



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Εργασία στο μάθημα της Διανεμημένης Παραγωγής

ΘΕΜΑ: *TRACKERS ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ*



Πέτρος Πεϊτσίνης

AEM:9381

E-mail: [petrospm@ece.auth.gr](mailto:petrospm@ece.auth.gr)

## Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
2.ΤΡΟΠΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ .....	2
3.ΤΟΠΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ .....	4
4.ΚΑΤΗΓΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥΣ .....	5
5.ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ .....	10
6.ΕΠΟΧΙΚΑ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ .....	10
7.ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΑΞΟΝΑ .....	11
8.ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΔΥΟ ΑΞΟΝΕΣ .....	12
9.ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΚΑΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (TRACKING) .....	14
10.ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΑΚΕΡ .....	15
11.ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	17

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

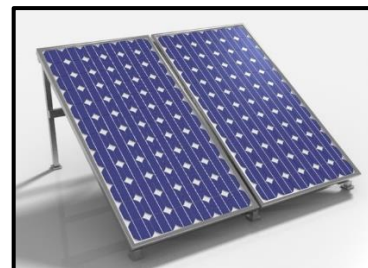
Ένα ηλιακό πάνελ αποτελείται από τη συνδεσμολογία πολλών φωτοβολταϊκών συλλεκτών ή αλλιώς πλαισίων. Το φως του ήλιου καταναλώνεται ως πηγή ενέργειας από τους συλλέκτες προκειμένου να παραχθεί η ηλεκτρική ενέργεια. Ένα ηλιακό πάνελ συνήθως αποτελείται από 6x10 πλαίσια. Η αποτελεσματικότητα και η απόδοση σε ισχύ των πλαισίων διαφέρει ανάλογα με το σχήμα τους και το υλικό κατασκευής τους. Η χρήση των ηλιακών πάνελ πλέον αξιοποιείται κυρίως για την κάλυψη ηλεκτρικής ισχύος καταναλωτών μέσω της διασύνδεση τους στο δίκτυο, η οποία γίνεται με χρήση inverter προκειμένου το ρεύμα να μετατραπεί από συνεχές σε εναλλασσόμενο.

Το ηλιακό τράκερ (ιχνηλάτης) είναι μια συσκευή που τοποθετεί το αντικείμενο σε συγκεκριμένη γωνία σε σχέση με τον ήλιο. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι η πιο δημοφιλής εφαρμογή για το ηλιακό τράκερ καθώς με τη χρήση του μπορούν και παραμένουν κάθετα στην ακτινοβολία του ήλιου, με τη ρύθμιση της γωνίας κλίσης, απορροφώντας όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια. Το σύστημα ηλιακής ανίχνευσης (tracking) παίζει σημαντικό ρόλο σε διάφορες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας και τα πλεονεκτήματά του δεν αφορούν μόνο το κέρδος σε ισχύ και αποδοτικότητα των κινούμενων πλαισίων έναντι των σταθερών αλλά και στην οικονομική ανάλυση εφαρμογών ηλιακής ενέργειας μεγάλης κλίμακας.

## 2.ΤΡΟΠΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΑΣΕΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τα στατικά φωτοβολταϊκά και ο τρόπος εγκατάστασης για αυτήν είναι: τα πλαίσια να τοποθετούνται σε ειδικές σταθερές βάσεις στήριξης που να έχουν μεγάλη αντοχή σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά εγκαθίστανται για παράδειγμα σε οροφές κτιρίων ή σε χωράφια και δεν αξιοποιούνται ιδιαίτερα σε φωτοβολταϊκά πάρκα για παραγωγή μεγάλης ισχύς εξόδου. Τα πλαίσια είναι προσανατολισμένα προς τον νότο, με κλίση η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το φορτίο. Έτσι, γίνεται μελέτη για την ηλιακή ακτινοβολία στο μέρος

εγκατάστασης κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου, καθορίζονται τα τροφοδοτούμενα φορτία και επιλέγεται η γωνία για την οποία προκύπτει η καλύτερη δυνατή απόδοση κατά μέσο όρο στη διάρκεια του χρόνου.



Σχήμα.1: Στατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια

Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από τα κινούμενα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία περιστρέφονται προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις με σκοπό να αξιοποιήσουν όσο το δυνατόν περισσότερο την ακτινοβολία του ήλιου. Τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά είναι γνωστά και ως φωτοβολταϊκά με tracker ή ιχνηλάτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία ως προς τον τύπο της βάσης στήριξης και του μηχανισμού στον οποίο τοποθετείται το πλαίσιο και επιλέγεται ή τροποποιείται αναλόγως με την εκάστοτε εφαρμογή. Η βασική διάκριση σχετικά με τα κινούμενα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχει να κάνει με τους άξονες περιστροφής που διαθέτουν και συνεπώς και την “ελευθερία” κίνησής τους. Πιο συγκεκριμένα, τα δύο είδη που έχουν επικρατήσει είναι αυτά του μονού άξονα (single axis) και αυτά διπλού άξονα (dual axis). Στο πρώτο είδος τα πλαίσια ακολουθούν την κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας μόνο ως προς τον ένα άξονα κίνησης, ενώ στο δεύτερο οι ιχνηλάτες κινούνται ως προς τους δύο άξονες. Στα συστήματα με δύο άξονες παρακολούθησης ήλιου υπάρχει δυνατότητα να συλλεχθεί μέχρι και 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Ωστόσο, αυξάνεται η πολυπλοκότητα της εγκατάστασης και η συντήρηση καθίσταται περισσότερο δαπανηρή με χαμηλότερη αξιοπιστία. Από την άλλη, η παρακολούθηση με φωτοβολταϊκά μονού άξονα είναι λιγότερη σύνθετη αλλά και λιγότερο κερδοφόρα.



Σχήμα.2: Φωτοβολταϊκά πλαίσια μονού άξονα





Σχήμα.3:Φωτοβολταϊκά πλαίσια διπλού άξονα

### 3.ΤΟΠΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

- Υπαίθρια έκταση: Οι βάσεις αυτού του είδους τοποθετούνται σε χωράφια με το σκοπό δημιουργίας φωτοβολταϊκών πάρκων. Μπορούν να είναι είτε σταθερές είτε κινούμενες



Σχήμα.4:Βάση στήριξης πλαισίων υπαίθριας εγκατάστασης

- Σκεπή-Στέγη: Τέτοιες βάσεις χρησιμοποιούνται σε επικλινείς οροφές καθώς και σε προσόψεις οικιακών και βιομηχανικών κτηρίων για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους.



Σχήμα.5: Βάση στήριξης σε σκεπή



Σχήμα.6:Βάση στήριξης σε βιομηχανική στέγη

- Ταράτσα-Δώμα: Αυτές οι βάσεις τοποθετούνται όπου υπάρχει επίπεδη επιφάνεια από μπετό, πάνω και στο οποίο στερεώνονται.



Σχήμα.7:Βάσεις στήριξης πλαισίων σε ταράτσα/δώμα

#### 4.ΚΑΤΗΓΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥΣ

Τα κινούμενα φωτοβολταϊκά πλαίσια χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η κίνησή τους και είναι οι εξής:

##### α)Χειροκίνητα

Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε κάποιο υπάρχον προσωπικό στην τοποθεσία της εγκατάστασης, το οποίο ρυθμίζει σταδιακά την κλίση του πλαισίου κατά τη διάρκεια της ημέρας και την προσαρμόζει έτσι ώστε να ακολουθεί την πορεία του ήλιου όσο ανατέλλει και δύει από την ανατολή προς τη δύση ,προκειμένου να αυξηθεί η συλλογή της ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κανείς ότι κάτι τέτοιο δεν είναι ιδανικό σε περίπτωση που τα έξοδα για το εργατικό δυναμικό είναι μεγάλου κόστους και το ωρομίσθιο για το προσωπικό υψηλό. Έτσι, κάτι τέτοιο εφαρμόζεται μόνο στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου το ωρομίσθιο είναι αρκετά χαμηλό καθώς κάτι τέτοιο σε χώρες με υψηλά ωρομίσθια δεν είναι οικονομικά βιώσιμο.

