



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
& Μηχανικών Υπολογιστών

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

ΜΑΣΣΑΡΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, ΑΜ: 7719

ΚΟΥΡΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ - ΖΑΦΕΙΡΙΟΣ, ΑΜ:7724

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2024

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία:

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ:

1. Νικόλαος Σχοινάς _____ Υπογραφή:

2. Βασίλειος Νεκτάριος Χαραλαμπάκος ____ , Υπογραφή:

3. Αναστάσιος Δροσόπουλος _____ , Υπογραφή:

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχουμε αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έγινε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή και της φοιτήτριας που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης οι συγγραφείς/δημιουργοί εκχωρούν στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας των συγγραφέων/δημιουργών ούτε επιτρέπει την

αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Οι συγγραφείς/δημιουργοί διατηρούν το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών τους δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη απόδοσης φωτοβολταϊκού πάρκου. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή και ιστορική αναδρομή στη χρήση της ηλιακής ενέργειας από την αρχαιότητα μέχρι και τις μέρες μας. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου αναλύεται η δομή και η λειτουργία των συστημάτων ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου (trackers) και στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αιτίες απωλειών στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Κατόπιν, το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί έναν οδηγό χρήσης για το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα πάνελ και στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πέντε διαφορετικά σενάρια φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 100kWp που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα προκειμένου να εξαχθούν αποτελέσματα. Τελός στο έκτο κεφάλαιο εκπονείται μια τεχνοοικονομική μελέτη προκειμένου να διαπιστωθεί η βιωσιμότητα δύο από τις πιο αποδοτικές διατάξεις που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (μία περίπτωση με σταθερές βάσεις και μία με ιχνηλάτες)

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ενέργεια, απώλειες σε φωτοβολταϊκά συστήματα, PVsyst, σταθερές βάσεις, ιχνηλάτες, γωνία κλίσης, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

ABSTRACT

The subject of this thesis is the performance study of a photovoltaic park. The first chapter is an introduction and historical review of the use of solar energy from antiquity to the present day. This is followed by the second chapter where the structure and operation of the tracking systems of the sun's course (trackers) are analyzed and then in the third chapter the causes of losses in photovoltaic systems are presented. Then, the fourth chapter is a user guide for the program used to calculate the electricity produced by the panels and the fifth chapter presents the five different 100kWp PV park scenarios that were used in the program to derive results. Finally, in the sixth chapter, a techno-economic study is prepared in order to establish the viability of two of the most efficient arrangements described in the previous chapter (one case with fixed bases and one with trackers)

Keywords: solar energy, losses in photovoltaic systems, PVsyst, fixed mounts, trackers, tilt angle, electricity generation

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	III
ABSTRACT	IV
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	VIII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	IX
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	X
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ (TRACKERS).....	6
2.1 Ηλιακά συστήματα παρακολούθησης.....	6
2.2 Κατηγοριοποίηση ηλιακών ανιχνευτών βάσει τεχνολογιών.....	7
2.2.1 Παθητικός ηλιακός ιχνηλάτης	7
2.2.2 Ενεργός ηλιακός ιχνηλάτης	9
2.2.3 Ενεργός ηλιακός ιχνηλάτης με σύστημα μονού άξονα	10
2.2.4 Ενεργός ηλιακός ιχνηλάτης με σύστημα διπλού άξονα	12
2.2.5 Χρονολογικός ηλιακός ιχνηλάτης	18
2.3 Περιορισμοί ηλιακού συστήματος παρακολούθησης	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	22
3.1 Επιδράσεις σκίασης στην ηλιακή απόδοση	22
3.1.1 Λύσεις για Θέμα Ηλιακής Σκίασης	22

