	9,22800
10:15	864,5	5,0	14,38	2,71	38,97	35.072,82	9,74245
10:30	869,3	5,0	14,50	2,72	39,44	35.496,00	9,86000
10:45	880,6	5,4	15,10	2,58	38,96	35.062,20	9,73950
11:00	887,9	5,4	15,00	2,64	39,60	35.640,00	9,90000
11:15	892,7	5,4	15,09	2,72	41,04	36.940,32	10,26120
11:30	900,8	5,4	15,20	2,66	40,43	36.388,80	10,10800
11:45	912,1	5,4	15,09	2,71	40,89	36.804,51	10,22348
12:00	908,9	5,4	15,50	2,72	42,16	37.944,00	10,54000
12:15	904,8	5,4	15,09	2,70	40,74	36.668,70	10,18575
12:30	900,8	5,4	15,42	2,71	41,79	37.609,38	10,44705
12:45	899,2	5,4	15,34	2,75	42,19	37.966,50	10,54625
13:00	896,8	5,4	15,50	2,70	41,85	37.665,00	10,46250
13:15	896,8	5,4	15,36	2,67	41,01	36.910,08	10,25280
13:30	880,6	5,4	15,21	2,69	40,91	36.823,41	10,22873
13:45	880,6	5,4	15,33	2,67	40,93	36.837,99	10,23278

Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειακών Τεχνολογιών

14:00	872,6	5,4	15,20	2,66	40,43	36.388,80	10,10800
14:15	856,5	5,0	14,67	2,75	40,34	36.308,25	10,08563
14:30	872,6	5,4	15,30	2,61	39,93	35.939,70	9,98325
14:45	866,9	5,0	14,41	2,69	38,76	34.886,61	9,69073
15:00	860,5	5,0	14,28	2,64	37,70	33.929,28	9,42480
15:15	850,8	6,1	15,75	2,43	38,27	34.445,25	9,56813
15:30	839,6	6,1	15,63	2,43	37,98	34.182,81	9,49523
15:45	833,2	6,1	16,00	2,39	38,24	34.416,00	9,56000
16:00	813,2	6,1	15,60	2,40	37,44	33.696,00	9,36000
16:15	801,2	6,1	14,22	2,36	33,56	30.203,28	8,38980
16:30	800,4	6,1	14,90	2,29	34,12	30.708,90	8,53025
16:45	789,2	6,1	14,57	2,23	32,49	29.241,99	8,12278
17:00	772,5	6,1	14,07	2,16	30,39	27.352,08	7,59780
17:15	743,2	6,1	13,51	2,11	28,51	25.655,49	7,12653
17:30	736,9	6,1	13,45	2,02	27,17	24.452,10	6,79225
17:45	709,2	6,2	13,08	1,94	25,38	22.837,68	6,34380
18:00	687,2	6,2	12,68	1,90	24,09	21.682,80	6,02300
18:15	646,5	6,5	12,65	1,82	23,02	20.720,70	5,75575
18:30	607,7	6,5	11,75	1,74	20,45	18.400,50	5,11125
18:45	557,6	7,4	12,58	1,61	20,25	18.228,42	5,06345
19:00	508,0	9,0	13,96	1,48	20,66	18.594,72	5,16520
19:15	432,6	12,0	16,24	1,31	21,27	19.146,96	5,31860
19:30	371,9	15,0	17,00	1,10	18,70	16.830,00	4,67500
19:45	290,0	18,0	17,43	0,93	16,21	14.588,91	4,05248
20:00	168,2	28,0	17,42	0,61	10,63	9.563,58	2,65655
20:15	77,3	41,0	17,56	0,41	7,20	6.479,64	1,79990
20:30	16,3	41,0	7,70	0,18	1,39	1.247,40	0,34650

Πίνακας 5.3: Μετρήσεις Περιστρεφόμενου Φ/Β

## 5.5 Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας κινητού Φ/Β - σταθερού Φ/Β - οριζοντίου επιπέδου

Χρόνος (min)	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας κινητού (W/m <sup>2</sup> )	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας σταθερού (W/m <sup>2</sup> )	Οριζοντίου επιπέδου (W/m <sup>2</sup> )
6:45	115,4	19,0	27,5
7:00	251,0	44,2	173,7
7:15	357,3	71,2	207,8
7:30	449,1	101,2	257,2
7:45	526,2	115,4	288,5
8:00	658,2	175,0	322,7
8:15	638,7	223,0	350,6
8:30	671,5	254,5	388,4
8:45	706,1	310,1	413,2
9:00	740,8	353,6	449,4
9:15	783,7	402,9	497,7
9:30	796,4	458,8	550,3
9:45	830,8	515,6	580,7
10:00	850,0	553,7	605,2
10:15	864,5	606,1	631,5
10:30	869,3	638,7	659,4
10:45	880,6	673,9	680,8
11:00	887,9	715,5	711,0
11:15	892,7	740,8	739,0
11:30	900,8	770,1	771,2
11:45	912,1	805,2	783,0
12:00	908,9	816,4	790,0
12:15	904,8	832,4	799,0
12:30	900,8	840,4	813,4
12:45	899,2	852,4	821,0
13:00	896,8	856,5	827,0
13:15	896,8	872,6	820,0
13:30	880,6	866,1	821,0
13:45	880,6	860,5	808,2
14:00	872,6	858,1	789,0