Σε αυτή την κατηγορία υπάγεται και ένας άλλος τρόπος για να αξιοποιηθεί η χειροκίνητη ρύθμιση της κλίσης του πλαισίου κατά τον οποίο δεν ρυθμίζεται η κλίση με βάση την πορεία του ήλιου στην διάρκεια της ημέρας αλλά η κλίση αυξάνεται ή μειώνεται ως προς το οριζόντιο επίπεδο το πολύ μία φορά τον μήνα με βάση τη μηνιαία βέλτιστη κλίση της συγκεκριμένης περιοχής τοποθέτησης των συλλεκτών . Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι η βέλτιστη κλίση ενός φωτοβολταϊκού ως προς το οριζόντιο επίπεδο με κατεύθυνση προς το νότο διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια του έτους .Σε αυτήν την περίπτωση οι βάσεις στήριξης είναι αρθρωτές και έχουν δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας ως προς το οριζόντιο επίπεδο ανά πέντε ή και ανά μία μοίρα σε ένα εύρος 25-75 μοίρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις η ρύθμιση γίνεται εποχιακά με βάση την εποχιακή βέλτιστη κλίση της συγκεκριμένης περιοχής.

##### β)Παθητικά

Στην κατηγορία των φωτοβολταϊκών με παθητική κίνηση του πλαισίου, αξιοποιείται κάποιο υγρό με χαμηλό σημείο βρασμού το οποίο όταν εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία εξατμίζεται και

προκαλεί μια ανισορροπία με αποτέλεσμα η βάση να κλίνει προς την κατεύθυνση των ακτίνων του ήλιου. Τα πλεονέκτημα αυτών των φωτοβολταϊκών είναι ότι αποτελούνται από λιγότερα κινούμενα μέρη σε σύγκριση με τα ενεργητικά και έχουν χαμηλότερο κόστος συντήρησης καθώς δεν είναι επιρρεπή σε βλάβες σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα και στο σύστημα ελέγχου. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή βασίζεται σε ένα σετ δύο ενεργοποιητών γεμάτοι με διογκώσιμο αέριο και μία διμεταλλική λωρίδα. Όταν φωτίζονται το ίδιο οι δύο ενεργοποιητές βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους. Διαφορετικός φωτισμός μεταξύ των ενεργοποιητών οδηγεί σε ανισορροπία δυνάμεων στο σύστημα και αυτό το οδηγεί σε μία νέα θέση όπου υπάρχει εξίσωση του φωτισμού και ισορροπία πλέον των δυνάμεων. Οι καλύτερες γεωγραφικές τοποθεσίες για να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα με παθητικά τράκερ είναι κοντά στον ισημερινό λόγω της ελάχιστης μεταβολής της αζιμούθιας και κατακόρυφης γωνίας, της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας και μπορεί να φανεί χρήσιμο σε παραγωγή μεγάλης ισχύος και απομονωμένες εφαρμογές. Ωστόσο, μερικά από τα μειονεκτήματα είναι ότι έχει χαμηλή απόδοση και μικρή σχετικά ακρίβεια καθώς το σύστημα βασίζεται σε διαδικασία θερμικής διαστολής. Επίσης σε κακοκαιρία και δυσμενείς καιρικές συνθήκες το συγκεκριμένο σύστημα δεν ενδείκνυται.