3.2	Επιδράσεις σκόνης στην ηλιακή απόδοση	23
3.3	Οπτικές απώλειες συστοιχίας ηλιακών κυψελών	24
3.4	Φασματικές αποκρίσεις ηλιακών κυττάρων.....	24
3.5	Απώλεια συστήματος ηλιακής ενέργειας λόγω επιπέδου ακτινοβολίας	25
3.6	Θερμική απώλεια κυψελών ηλιακών πάνελ	25
3.7	Απώλεια ασυμφωνίας ηλιακών φωτοβολταϊκών μονάδων	25
3.8	Απώλειες καλωδίωσης DC ηλιακών συλλεκτών.....	26
3.9	Απώλειες σε μετατροπείς ηλιακής ενέργειας.....	27
3.10	Πτώση Τάσης Ενεργειακού Συστήματος	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PVSyst		29
4.1	Βήμα 1: Επιλογή του είδους του Project.....	29
4.2	Βήμα 2: Επιλογή της έκτασης όπου θα εγκατασταθεί το ΦΒ πάρκο..	30
4.3	Βήμα 3: Καθορισμός του folder αποθήκευσης του project.....	32
4.4	Βήμα 4: Εμφάνιση αρχικής σελίδας του project	33
4.5	Βήμα 5:Επιλογή προσανατολισμού	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....		35
5.1	Εισαγωγή συντεταγμένων και μετεωρολογικών στοιχείων.....	35
5.2	Παρουσίαση των 5 διαφορετικών σεναρίων για την εγκατάσταση των 100kW.....	40
5.2.1	Σενάριο 1: Σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30°	40
5.2.2	Σενάριο 2: Σταθερές βάσεις με αλλαγή γωνίας κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι	45

5.2.3	Σενάριο 3: Κινητές βάσεις (ιχνηλάτες) στον άξονα βορρά - νότου	49
5.2.4	Σενάριο4: Ιχνηλάτες στους δύο άξονες κίνησης	53
5.2.5	Σενάριο 5:Ιχνηλάτες με κάθετο άξονα κίνησης	57
5.3	Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων	61
5.4	Ηλεκτρολογικός έλεγχος της εγκατάστασης	62
5.4.1	Φωτοβολταϊκά πλαίσια	62
5.4.2	Αντιστροφέας (INVERTER)	63
5.4.3	Ηλεκτρολογικός έλεγχος	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ		65
6.1	Ετήσια έσοδα από τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο	65
6.2	Κόστος αρχικής εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης	66
6.2.1	Ετήσια έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ		73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1	Ηλιακές γωνίες στη θέση παρακολούθησης του ήλιου	7
Εικόνα 2.2	Παθητικός ηλιακός ιχνηλάτης χρησιμοποιώντας κυλινδρικούς σωλήνες γεμάτους με ρευστό.[3].....	8
Εικόνα 2.3	Παθητικός Ιχνηλάτης. Ο συλλέκτης μετακινείται καθώς το βάρος μετατοπίζεται μεταξύ των κάνιστρων λόγω της διαφορικής θέρμανσης των δοχείων (https://electricalacademia.com/renewable-energy/single-axis-dual-axis-solar-trackers/)	9
Εικόνα 2.4	Διάφοροι τύποι ενεργών ηλιακών ιχνηλατών (https://www.indiamart.com/proddetail/single-axis-solar-tracker-22460624333.html).....	17
Εικόνα 3.1	Συσσώρευση σκόνης πάνω σε ΦΒ πάνελ	24
Εικόνα 3.2	Άποψη από την καλωδίωση ΦΒ πάνελ	26
Εικόνα 5.1	Εισαγωγή συντεταγμένων θέσης πάρκου	35
Εικόνα 5.2	Καταχώρηση συντεταγμένων.....	36
Εικόνα 5.3	Καταχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων	36
Εικόνα 5.4	Εμφάνιση θέσης.....	37
Εικόνα 5.5	Καταχώρηση ονόματος project.....	37
Εικόνα 5.6	Σταθερές βάσεις με κλίση 30°	38
Εικόνα 5.7	Εισαγωγή τετραγωνικών έκτασης, επιλογή πάνελ και αντιστροφή	38
Εικόνα 5.8	Εκτέλεση project πατώντας Run simulation.....	39
Εικόνα 5.9	Η εικόνα του προγράμματος μετά το τρέξιμο του project	39
Εικόνα 5.10	Ορισμός σταθερής κλίσης 30°.....	40
Εικόνα 5.11	Ορισμός μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι	45
Εικόνα 5.12	Ορισμός ιχνηλατών.....	49
Εικόνα 5.13	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα	53