14:15	856,5	832,4	763,4
14:30	872,6	830,0	741,4
14:45	866,9	807,6	701,7
15:00	860,5	772,5	675,2
15:15	850,8	729,0	653,8
15:30	839,6	688,0	622,7
15:45	833,2	644,2	570,0
16:00	813,2	621,6	539,2
16:15	801,2	576,8	504,7
16:30	800,4	515,6	455,7
16:45	789,2	466,4	411,2
17:00	772,5	417,7	369,8
17:15	743,2	388,1	348,4
17:30	736,9	333,2	318,1
17:45	709,2	286,4	289,1
18:00	687,2	216,1	260,4
18:15	646,5	178,4	244,6
18:30	607,7	138,2	197,1
18:45	557,6	108,9	149,6
19:00	508,0	89,8	125,7
19:15	432,6	74,2	101,2
19:30	371,9	62,0	70,5
19:45	290,0	45,9	40,1
20:00	168,2	27,1	19,76
20:15	77,3	15,3	11,5
20:30	16,3	4,9	5,3

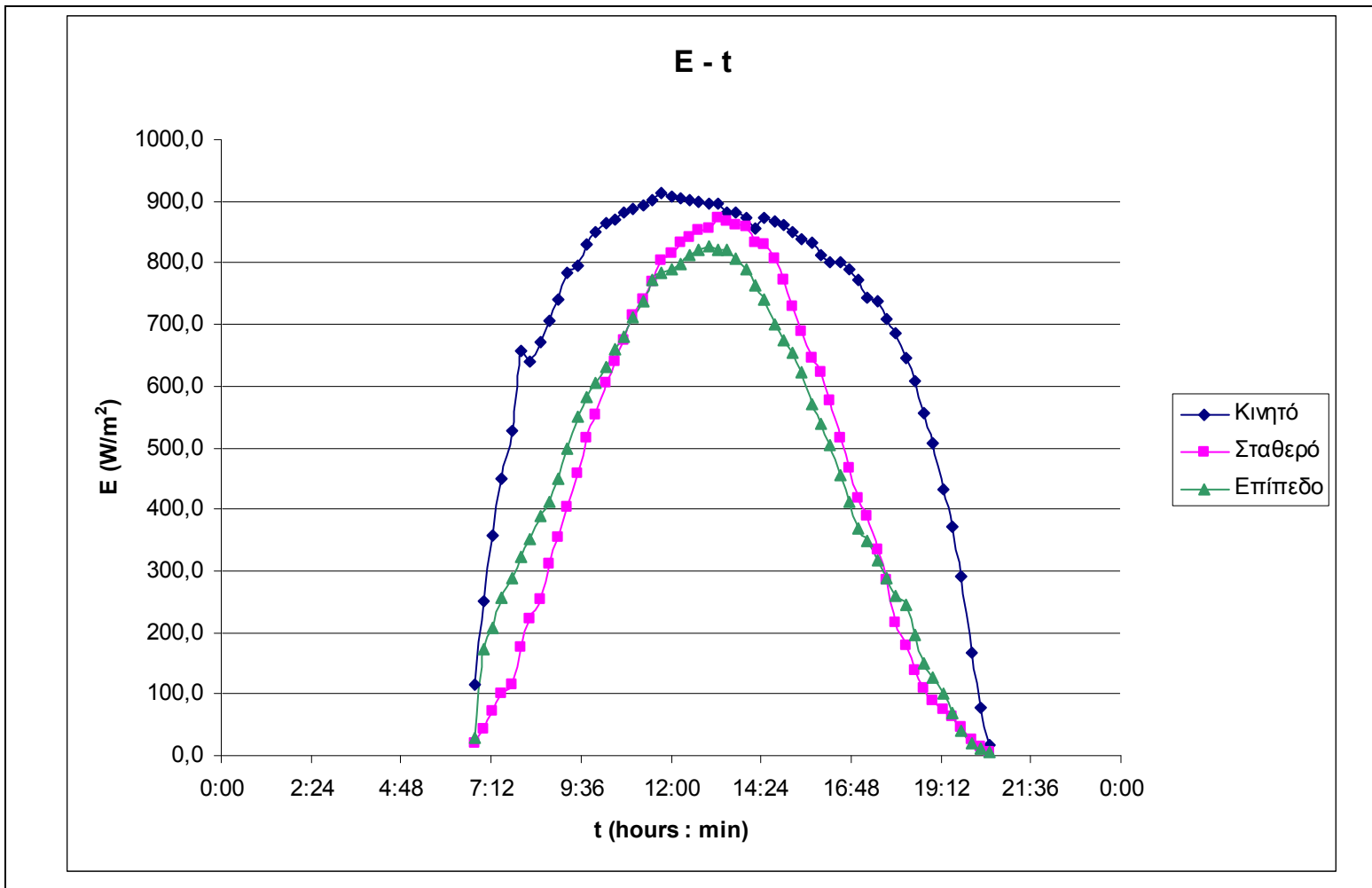
Πίνακας 5.4: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας κινητού Φ/Β – σταθερού Φ/Β – οριζοντίου επιπέδου