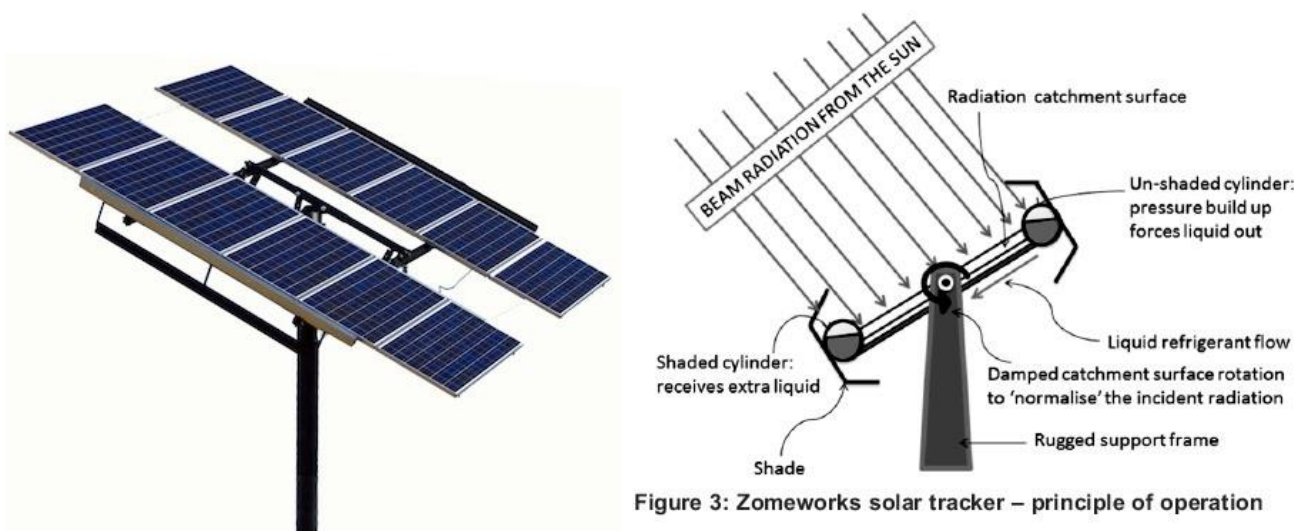


Figure 3: Zomeworks solar tracker – principle of operation

Σχήμα.8:Φωτοβολταϊκά πλαίσια παθητικής ανίχνευσης ακτινοβολίας

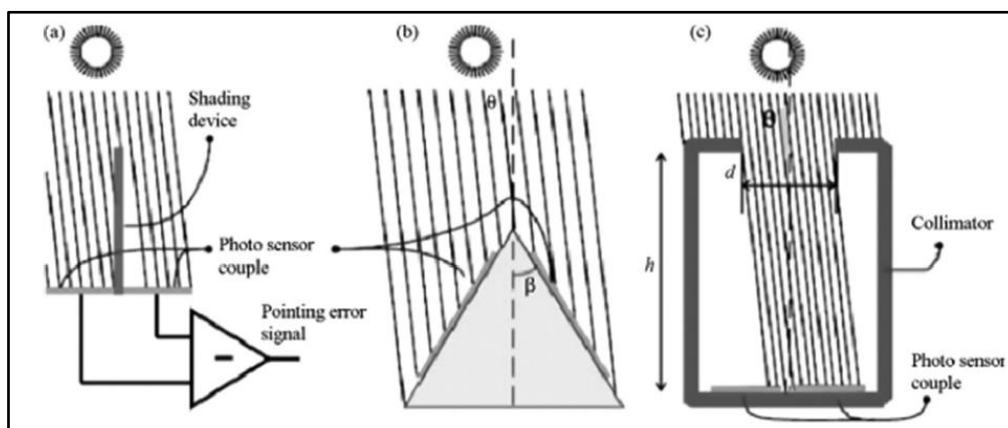
### γ)Ενεργητικά

Σε αυτή την κατηγορία τα φωτοβολταϊκά βασίζονται σε κινητήριους μηχανισμούς όπως ηλεκτρικούς κινητήρες ή υδραυλικούς κυλίνδρους προκειμένου να αλλάξει η θέση του πλαισίου. Ο προσδιορισμός της θέσης του ήλιου όταν κινείται κατά τη διάρκεια της ημέρας γίνεται με αισθητήρες. Αυτοί οι αισθητήρες ενεργοποιούν τον κινητήριο μηχανισμό έτσι ώστε ο συλλέκτης να κινείται προς την πορεία του ήλιου. Σε περίπτωση που η ακτινοβολία δεν είναι κάθετη στο πάνελ, τότε υπάρχει διαφοροποίηση ως προς την ένταση του φωτός ανάμεσα στους αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι και έτσι μέσω του συστήματος θα διορθωθεί η θέση του συλλέκτη προκειμένου η ακτινοβολία να είναι κάθετη. Επιπλέον, διακρίνονται διαφορετικοί τύποι ελέγχου όπως βασιζόμενοι σε μικροεπεξεργαστή, βασιζόμενοι σε φωτοηλεκτρικό αισθητήρα και με βοηθητικές φωτοβολταϊκές κυψέλες. Τα συστήματα με τράκερς που χρησιμοποιούν μικροεπεξεργαστή και φωτοηλεκτρικούς αισθητήρες χρησιμοποιούν τουλάχιστον δύο φωτοαντιστάσεις ή ΦΒ κυψέλες.

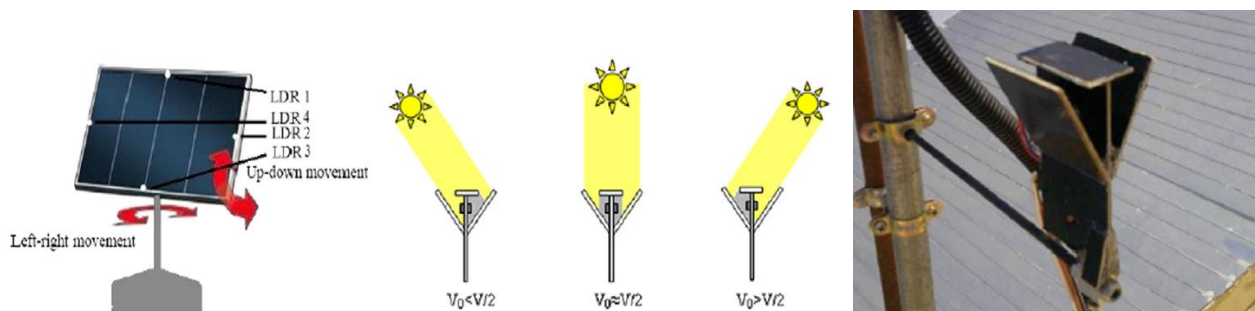
Διεξάγεται μία σύγκριση μεταξύ των σημάτων εξόδου από τις μεταβλητές των παραμέτρων και τελικά η διαφορά των δύο σημάτων αποστέλλεται στον κινητήριο μηχανισμό. Σε συστήματα παρακολούθησης με βοηθητικά ηλιακά κύτταρα διπλής όψης τα κύτταρα ενεργοποιούν το σύστημα οδήγησης να μετακινηθεί προς την επιθυμητή θέση. Σε αυτόν τον τύπο τράκερ τα βοηθητικά κύτταρα τοποθετούνται ανά ζεύγη σε γωνία  $170^\circ$  και συνδέονται με κύκλωμα ανόρθωσης με γέφυρα, και όταν η τάση εξόδου από τα κύτταρα δεν είναι ίδια, τότε η εφαρμοζόμενη τάση στον DC κινητήρα δεν είναι μηδέν και αυτός αρχίζει να κινείται. Τα βοηθητικά κύτταρα δηλαδή χρησιμεύουν για να ανιχνεύσουν την θέση του ήλιου και να παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια ανίχνευσης. Αυτό το σύστημα τις συννεφιασμένες μέρες δεν είναι ακριβές καθώς οι αισθητήρες δεν μπορούν να πάρουν κάποια απόφαση λόγω της χαμηλής διαφοράς της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανάμεσα στους αισθητήρες. Η κατανάλωση του κινητήριου μηχανισμού υπολογίζεται περίπου ότι είναι λιγότερο από 3% της παραγωγής.



Σχήμα.9:Κινούμενο πλαίσιο από ηλεκτρικό σερβοκινητήρα



Σχήμα.10:Σύστημα ανίχνευσης τράκερ μονού άξονα με τρεις φωτοεξαρτημένες αντιστάσεις (LDR)



Σχήμα.11:Αισθητήρας εντοπισμού της θέσης του ήλιου

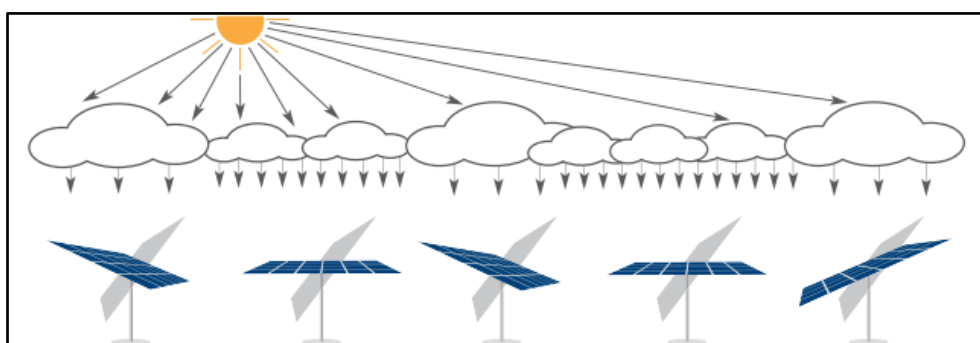


Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην αγορά αυτού του τύπου ιχνηλάτησης είναι η τεχνολογία MLD (Maximum Light Detection) της γερμανικής εταιρίας Deger ,η οποία είναι πιστοποιημένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η ειδοποιός διαφορά σε σχέση με τους ιχνηλάτες που εκτελούν παρακολούθηση του ήλιου με αστρονομικά δεδομένα και PLC (χρονολογικού τύπου τράκερς) , είναι ακριβώς η χρήση του MLD που δίνει τη δυνατότητα στους ιχνηλάτες να εκμεταλλεύονται την άμεσα προσπίπτουσα ακτινοβολία αλλά και αυτές λόγω διάχυσης. Ο αισθητήρας MLD μετράει διαρκώς την ένταση και την γωνία της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και προσανατολίζει ανάλογα τον κάθε ιχνηλάτη ξεχωριστά. Κατά τη διαδικασία αυτή ο αισθητήρας MLD δεν λαμβάνει απλά υπόψη την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και το φως, το οποίο αντανακλάται από το χιόνι ή/και το διάχυτο φως που περνά μέσα από τα σύννεφα. Αυτό το πλεονέκτημα και η εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια του αισθητήρα οδηγούν τις στοιχειοσειρές των φωτοβολταϊκών πλαισίων στο να συλλέγουν πάντα τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ενέργειας. Έτσι επιτυγχάνεται αύξηση απόδοσης έως 45% σε σύγκριση με τα σταθερά συστήματα εγκατάστασης. Η τεχνολογία αυτή προσφέρει επίσης 7% – 8% περισσότερη ενέργεια για τους ηλιακούς συλλέκτες σε σύγκριση με αστρονομικά καθοδηγούμενους ιχνηλάτες.