Εικόνα 5.14	Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα	57
Εικόνα 5.15	Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (https://www.firstsolar.com/en-Emea/-/media/First-Solar/Landing-Pages/EU-Roadshows/FS_Series6Datasheet.ashx?la=en-EMEA).....	62
Εικόνα 5.16	Ο αντιστροφέας Sunny Tripower CORE2 (https://natec.com/wp-content/uploads/2020/10/SMA-Core2-STP110-60-DS-en-10.pdf)	64

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1	Διάγραμμα απωλειών ισχύος με σταθερές βάσεις και κλίση 30°	42
Διάγραμμα 5.2	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°.....	44
Διάγραμμα 5.3	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°.....	44
Διάγραμμα 5.4	Διάγραμμα απωλειών ισχύος για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι.....	47
Διάγραμμα 5.5	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία στο πάνελ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι	48
Διάγραμμα 5.6	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι	48
Διάγραμμα 5.7	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις	51
Διάγραμμα 5.8	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις.....	52
Διάγραμμα 5.9	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις	52
Διάγραμμα 5.10	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα.....	55

Διάγραμμα 5.11	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα	56
Διάγραμμα 5.12	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα.....	56
Διάγραμμα 5.10	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα	59
Διάγραμμα 5.14	Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα	60
Διάγραμμα 5.15	Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα	60

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1	Παθητικός, ενεργός και χρονολογικός ηλιακός ιχνηλάτης[2]	21
Πίνακας 5-1	Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις	40
Πίνακας 5-2	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις και κλίση 30°	41
Πίνακας 5-3	Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι.....	45
Πίνακας 5-4	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα –καλοκαίρι	46
Πίνακας 5-5	Ορισμός των ιχνηλατών	49
Πίνακας 5-6	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις	50
Πίνακας 5-7	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα	53
Πίνακας 5-8	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις οριζόντιου άξονα.....	54
Πίνακας 5-9	Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα .	57
Πίνακας 5-10	Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις κάθετου άξονα	58

Πίνακας 5-11	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ (https://www.firstsolar.com/en-Emea/-/media/First-Solar/Landing-Pages/EU-Roadshows/FS_Series6Datasheet.ashx?la=en-EMEA)	63
Πίνακας 5-12	Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα (https://natec.com/wp-content/uploads/2020/10/SMA-Core2-STP110-60-DS-en-10.pdf)	63
Πίνακας 6-1	Ετήσια έσοδα των εγκαταστάσεων	65
Πίνακας 6-2	Κόστος αρχικής εγκατάστασης	66
Πίνακας 6-3	Κόστος ετήσιας συντήρησης.....	66
Πίνακας 6-4	Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για σταθερές βάσεις	68
Πίνακας 6-5	Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για ιχνηλάτες	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλιακή ενέργεια στις μέρες μας χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τα συστήματα για να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόδοση συνεχώς βελτιώνονται. Η σχέση του ανθρώπου με τον ήλιο δεν είναι καινούρια, είναι συνυφασμένη με την ύπαρξή του. Ακολουθεί μια ιστορική αναδρομή μέσα από την οποία γίνονται αντιληπτά τα ιστορικά στάδια και οι ανακαλύψεις που οδήγησαν στην εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τη μορφή που ξέρουμε σήμερα[1]

- 2500 Π.Χ.: Ο Θεός Ήλιος

Από τα αρχαία χρόνια, ο Ήλιος αναγνωρίζεται ως πηγή ζωής, τόσο που ορισμένοι πληθυσμοί τον θεωρούν θεότητα . Οι ινδουιστικές γραφές ορίζουν τον ήλιο ως «αυτόν που τρέφει». Για την ελληνική φιλοσοφία ο Πλάτωνας ενσάρκωσε την εικόνα του καλού.