*Εικόνα 5.2 Κατά την διάρκεια των μετρήσεων τις πρωινές ώρες*

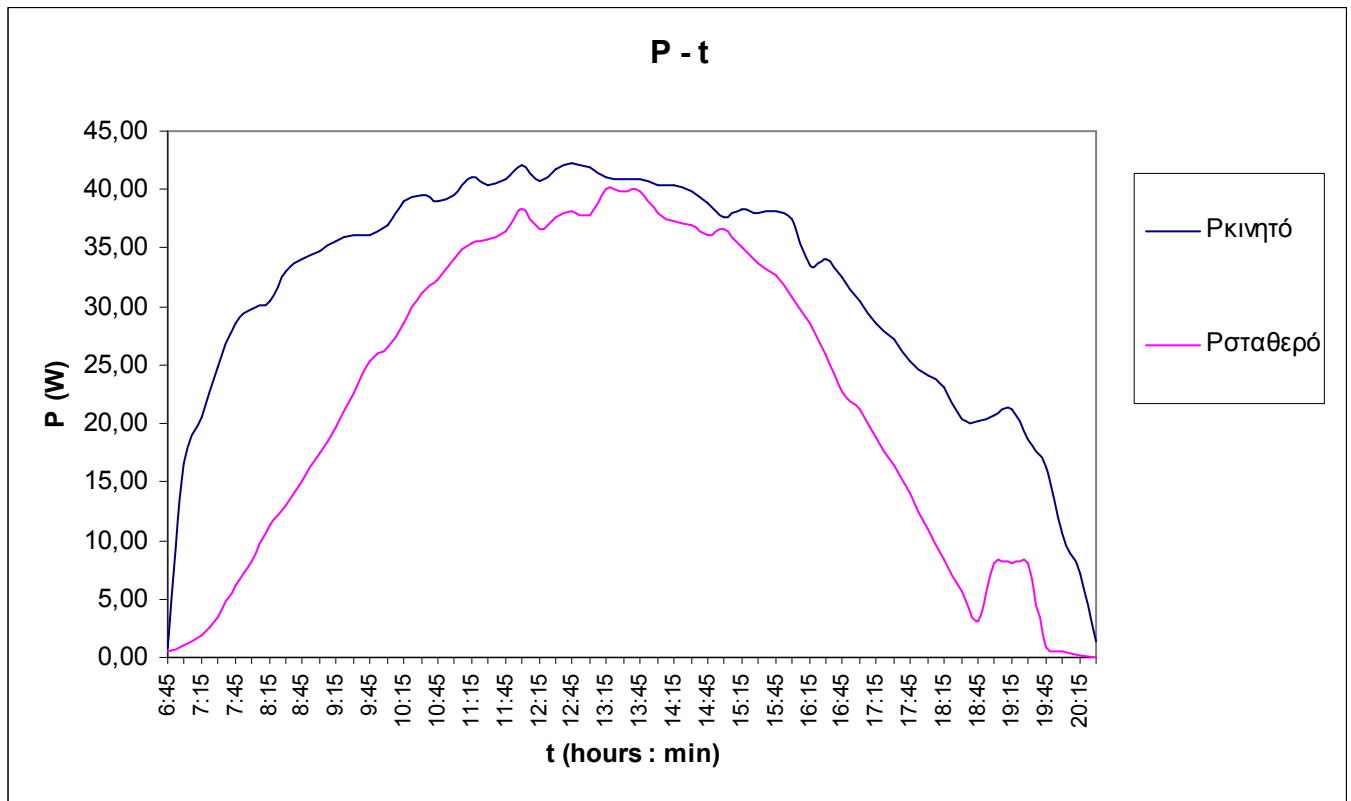
## **5.6 Σύγκριση Σταθερού – Περιστρεφόμενου**

Από τις προηγούμενες μετρήσεις είναι φανερό ότι υπάρχει διάφορα στην αποδιδόμενη ισχύ. Στην παράγραφο αυτή και μέσω των επόμενων γραφημάτων θα αναλύσουμε την διαφορά αυτή.



Σχήμα 5.5 Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κινητού  $\varphi/\beta$ , σταθερού  $\varphi/\beta$  και οριζόντιου επίπεδου.

Στο διάγραμμα (5.5) φαίνεται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του πλαισίου μας. Όπως βλέπουμε έχει μια σταδιακή άνοδο από τις πρώτες πρωινές ώρες μέχρι και το μεσημέρι όπου και σταθεροποιείτε στα 850  $W/m^2$  ενώ από το απόγευμα μέχρι την δύση μειώνετε σταδιακά.