Σχήμα.12: Εγκατεστημένο φωτοβολταϊκό της Deger με τεχνολογία MLD

Διαφορετικές συνθήκες φωτισμού: Λόγω των διαφορετικών επιπέδων νέφωσης, οι συνθήκες φωτός στα ηλιακά πάρκα ποικίλλουν για κάθε tracker. Ο ατομικός έλεγχος διασφαλίζει ότι κάθε tracker είναι βέλτιστος προσανατολισμένος στην πιο φωτεινή πηγή ακτινοβολίας. Αυτό εγγυάται την υψηλότερη δυνατή ενεργειακή απόδοση.

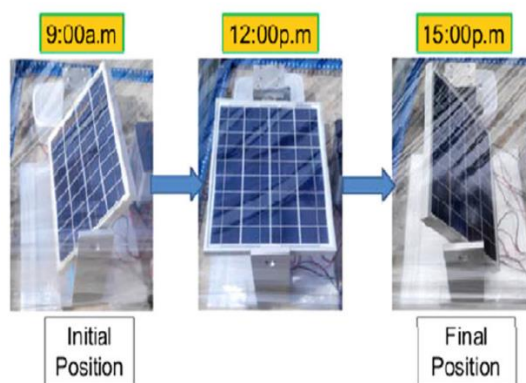


Σχήμα.13: Διαφορετικός προσανατολισμός συλλεκτών λόγω διαφορετικών συνθηκών φωτισμού



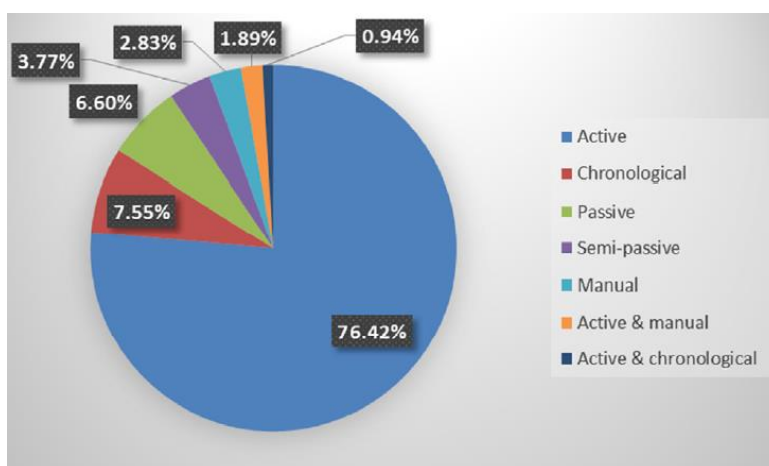
### δ)Χρονολογικά

Το σύστημα χρονολογικής ηλιακής ανίχνευσης είναι ένα σύστημα βασιζόμενο στο χρόνο κατά το οποίο ο συλλέκτης κινείται με συγκεκριμένο ρυθμό κατά κάποια καθορισμένη γωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό το σύστημα είναι ένας τυπικός ελεγκτής ανίχνευσης ανοικτού βρόχου που βασίζεται σε ένα χρονολογικό μοντέλο της κίνησής του. Ο κινητήριος μηχανισμός αποτελείται, όπως και στου ενεργητικού τύπου, από ηλεκτρικούς κινητήρες ή υδραυλικούς κυλίνδρους και ελέγχεται έτσι ώστε να περιστρέφεται με χαμηλό ρυθμό (περίπου 15° την ώρα). Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας τράκερ είναι ότι έχει καλύτερη ενεργειακή απόδοση καθώς δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας κατά την κίνηση, οι οποίες οφείλονται σε σφάλματα ανίχνευσης. Το σύστημα ανίχνευσης βασίζεται κυρίως στα χρονολογικά, γεωγραφικά και αστρονομικά δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα προκειμένου να προσδιοριστεί η σχετική πορεία του ήλιου για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (ημέρα και μήνας) με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων και αλγορίθμων. Στην αγορά συνηθίζεται η χρήση αυτού του τύπου ιχνηλάτησης από τις εταιρίες για την εγκατάσταση των κινούμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Σχήμα.14:Θέση του πλαισίου από τις 9.00 π.μ μέχρι τις 3 μ.μ

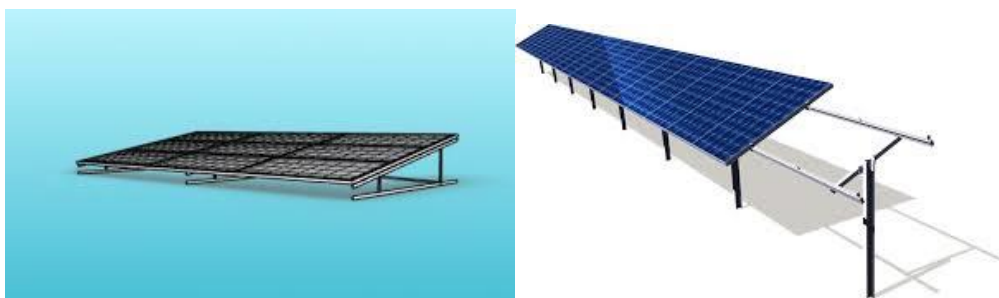
Το ποσοστό χρήσης του κάθε τύπου για πρόσφατες μελέτες φαίνεται στο διάγραμμα στο παρακάτω σχήμα. Σύμφωνα με το οποίο σε πολύ μεγάλο βαθμό, περίπου 76%, γίνεται χρήση του ενεργητικού τράκερ για μελέτες.



Σχήμα.15:Ποσοστό χρήσης κάθε τύπου για πρόσφατες μελέτες

## 5.ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

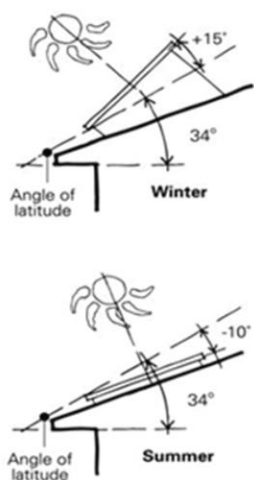
Αποτελεί διάταξη με επαρκή μηχανική αντοχή καθώς δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη κατά τη στήριξη της συστοιχίας και έχει σταθερή κλίση, κάτι που είναι σημαντικό σε περιοχές με ισχυρούς ανέμους. Επιλέγεται κυρίως νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για τη διάταξη και η γωνία κλίσης είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Για την βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη καθοριστικό ρόλο παίζουν οι επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες στην περιοχή, οι οποίες προσδιορίζουν τη σχέση μεταξύ των συνιστωσών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, σε διάφορες γωνίες κλίσης. Ωστόσο, αρκετές φορές τέτοιες μετρήσεις δεν είναι διαθέσιμες και αρκούμαστε σε μετρήσεις οριζόντια τοποθετημένου αισθητήρα (πυρανόμετρο), για μια σειρά ετών σε αυτήν την περιοχή. Επιπλέον, είναι δυνατή η χρήση μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς τον τόπο εγκατάστασης περιοχή, λαμβάνοντας υπόψιν πιθανή διαφοροποίηση της διάχυτης ανακλαστικότητας του εδάφους του τόπου. Με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων και την αξιοποίηση των συγκεκριμένων μετρήσεων προσδιορίζεται η ολική ακτινοβολία σε συλλέκτη για διάφορες γωνίες κλίσης και έτσι προκύπτει προσεγγιστικά η βέλτιστη γωνία κλίσης για την συγκεκριμένη περιοχή. Σε περίπτωση που ο συλλέκτης τοποθετείται σε μέρος με φυσικά εμπόδια που τον σκιάζουν κατά τη διάρκεια της ημέρας προσανατολίζεται έτσι ώστε να έχει την καλύτερη δυνατή απόδοση.