- 800 Π.Χ.: Η φωτιά της Ολυμπίας

Ορισμένες καλλιτεχνικές απεικονίσεις δείχνουν πώς κατά τη διάρκεια των πρώτων αθλητικών γεγονότων, η Ολυμπιακή φλόγα προήλθε από έναν φακό που εστίαζε την ηλιακή θερμότητα στην άκρη μιας σκυτάλης. Μια παρόμοια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία πυρκαγιών κατά τη διάρκεια των γιορτών και των θρησκευτικών τελετουργιών.

- 212ΠΧ: Ένα λαμπρό όπλο

Σύμφωνα με το μύθο, ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε ένα σύστημα κατόπτρων για να πυρπολήσει τα πανιά του ρωμαϊκού στόλου που πολιορκούσε τις Συρακούσες κατά τη διάρκεια του Β' Πουνικού Πολέμου.

- 1ος -3ος αιώνας :Μια αυτοκρατορική συγκομιδή

Οι Ρωμαίοι εισάγουν το γυαλί στις κατοικίες ως έναν τρόπο για να αυξήσουν τη φωτεινότητα και να διατηρήσουν τη ζεστασιά. Τα ιαματικά λουτρά της Αρχαίας Ρώμης ήταν τα επιτρεπόμενα κέντρα αναψυχής της αυτοκρατορίας και επωφελήθηκαν πολύ από τα μεγάλα γυάλινα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό. Γύρω στο 37 μ.Χ. χτίστηκε το πρώτο γυάλινο θερμοκήπιο για να καλλιεργηθούν λαχανικά που σέρβιραν στον αυτοκράτορα Τιβέριο.

- 5ος αιώνας :Η ανακάλυψη της διάθλασης

Ο Άραβας πολύμαθος Ibn al-Haytham στο «Βιβλίο της Οπτικής» είναι ο πρώτος που εξηγεί πώς λειτουργεί η διάθλαση του φωτός και γιατί μια σφαίρα από διαφανές υλικό εστιάζει την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σημείο που βρίσκεται κάτω από την ίδια σφαίρα. Το έργο του θα είχε μεγάλη επιρροή στον Φράνσις Μπέικον και σε άλλους Ευρωπαίους φιλοσόφους.

- 16ος αιώνας: Ο καθρέφτης του Λεονάρντο

Ο Λεονάρντο ντα Βίντσι σχεδιάζει έναν παραβολικό καθρέφτη ικανό να αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για να στεγνώνει φύλλα υφάσματος. Στο έργο του «De distillatione», ο φιλόσοφος και αλχημιστής Giovanni Battista Della Porta περιγράφει τη λειτουργία ενός αποστακτήρα θαλασσινού νερού με ηλιακή ενέργεια.

- 1767: Ο πρώτος ηλιακός συλλέκτης

Στον Ελβετό επιστήμονα και ορειβάτη Horace de Saussure πιστώνεται η εφεύρεση του πρώτου ηλιακού συλλέκτη. Με μια ξύλινη κατσαρόλα καλυμμένη με μαύρο φελλό και τρία στρώματα γυαλιού, καταφέρνει να αιχμαλωτίσει τη ζέστη του ήλιου και να βράσει νερό για μαγειρικούς σκοπούς.

- 1839: Από την πλατίνα στον ηλεκτρισμό

Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel παρατηρεί πώς μερικές ράβδοι πλατίνας - όταν χτυπιούνται από τις ακτίνες του ήλιου - δημιουργούν ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι γνωστό ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και είναι το υποκείμενο φαινόμενο των σημερινών φωτοβολταϊκών στοιχείων.