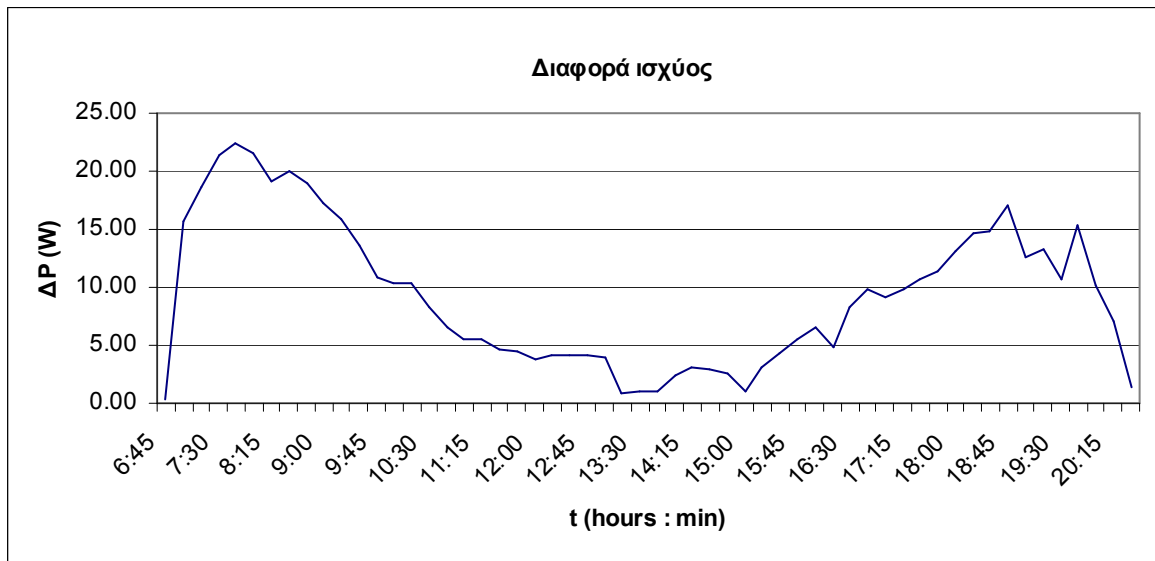


Σχήμα 5.6: Διάγραμμα Παραγόμενης ισχύος κινητού και σταθερού καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας

Απ' τις παραπάνω μετρήσεις συμπεραίνουμε αρκετά αυξημένη απόδοση στο περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό λόγω της αυξημένης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλαισίου. Η κίνηση του πλαισίου απ' την ανατολή ως τη δύση μας δίνει μια επιπλέον απόδοση της τάξεως του 40%.

Για την αναλυτικότερη μελέτη μπορούμε να διακρίνουμε περιπτώσεις από το πρωί μέχρι το μεσημέρι και από το μεσημέρι μέχρι το βράδυ. Παρατηρούμε ότι στην πρώτη περίπτωση έχουμε μια βελτίωση της απόδοσης της ισχύος της τάξεως του 39.7% ενώ στην δεύτερη περίπτωση έχουμε 40.3% βελτίωση.





Σχήμα 5.7 Διαφορά ισχύος σταθερού και κινητού

## 5.7 Κατανάλωση κινητήρα

Στην τελική του λειτουργία το όλο σύστημα έχει την δυνατότητα να στρέφεται σε ένα εύρος τιμών από  $-80^\circ$  έως  $+75^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο και η συνολική ενέργεια που καταναλώνει ο κινητήρας για την κίνηση είναι:

$$E_{\beta\eta\mu\alpha\tau\omega\nu} + E_{\epsilon\pi\iota\sigma\tau\rho\phi\eta\varsigma} + E_{\text{standby}} = 6,7 \text{ Wh}$$

Όπου:  $E_{\beta\eta\mu\alpha\tau\omega\nu}$  η ενέργεια που καταναλώνει για κάθε μικρή μετακίνηση που πραγματοποιεί το πλαίσιο για να ακολουθήσει τον ήλιο.

$E_{\epsilon\pi\iota\sigma\tau\rho\phi\eta\varsigma}$  η ενέργεια που καταναλώνει ο κινητήρας για να επιστρέψει το πλαίσιο στην αρχική του θέση.

$E_{\text{standby}}$  η ενέργεια που καταναλώνεται στην πλακέτα για τον έλεγχο του συστήματος καθ' όλη την διάρκεια του 24ωρου.

Αναλυτικότερα η ενέργεια που καταναλώνει από την ανατολή μέχρι την δύση μετρήθηκε σε 22 βήματα. Η τάση και η ένταση είχαν τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 5.2

	V (V)	I (A)	t (sec)
Εβημάτων	12,5	3,5	0,3

Πίνακας 5.2 : Τάση, ένταση και χρόνος για το κάθε βήμα

$$E_{\beta\eta\mu\alpha\tau\omega\nu} = V(V) \cdot I(A) \cdot t(h) \cdot \beta\eta\mu\alpha\tau\alpha \Leftrightarrow$$

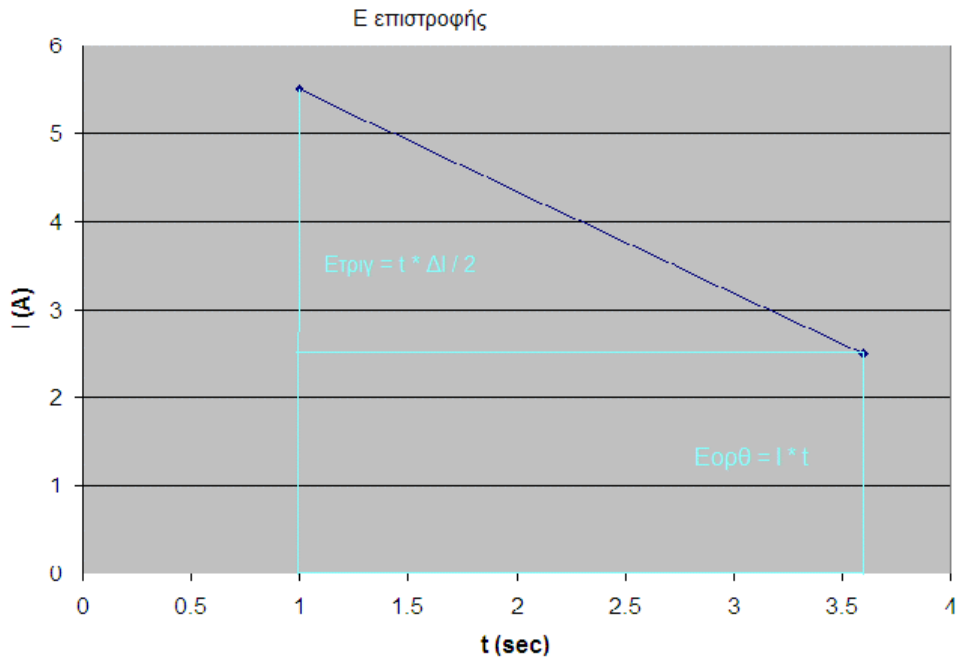
$$E_{\beta\eta\mu\alpha\tau\omega\nu} = 12,5 \cdot 3,5 \cdot 0,000083 \cdot 22 \Leftrightarrow$$