Σχήμα.16:Σταθερή βάση του συλλέκτη

## 6.ΕΠΟΧΙΚΑ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

Σε αυτήν την περίπτωση οι τυπικές θέσεις του συλλέκτη είναι δύο: Μία για το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου -22 Σεπτεμβρίου), με κλίση  $\beta = \{\phi - (10^\circ \div 15^\circ)\}$  και μία για το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου) με κλίση  $\beta = \{\phi + (10^\circ \div 15^\circ)\}$ . Όπως και στην περίπτωση σταθερής κλίσης όλο το χρόνο, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας κλίσης για τον συλλέκτη σε κάθε περίοδο προϋποθέτει γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους που καθορίζει τη διάχυτη ανακλαστικότητά του.



Σχήμα.17:Εποχικά ρυθμιζόμενο

Φωτοβολταϊκό

## 7.ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΑΞΟΝΑ

Με κατάλληλο μηχανισμό η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παρακολουθώντας τον ήλιο από την μία μεριά στην άλλη. Στο τέλος της ημέρας ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής και με την ανατολή του ήλιου στρέφεται, έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι η παρακολούθηση του ήλιου γίνεται κατά την ημερήσια κίνησή του μόνο χωρίς να λαμβάνεται υπόψη και η ετήσια κίνηση του. Επίσης, τις συννεφιασμένες μέρες η απόδοση του συστήματος μειώνεται σε μεγάλο βαθμό καθώς η περιστροφή γίνεται μόνο ως προς έναν άξονα. Διακρίνονται λοιπόν οι εξής κατηγορίες συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου γύρω από έναν άξονα (single axis tracker) :

### A) Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο (vertical axis tracker)

Η περιστροφή πραγματοποιείται ως προς κατακόρυφο άξονα έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη, δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Η επιφάνεια του συλλέκτη είναι προσανατολισμένη με μία γωνία κλίσης ως προς τον άξονα περιστροφής. Η γωνία κλίσης των συλλεκτών είναι σταθερή και επιλέγεται βάση του γεωγραφικού πλάτους. Η αύξηση της ισχύος είναι περίπου 25-35 % και εξαρτάται από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης. Αυτός ο τύπος συνήθως χρησιμοποιείται σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους.

### B) Τράκερ πολικού άξονα (tilted single axis tracker)

Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα περιστροφής γύρω από έναν άξονα  $\chi\chi'$  που βρίσκεται σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Δηλαδή ο άξονας περιστροφής είναι ανάμεσα στον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα ως προς το έδαφος. Κατά τη διάρκεια του έτους η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της καθέτου στο συλλέκτη κυμαίνεται στο διάστημα  $-23,5^\circ$  έως  $+23,5^\circ$ . Η αύξηση της παραγόμενης ισχύος φτάνει και το 40% ανάλογα την εποχή του έτους.

### Γ) Τράκερ οριζόντιου άξονα (horizontal axis tracker)

Διακρίνονται σε αυτά με οριζόντιο άξονα κατά τη διεύθυνση ανατολής δύσης (E-W) και σε εκείνα με άξονα κατά τη διεύθυνση βορά νότου (N-S). Στη δεύτερη περίπτωση συνήθως δίνεται μία μικρή γωνία κλίσης στον άξονα  $5^\circ$ - $10^\circ$  με το χαμηλότερο σημείο προς το νότο. Ο άξονας είναι οριζόντιος σε σχέση με το έδαφος και η επιφάνεια του συλλέκτη είναι προσανατολισμένη παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής. Αυτός ο τύπος συνήθως χρησιμοποιείται σε τροπικές περιοχές.

## 8.ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΔΥΟ ΑΞΟΝΕΣ

Ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου διπλού άξονα είναι μία τεχνική που παρακολουθεί τον ήλιο γύρω από δύο άξονες χρησιμοποιώντας δύο σημεία περιστροφής. Συνήθως αυτού του τύπου τα συστήματα με τράκερ διαθέτουν και οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Η παρακολούθηση του ήλιου λοιπόν με περιστροφή γύρω από δύο άξονες επιτυγχάνεται μέσω δύο διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη με ηλεκτρικούς κινητήρες -είτε βηματικούς είτε συνεχούς περιστροφής- με μειωτήρες και έλεγχο των στροφών για τον προσανατολισμό του επιπέδου κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Ο προσδιορισμός των κατάλληλων γωνιών στροφής γίνεται με ειδικές διατάξεις που ονομάζονται κωδικοποιητές και η λειτουργία τους βασίζεται είτε σε οπτική διάταξη καταμέτρησης οπών είτε σε ηλεκτρικό ροοστάτη περιστροφικής λειτουργίας. Όμοιο μηχανικό σύστημα ,αλλά σε μικρότερες διαστάσεις, χρησιμοποιείται για την περιστροφή του πυρηλιομέτρου, το οποίο είναι οπτικό όργανο παρακολούθησης του ήλιου καταγραφής της πυκνότητας ισχύος της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας.

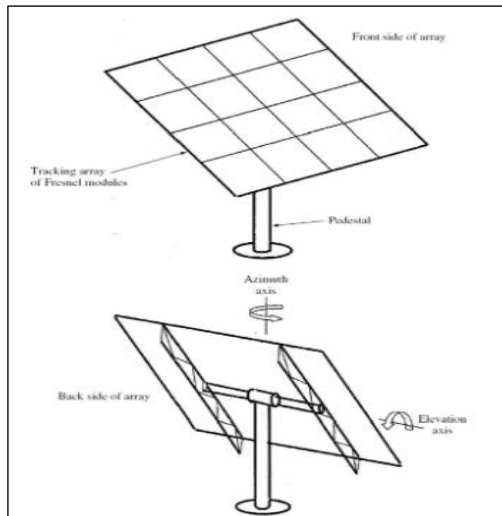
Η διάταξη που περιγράφηκε ονομάζεται τράκερ δύο αξόνων και με αυτήν ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο με τέτοιο τρόπο ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του. Με τη δύση του ήλιου η διάταξη επιστρέφει σε θέση αναφοράς η οποία έχει νότιο προσανατολισμό και ελαφριά κλίση προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανούς ισχυρούς ανέμους μέχρι την ανατολή. Λίγο πριν την ανατολή του ήλιου ο μηχανισμός στρέφει τον συλλέκτη έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες να προσπέσουν κάθετα σε αυτόν. Από αυτή τη χρονική στιγμή αρχίζει η παρακολούθηση του ήλιου. Όσο μικρότερη η περίοδος ενεργοποίησης του μηχανισμού στροφής τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η κατάσταση συνεχούς κάθετης πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών, χωρίς αυτό να είναι εξαιρετικά κρίσιμο. Μια γωνία  $10^\circ$  μεταξύ των ηλιακών ακτινών και της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη προκαλεί μείωση περίπου 1.5% στην πυκνότητα ισχύος της απευθείας συνιστώσας της ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κίνησης της διάταξης προέρχεται από την παραγόμενη φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια από τη συστοιχία.

Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ήλιου δύο αξόνων είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της, καθώς και ο κίνδυνος καταστροφής λόγω ισχυρών ανέμων. Για το λόγο αυτό σε συστήματα με μηχανική κίνηση για τον προσανατολισμό της επιφάνειας του συλλέκτη προς τον ήλιο ελέγχεται η ταχύτητα του ανέμου και σε περίπτωση ισχυρών ανέμων οι επιφάνειες των συλλεκτών διατάσσονται οριζόντια καθώς τότε παρουσιάζουν μικρή μετωπική επιφάνεια προς τον άνεμο.