$$E_{\beta\eta\mu\alpha\tau\omega\nu} = 0,08 \text{ Wh}$$

Ενώ η ενέργεια που καταναλώνει κατά την επιστροφή μέχρι την αρχική του θέση υπολογίζεται από το άθροισμα του εμβαδού του τριγώνου και του εμβαδού του ορθογωνίου σχήματος που σχηματίζονται από την προβολή της ευθείας στον άξονα των χ. Αν πολλαπλασιάσουμε και τα δυο εμβαδά με την τάση (12,5) βρίσκουμε το  $E_{\text{επιστροφής}}$ .

	V (V)	I (A)	t (sec)
<b>Επιστροφής</b>	12,5	5,5 έως 2,5	2,6

Πίνακας 5.3: Τάση, ένταση και χρονική διάρκεια τις επιστροφής



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα υπολογισμού Επιστροφής

$$E_{\text{επιστροφής}} = V(V) \cdot I(A) \cdot t(h) \Leftrightarrow$$

$$E_{\text{επιστροφής}} = (0,00072 \cdot 3 / 2) \cdot V + (0,00072 \cdot 2,5) \cdot V \Leftrightarrow$$

$$E_{\text{επιστροφής}} = 0,036 \text{ Wh}$$

Αντίστοιχα για να βρούμε το Estandby χρησιμοποιούμε τις τιμές από τον πίνακα 5.4

	V(V)	I (A)	t (h)
E <sub>standby1</sub>	12.5	0.006	24
E <sub>standby2</sub>	12.5	0.022	24

Πίνακας 5.4: Πειραματικές τιμές Estandby πλακέτας

Η ενέργεια που καταναλώνεται στην πλακέτα μετρήθηκε σε δυο διαφορετικές μέρες. Την πρώτη μέρα όπου και πάρθηκαν οι μετρήσεις και την επόμενη με βελτιωμένη ρύθμιση στις αντιστάσεις των φωτοдиодων. Με την βελτίωση το πλαίσιο περιστρεφόταν ανά 10 δευτερόλεπτα για απόσταση 1 mm (σχεδόν συνεχή κίνηση) ενώ η κατανάλωση της πλακέτας (E<sub>standby</sub>) βρέθηκε τετραπλάσια από την αντίστοιχη της πρώτης μέρας. Από τις μεσημεριανές ώρες η πλακέτα υπερθερμάνθηκε και

αποσυνδέθηκε από το σύστημα. Για τους υπολογισμούς μας λήφθηκαν οι υψηλότερες τιμές κατανάλωσης τις πλακέτας.

$$E_{standby} = V(V) \cdot I(A) \cdot t(h) \Leftrightarrow$$

$$E_{standby1} = 12.5 \cdot 0.006 \cdot 24 = 1.8Wh$$

$$E_{standby2} = 12.5 \cdot 0.022 \cdot 24 = 6.6Wh$$

Έχοντας τις μετρήσεις αυτές είναι εύκολο να υπολογίσουμε το  $E$  τελικό ημερήσιο κινητού το οποίο δίνετε από την σχέση:

$$E \text{ τελικό ημερήσιο κινητού} = E \text{ ημέρας κινητού} - E \text{ standby πλακέτας} - E \text{ επιστροφής} - E \text{ βημάτων} = 431,684 \text{ Wh}$$

Απ' τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η τελική βελτίωση παραγωγής ενέργειας που πετυχαίνουμε είναι:

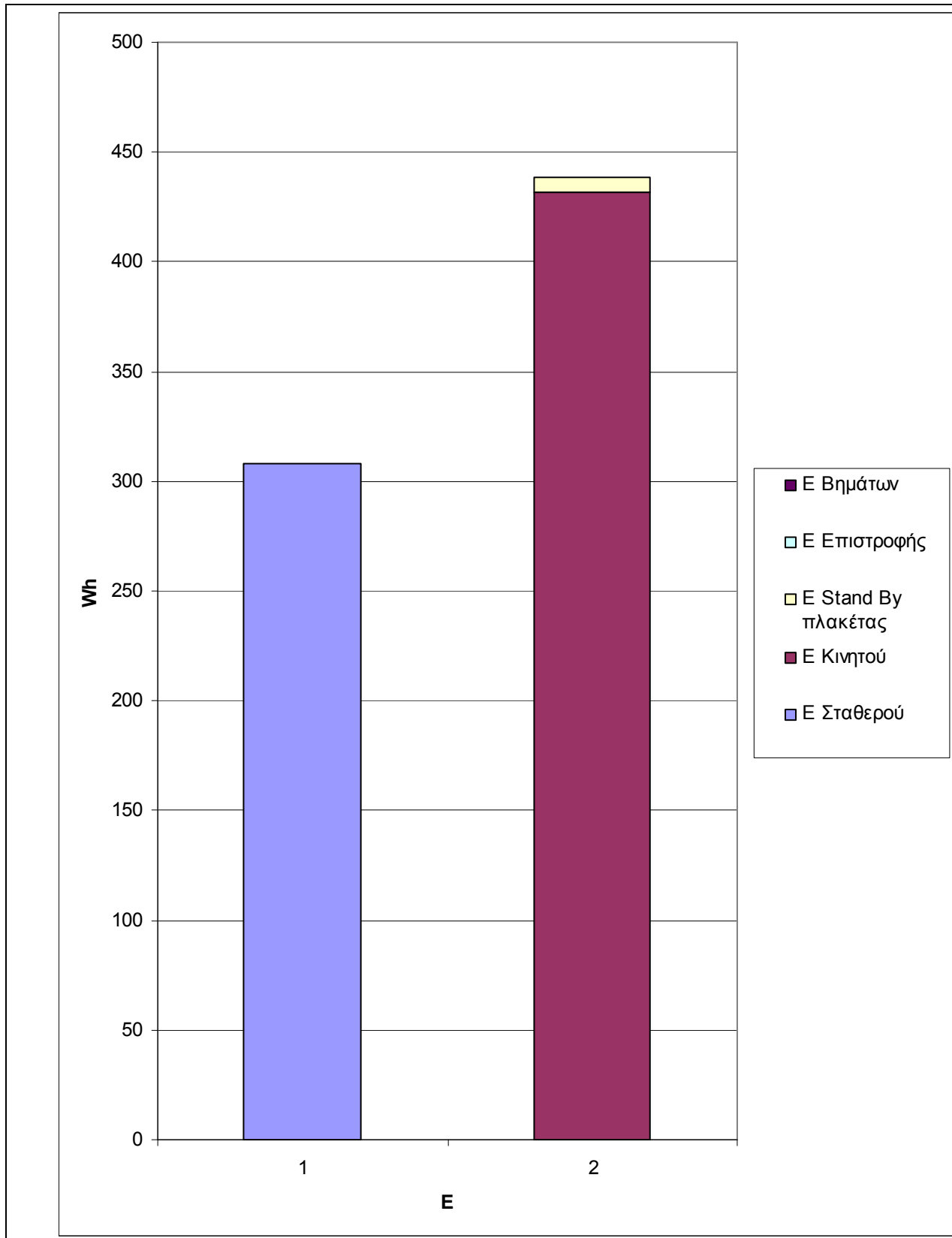
$$E \text{ τελικό κινητού ημέρας} - E \text{ ημέρας σταθερού} = 123,384 \text{ Wh}$$

Άρα έχουμε 40,514% επιπλέον παραγόμενη ενέργεια.

Έχοντας υπολογίσει τις απώλειες υπολογίζουμε και τις υπόλοιπες συνολικές ενέργειες E

<b>Ενέργεια</b>	<b>Wh</b>	<b>%</b>
<i>Ημερήσιο σταθερού</i>	<b>308,3</b>	-
<i>Ημερήσιο κινητού</i>	<b>438,4</b>	-
<i>Βελτίωση παραγωγής ενέργειας</i>	130,1	<b>42</b>
<i>Standby πλακέτας (2 ημέρα)</i>	6,6	1,46
<i>Standby πλακέτας (1 ημέρα)</i>	1,8	0,4
<i>Επιστροφής</i>	0,036	0,008
<i>Βημάτων οδήγησης</i>	0,08	0,018
<i>Σύνολο ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας tracker</i>	<b>6,7</b>	<b>1,486</b>
<i>Τελικό ημερήσιο κινητού</i>	<b>431,684</b>	-
<i>Τελική βελτίωση παραγωγής ενέργειας</i>	<b>123,384</b>	<b>40,514</b>

Πίνακας 5.5: Παραγόμενη ενέργεια και ποσοστά αυτών



Εικόνα 5.9: Διάγραμμα διαφοράς παραγόμενης ενέργειας Σταθερού – Κινητού και καταναλισκόμενης ενέργειας στον tracker.

## 5.8 Παρατηρήσεις

Λόγω της μη επαρκούς γωνίας κλίσεως του πλαισίου, από τις 6.45 μέχρι τις 8.45 η ηλιακή ακτινοβολία δεν προσέπιπτε κάθετα στο πλαίσιο. Ομοίως και το απόγευμα η συσκευή μας τερμάτισε στις 18.30 ενώ η διαδικασία των μετρήσεων συνεχίστηκε μέχρι της 20.45. Αυτό οφείλετε στο ότι το εύρος των μοιρών που καλύπτει η κατασκευή μας είναι από  $-80^\circ$  έως  $+75^\circ$  ενώ θα έπρεπε να είναι από  $-90^\circ$  έως  $+90^\circ$ .

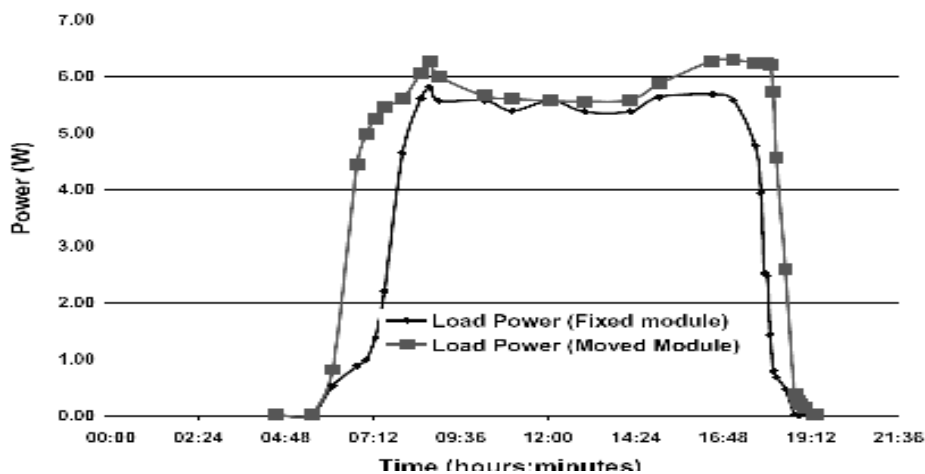
## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### Αποτίμηση

Καταλήγοντας μπορούμε να θεωρήσουμε ότι παρόλο που το συγκεκριμένο θέμα μελετάται από της αρχές της δεκαετίας του '90 με αρκετές παραλλαγές η κατασκευή είναι καινοτόμα. Η τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι εμπνευσμένες από παλαιότερες μελέτες αλλά είναι πλήρως αναπροσαρμοσμένες στην δικιά μας κατασκευή. Οι δυσκολίες για την πραγματοποίηση της κατασκευής ήταν πολλές αλλά παρόλα αυτά ξεπεράστηκαν με πολλές ώρες αφοσίωσης και την συλλογική εργασία.

#### 6.1 Σύγκριση του tracker με άλλες πειραματικές μεθόδους.

Παρόμοια μελέτη με την δικιά μας πραγματοποίησε ο Ali Al Mohamad [14] ο οποίος όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1 κατάφερε 20% βελτίωση με σύστημα tracking ενός άξονα. Στην μελέτη δεν αναφέρεται η μέρα του έτους που συλλέχθηκαν οι μετρήσεις



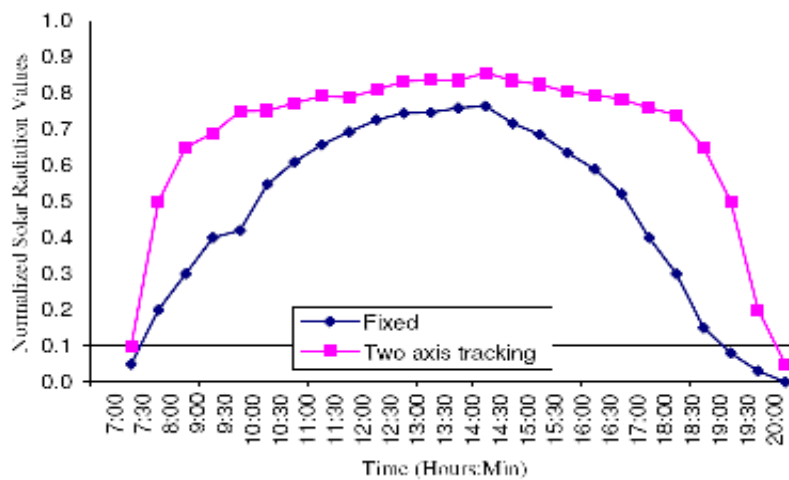
Σχήμα 6.1: Ali Al Mohamad κίνηση σε έναν άξονα. Το συνολικό ημερήσιο κέρδος της μελέτης φτάνει το 20% βελτίωση σε σχέση με το σταθερό.

Οι υπόλοιπες μελέτες στο θέμα αφορούσαν μηχανισμούς με κίνηση σε δυο άξονες. Τα αποτελέσματα των μελετών που έχουν προαναφερθεί στην πτυχιακή αυτή παρουσίαζονται στην συνέχεια. Στην μελέτη που παρουσίασε ο Barakat [8] βρέθηκε μετά από μετρήσεις ότι η παραπάνω ενέργεια που παράγεται είναι υψηλότερη κατά

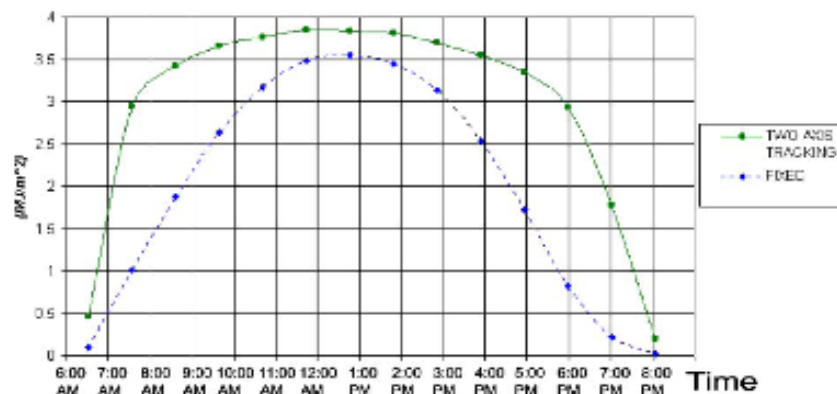


20%. Ο Neville [9] υπολόγισε ότι στο σύστημα δυο αξόνων η διαθέσιμη ενέργεια είναι 5-10% και 50% περισσότερη από το σύστημα ανατολής - δύσης και το σταθερό αντίστοιχα.