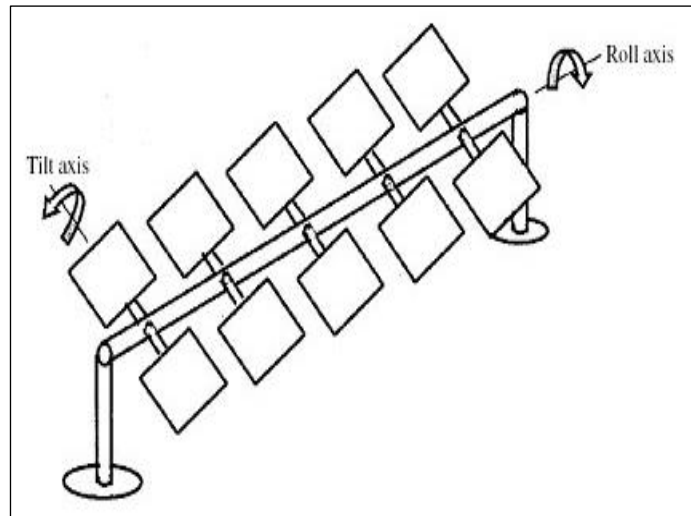
Για την παρακολούθηση δύο αξόνων χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις διατάξεις. Η μορφή που φαίνεται στο σχήμα (α), χρησιμοποιεί ένα κυλινδρικό στήριγμα, πάνω στον οποίο συνδέεται ένα σύνολο κυψελών. Η παρακολούθηση γίνεται συνήθως με τη βοήθεια κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο κινεί τις κυψέλες κατά μήκος ενός κάθετου άξονα (κίνηση περί τον αζιμουθιακό άξονα) και κατά μήκος ενός οριζόντιου άξονα (άξονας ανύψωσης). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η απλότητα της κατασκευής, ενώ μειονεκτεί όσον αφορά το γεγονός ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα μεταφράζονται σε μεγάλη ροπή στο κιβώτιο. Μια άλλη υλοποίηση φαίνεται στο σχήμα (β), στην οποία το φορτίο του αέρα είναι σαφώς μειωμένο, όμως απαιτούνται



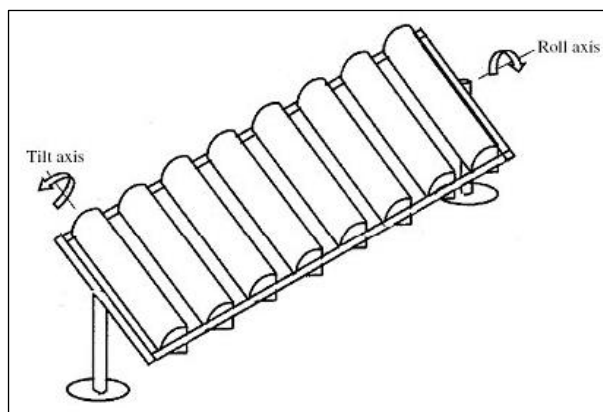
περισσότερες συνδέσεις και ρουλεμάν, κάνοντας την κατασκευή πιο σύνθετη. Μια παραλλαγή της διάταξης αυτής φαίνεται το σχήμα (γ). Τέλος υπάρχει και η διάταξη του σχήματος (δ), η οποία εμφανίζει τα μικρότερα φορτία αέρα και έχει την πιο μικρή και συμπαγή κατασκευή, όμως από την άλλη έχει και την πιο σύνθετη εγκατάσταση.



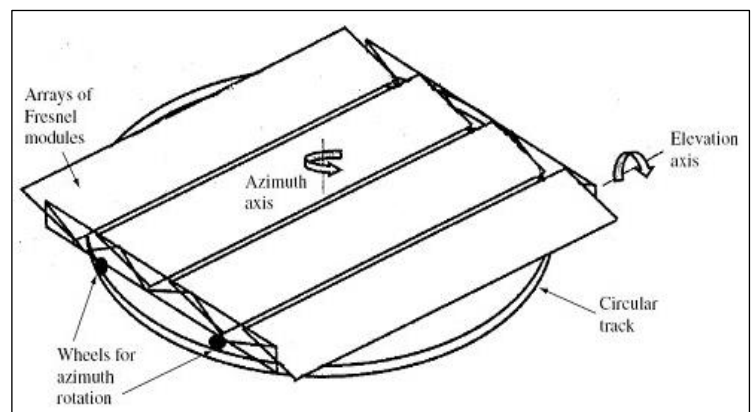
Σχήμα.18-α



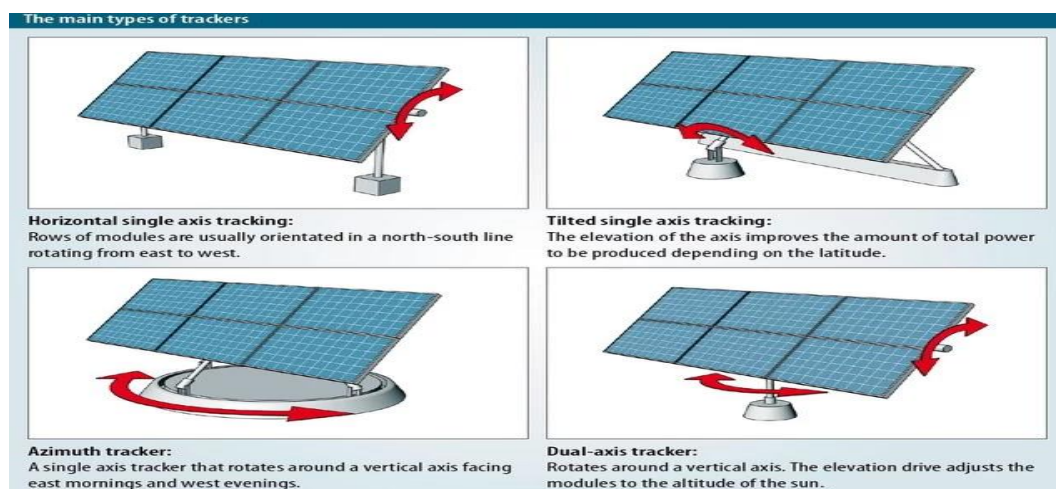
Σχήμα.18-β



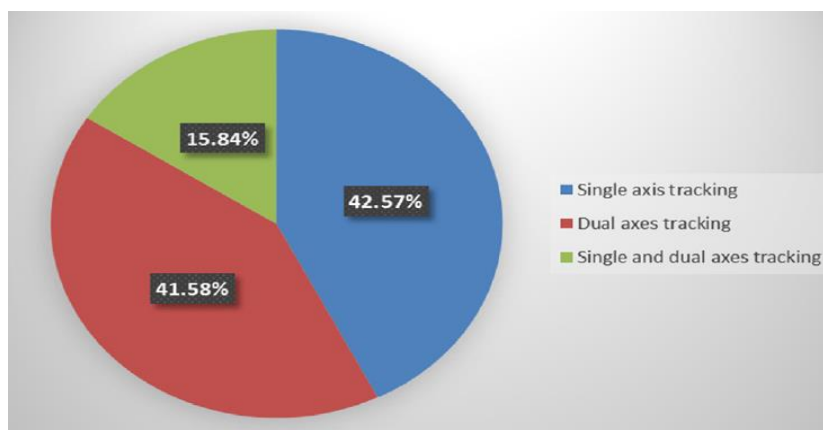
Σχήμα.18-γ



Σχήμα.18-δ



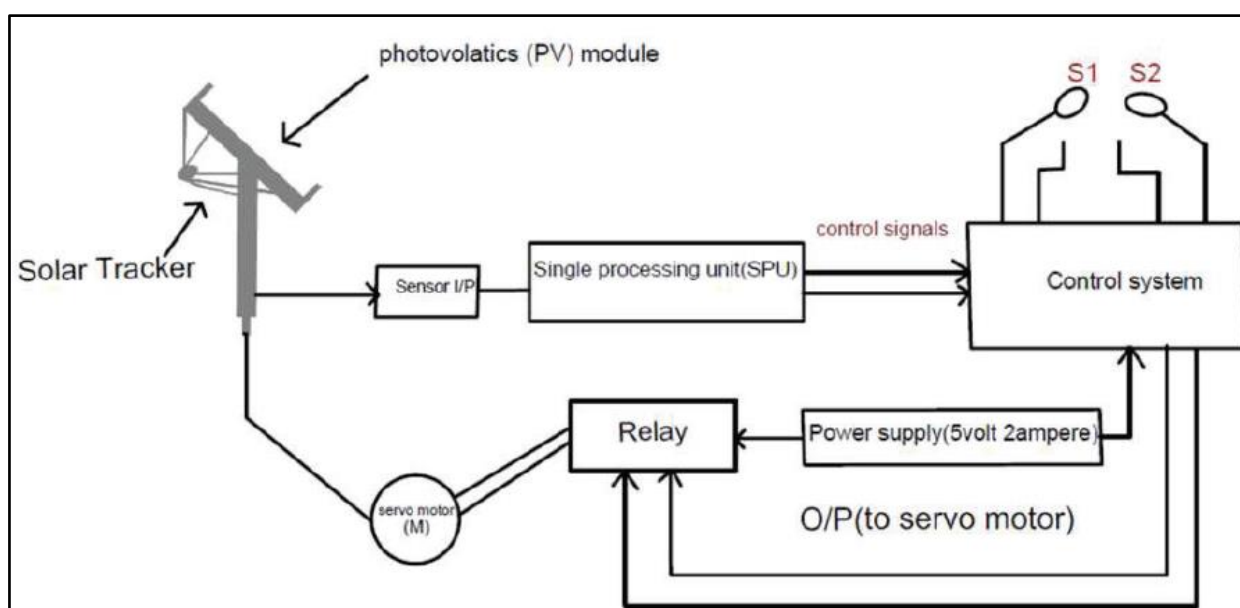
Σχήμα.19:Βασικοί τύποι τράκερς



Σχήμα.20:Ποσοστό χρήσης του κάθε τύπου τράκερ για πρόσφατες μελέτες

## 9.ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΚΑΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (TRACKING)

Τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι τα πρωτεύοντα στοιχεία σε ένα σύστημα με τράκερ. Ο αισθητήρας εισόδου, η μονάδα επεξεργασίας, το σύστημα ελέγχου, ο αναμεταδότης, ο σερβοκινητήρας και η τροφοδότηση είναι από τα βασικά στοιχεία που φαίνονται και στο μπλοκ διάγραμμα στο σχήμ.15 .



Σχήμα.21:Σχέδιο του συστήματος tracking

### ❖ Τεχνική ανίχνευσης του ήλιου

Η ηλιακή παρακολούθηση μπορεί να παρέχει έναν αλγόριθμο για έλεγχο ανοικτού ή κλειστού βρόχου. Αυτή η διαδικασία μετρά την αζιμουθιακή και την ζενιθιακή γωνία του ήλιου. Ο συλλέκτης τότε συνήθως προσανατολίζεται προς τον ήλιο σε αυτές τις γωνίες. Ο αλγόριθμος ελέγχου ανοικτού βρόχου περιέχει εξισώσεις που βασίζονται σε αστρονομικές αναφορές της αζιμουθιακής και υψομετρικής γωνίας του ήλιου σε καθαρά μαθηματική βάση. Εφόσον τα σύννεφα μπορούν να κρύψουν τον ήλιο και να αποκλείσουν ή εμποδίσουν τα σήματα ανάδρασης είναι απαραίτητο το κομμάτι του ανοικτού βρόχου. Ο αλγόριθμος κλειστού βρόχου

ελέγχου χρησιμοποιεί τεχνικές αισθητήρων φωτός πραγματικού χρόνου για να εντοπίσει την τοποθεσία του ήλιου και συμβάλει στο να αφαιρεί μεταβαλλόμενα σφάλματα που οφείλονται στην εγκατάσταση, συναρμολόγηση, ρύθμιση και βάση στήριξης του κωδικοποιητή. Και οι δύο προσεγγίσεις μπορούν να συνδυαστούν προκειμένου να επιτευχθεί οικονομική σχεδίαση με ενισχυμένη απόδοση.

#### ❖ Μονάδα ελέγχου tracker

Η μονάδα ελέγχου υλοποιεί τον αλγόριθμο για την ανίχνευση του ήλιου και τρέχει ταυτόχρονα το πρόγραμμα του συστήματος που αναφέρεται στη θέση. Το μεσαίο της μονάδας ελέγχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μικροεπεξεργαστής ή υπολογιστής. Τυπικά έχει εντολές ως είσοδο και μηχανισμούς διεπαφής για έξοδο δεδομένων. Το αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου ανίχνευσης είναι ιδανικά κατάλληλο για trackers τοποθετημένους σε απομακρυσμένες περιοχές.

#### ❖ Συστήματα μεταβολής θέσης

Στις βέλτιστες γωνίες ο κινητήριος μηχανισμός αλλάζει τη θέση του πλαισίου προκειμένου αυτό να κοιτάει τον ήλιο. Κάποια συστήματα μεταβολής της θέσης είναι ηλεκτρικά και κάποια υδραυλικά όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι ηλεκτρικές διατάξεις χρησιμοποιούνται για να εντοπίζουν την τωρινή θέση του πλαισίου και να το μετακινούν στην επιθυμητή μέσω κωδικοποιητών και συστημάτων οδήγησης μεταβολής συχνότητας (VFD) ή γραμμικών ενεργοποιητών.

#### ❖ Αισθητήρες

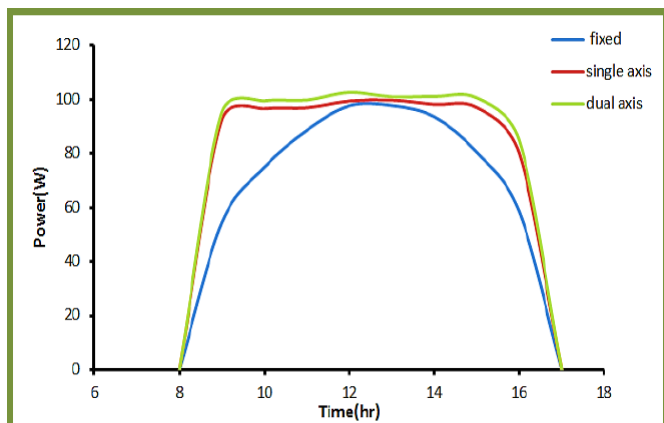
Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να εντοπίζουν ακριβώς τη θέση του ήλιου. Οι αισθητήρες φωτός δεν μπορούν να διορθώσουν μηχανολογικά σφάλματα ή σφάλματα στην μέτρηση για τη συσκευή ανοιχτού βρόχου. Το σύστημα εντοπισμού για την ένταση του φωτός απαιτεί φωτοαντίσταση κλπ. Οι εγκαταστάσεις ηλιακού ελέγχου επίσης χρησιμοποιούν υγρασία ταχύτητα ανέμου, θερμική ακτινοβολία από τα πάνελ και άλλες παραμέτρους των τράκερ που χρειάζονται για το σύστημα παρακολούθησης.