Οι Γεώργιος Μπάκος [15] και Salah Abdallah με τον Salem Nijmeh [16] πραγματοποίησαν μελέτες για τη βέλτιστη ηλιακή παρακολούθηση με tracking system. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι καμπύλες σύγκρισης σταθερού και περιστρεφόμενου φωτοβολταϊκού.



Σχήμα 6.2: Γεώργιος Μπάκος: Με κίνηση στους δυο άξονες κατάφερε να επιτύχει βελτίωση της απόδοσης έως 46.46%



Σχήμα 6.3: Salah Abdallah - Salem Nijmeh: Στα συμπεράσματα τους αναφέρεται ότι με την χρήση tracker δυο αξόνων αυξήθηκε η συνολική ημερήσια συλλογή κατά 41.34% σε σύγκριση με την σταθερή διάταξη κλίσεως 32°

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με αυτά της δικής μας μελέτης (σχήμα 5.6) συμπεραίνουμε ότι η επί της εκατό βελτίωση που πετύχαμε πλησιάζει αυτή των δυο αξόνων. Όλα τα ανωτέρω ποσοστά αναφέρονται σε μετρήσεις μιας ημέρας.

## 6.2 Προβλήματα και προτάσεις βελτίωσης της κατασκευής

Ως πειραματική και καινοτόμα η κατασκευή μας όπως είναι προφανές χρήζει διαφόρων βελτιώσεων:

1. Ο τροχός ποδηλάτου ήταν μεταχειρισμένος και σχήματος οβάλ με αποτέλεσμα το συρματόσκοινο να παρουσιάζει ιδιαίτερη χαλάρωση, σε συγκεκριμένες θέσεις.
2. Όπως έχει αναφερθεί το σύστημα μας δεν καλύπτει κάποιο εύρος μετρήσεων τις πρώτες πρωινές ώρες καθώς και τις απογευματινές. Η κατασκευή θα έπρεπε να καλύπτει το εύρος των  $180^\circ$ . Λόγω της περιορισμένης ποσότητας συρματόσκοινου που μπορεί να τυλιχθεί στο τύμπανο παρουσιάζονται αυτοί οι περιορισμοί. Συγκεκριμένα η κίνηση περιορίζεται κατά  $10^\circ$  τις πρωινές ώρες και  $15^\circ$  τις απογευματινές.
3. Κατά την διάρκεια της δεύτερης μέρας των μετρήσεων παρουσιάστηκε υπερθέρμανση της πλακέτας λόγω των πολλών ωρών λειτουργίας. Αρχικά θεωρήθηκε ότι η πλακέτα καταστράφηκε αλλά σε επόμενη προσπάθεια λειτούργησε κανονικά. Συνίσταται λοιπόν επανασχεδιασμός της πλακέτας για συνεχή χρήση.
4. Η κατασκευή μας έχει χρησιμοποιηθεί μόνο σε ιδανικές συνθήκες καλοκαιρινών μηνών χωρίς σύννεφα. Το κατά πόσο επηρεάζεται η κατασκευή μας μια συννεφιασμένη μέρα δεν μας είναι γνωστό.
5. Για να έχουμε μια συνολική εικόνα της λειτουργίας επιβάλλεται να πραγματοποιηθούν μετρήσεις καθ' όλη την διάρκεια του έτους.
6. Με την δύση του ήλιου το πλαίσιο μας μένει στραμμένο προς την δύση. Αν δεν μετακινήσουμε το πλαίσιο χειροκίνητα προς την ανατολή, την επόμενη μέρα δεν θα καταφέρουμε να αξιοποιήσουμε την ηλιακή ακτινοβολία. Είναι αναγκαίο λοιπόν να εφοδιάσουμε την κατασκευή με κατάλληλο μηχανισμό αυτόματης επιστροφής.

7. Θα πρέπει να γίνει χρηματοοικονομική μελέτη εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος σε ένα Φ/Β πάρκο.

## Παραπομπές - Βιβλιογραφία (References)

- [1] ΚΑΠΕ Θερμικά ηλιακά συστήματα (2005)
- [2] Ένας πρακτικός οδηγός για τα φωτοβολταϊκά (ΣΕΦ 2006)
- [3] Φωτοβολταϊκά συστήματα Ι.Ε. Φραγκαδακης.
- [4] Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού και μεσαίου μεγέθους. Β Μαλαμης 2004 Εκδωσεις ΙΩΝ
- [5] Antonio Lyque, Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic science and engineering, Viley 2002
- [6] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [7] [www.aenaon.gr](http://www.aenaon.gr)
- [8] Barakat B, Rahab H, Mohmedi B, Naiit N. Design of a tracking system to be used with photovoltaic panels
- [9] Neville RC. Solar energy collector orientation and tracking mode.
- [10] Hession PJ, Bonwick WJ . Experience with a sun tracking system.
- [11] Brunotte M. Two-stage concentrator permitting concentration factors up to 300X with one axis tracking
- [12] Abdallah Salah. Two axes sun tracking system with PLC control.
- [13] F.M Al Naima N.A. Yaghobia. Design and construction of a solar tracking system
- [14] Ali Al Mohamad. Efficiency improvements of photovoltaic panels using a sun-tracking system. December 2003
- [15] Γεώργιος Μπάκος. Design and construction of a two-axis sun tracking system for parabolic through collector efficiency improvement
- [16] Salah Abdallah - Salem Nijmeh. Two axes sun-tracking system with PLC control