## 10.ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΑΠΟΔΟΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΑΚΕΡ

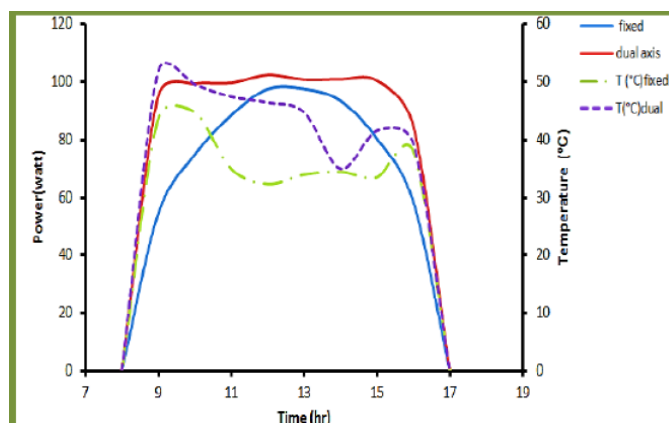
Συγκρινόμενα με συλλέκτες σταθερής στήριξης, η χρήση τράκερ σε φωτοβολταϊκά αυξάνει την παραγωγή τους κατά ένα τρίτο ή και μέχρι 40% σε ορισμένες περιοχές. Με χρήση τράκερ λοιπόν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και η απόδοση του φωτοβολταϊκού αυξάνεται. Αυτό αποδεικνύεται και σε πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε σε πρόσφατη μελέτη το Μάιο του 2016 στο Κιρκούκ του Ιράκ, της οποίας τα στοιχεία παρατίθενται παρακάτω. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ένας συλλέκτης με κίνηση σε δύο άξονες και ένας με σταθερή κλίση ρυθμισμένη στο τοπικό γεωγραφικό πλάτος 35°. Η παραγόμενη τάση εξόδου και το ρεύμα εξόδου μετρούνταν στο χρονικό διάστημα 9 π.μ-4 μ.μ. Η ισχύς εξόδου του ηλιακού πάνελ είναι το γινόμενο του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της τάσης ανοιχτού κυκλώματος ( $P_o = V_{oc} \times I_{sc}$ ). Το σχήμα 22 δείχνει τη γραφική παράσταση της ισχύς εξόδου σε σχέση με το χρόνο συγκρίνοντας τον σταθερό συλλέκτη και τα τράκερ μονού και διπλού άξονα. Από το σχήμα 22 γίνεται αντιληπτό ότι για τον σταθερό συλλέκτη η ισχύς αυξάνεται σταδιακά μέχρι της 12 το μεσημέρι και στη συνέχεια μειώνεται με τη

δύση του ήλιου. Για το τράκερ μονού άξονα η ισχύς εξόδου είναι υψηλότερη από τον σταθερό συλλέκτη και το κέρδος είναι 24.05% . Η κίνηση του είναι στην διεύθυνση ανατολής-δύσης και έχει γωνία κλίσης προς το νότο 35°. Το τράκερ διπλού άξονα επιτυγχάνει 26.22% υψηλότερη ισχύ σε σχέση με το σταθερό πάνελ. Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα των τράκερ στα ΦΒ όπως η θερμοκρασία και η ένταση του φωτός. Το σχήμα 23 δείχνει στο ίδιο διάγραμμα την μεταβολή της ισχύος εξόδου με το χρόνο και τη μέση μεταβολή της ωριαίας θερμοκρασίας σε ένα μήνα στο πάνελ. Παρατηρείται ότι όταν η θερμοκρασία στο πάνελ αυξάνεται η ισχύς εξόδου πέφτει. Στο σχήμα 24 φαίνεται η ωριαία ισχύς εξόδου του ΦΒ για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις όπου στις τρεις τελευταίες ο συλλέκτης είναι καλυμμένος με σελοφάν κίτρινου, πράσινου και μπλε χρώματος αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ότι τα φίλτρα άφησαν μόνο το φως του ίδιου χρώματος να τα διαπεράσει. Η ισχύς εξόδου όταν το φωτοβολταϊκό ήταν κάτω από το φως του ήλιου ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από τις άλλες περιπτώσεις.

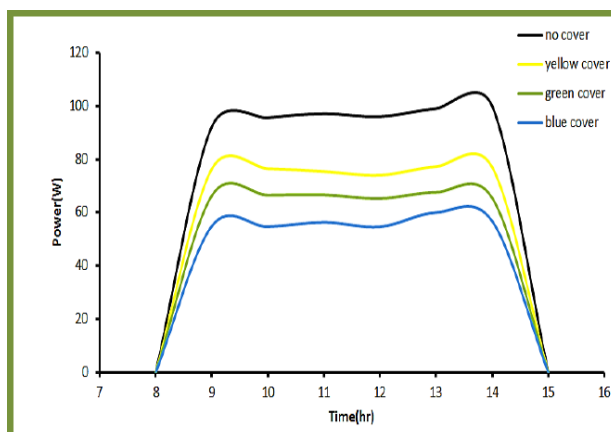
Συμπερασματικά, τα φωτοβολταϊκα με τράκερ διπλού άξονα είναι πιο αποδοτικά όσον αφορά την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχουν συγκρινόμενα με αυτά μονού άξονα και σταθερής στήριξης. Το κέρδος τους είναι περίπου 25-30% σε σχέση με τους συλλέκτες σταθερής κλίσης. Η υψηλή θερμοκρασία και κάποιο κάλυμμα μειώνουν την ισχύ εξόδου του πάνελ και έτσι κάποιο κάλυμμα ενδεχομένως για αποφυγή σκόνης έχει αρνητική επίδραση στην ποσότητα ισχύος που παράγει.



Σχήμα.22



Σχήμα.23



Σχήμα.24



## 11.ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <https://www.sunshine-energy.gr/%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD/%CE%BA%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AC-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%89%CE%BD-%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%AF%CF%89%CE%BD>
- [2] [https://youtu.be/T1L\\_EjuFav4](https://youtu.be/T1L_EjuFav4)
- [3] Yao, Y., Hu, Y., Gao, S., Yang, G., & Du, J. (2014). A multipurpose dual-axis solar tracker with two tracking strategies. *Renewable Energy*, 72, 88-98.
- [4] Hafez, A. Z., Yousef, A. M., & Harag, N. M. (2018). Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 754-782.
- [5] Akbar, H. S., Siddiq, A. I., & Aziz, M. W. (2017). Microcontroller based dual axis sun tracking system for maximum solar energy generation. *American Journal of Energy Research*, 5(1), 23-27.
- [6] Singh, A. P., & Yadav, I. (2021, April). A Review on The Axis Tracking Used for Solar PV Application. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1116, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- [7] Χαραλάμπους, Χ. Κ. (2012). *Τεχνοϊκονομική μελέτη για την κατασκευή μικρού σταθμού από κινούμενες φωτοβολταϊκές γεννήτριες (trackers) για την διασυνδεδεμένη τροφοδότηση μικρού οικισμού* (Bachelor's thesis).
- [8] Μαυρακάκης, Ν. (2018). Μελέτη αποδοτικότητας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 80 KW με στήριξη 2 αξόνων στην Ιεράπετρα.
- [9] Παπακωνσταντίνου, Α. Κ. (2014). Τεχνική αξιολόγηση συστημάτων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- [10] Mpodi, E. K., Tjiparuro, Z., & Matsebe, O. (2019). Review of dual axis solar tracking and development of its functional model. *Procedia Manufacturing*, 35, 580-588.
- [11] <https://www.degerhellas.gr/mld/>
- [12] <https://www.degerhellas.gr/wp-content/uploads/deger-mld-ArxhLeitourgias.pdf>