- 1873: Το σημείο καμπής του σεληνίου

Ο Βρετανός ηλεκτρολόγος μηχανικός Willoughby Smith ανακαλύπτει ότι το σελήνιο εάν εκτεθεί στο φως, βελτιώνει την ηλεκτρική του αγωγιμότητα

- 1879: Το πρώτο ηλιακό κύτταρο

Ο Αμερικανός επιστήμονας Τσαρλς Φριτς κατασκευάζει τις πρώτες ηλιακές κυψέλες κατασκευασμένες από ένα στρώμα σεληνίου και ένα φύλλο χρυσού. Το ποσοστό μετατροπής τους ήταν χαμηλότερο από 1%, αλλά άνοιξαν την πύλη για μια ευρεία χρήση της ηλιακής ενέργειας ως πηγή ενέργειας.

- 1884: Πάνω στις ηλιόλουστες στέγες της Νέας Υόρκης

Το πρώτο ηλιακό πάνελ τοποθετήθηκε σε στέγη της Νέας Υόρκης. Η απόδοσή του ήταν πολύ κάτω από τα αποδεκτά επίπεδα και έτσι η παραγωγή του εγκαταλείφθηκε.

- 1921: Αϊνστάιν, φωτόνια και ηλεκτρόνια

Ο Άλμπερτ Αϊνστάιν τιμήθηκε με το Νόμπελ Φυσικής για το πρωτοποριακό έργο του που οδήγησε στη διατύπωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου εξηγώντας προσεκτικά πώς το φως αλληλεπιδρά με τον ηλεκτρισμό. Ο επιστήμονας θεωρεί ότι το φως δημιουργείται από φωτόνια που περιέχουν ενέργεια, τα οποία με τη σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρόνια από ορισμένα υλικά όπως το σελήνιο.

- 1954: Silica, η αρχή μιας νέας εποχής

Οι Chapin, Fuller και Pearson αναπτύσσουν ένα ηλιακό στοιχείο με βάση το πυρίτιο, μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιώντας έτσι ως πηγή ενέργειας για καθημερινές συσκευές. Η Νιου Γιόρκ Ταιμς χαιρέτισε αυτή την εφεύρεση ως «την αρχή μιας νέας εποχής που θα οδηγήσει τελικά στην αξιοποίηση της απεριόριστης ενέργειας του ήλιου προς όφελος της ανθρωπότητας».

- 1958: Ήλιος και διάστημα

Οι κυψέλες πυριτίου εμφανίζονται στον κατασκευασμένο στις ΗΠΑ Vanguard I, τον πρώτο δορυφόρο με ηλιακή ενέργεια. Αυτό οδηγεί τον δρόμο ώστε η ηλιακή ενέργεια να γίνει αναπόσπαστο μέρος των δορυφόρων, τροφοδοτώντας την υποδομή σε τροχιά στο διάστημα που παρέχει ειδήσεις, ταινίες, πληροφορίες για τον καιρό, τηλεφωνικές επικοινωνίες και πολλά άλλα στη σύγχρονη κοινωνία.

- 1963-1970: Από τα εργοστάσια στους δρόμους

Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία βγήκαν στην αγορά, αν και σε απαγορευτική τιμή. Αυτό μέχρι που ο Elliot Berman κατάφερε να κατασκευάσει ηλιακά κύτταρα με χαμηλότερο κόστος παραγωγής, επιτρέποντας την εφαρμογή τους σε φώτα έκτακτης ανάγκης, φάρους και σιδηροδρομικές διαβάσεις.

- 1973: Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εκτινάσσονται στα ύψη

Το εμπάργκο που επέβαλε ο ΟΠΕΚ (Ο Οργανισμός Πετρελαιοεξαγωγικών Χωρών) ως απάντηση στον πόλεμο του Γιομ Κιπούρ οδήγησε σε αύξηση της τιμής του πετρελαίου και των παραγώγων του και, κατά συνέπεια, στην πετρελαϊκή κρίση του 1973.

- 1980: Ελβετική αποτελεσματικότητα

Η Markus Real εγκατέστησε ηλιακές συστοιχίες 3 kW σε 333 ταράτσες στη Ζυρίχη, αποδεικνύοντας τη σκοπιμότητα ενός νέου ενεργειακού μοντέλου και ανοίγοντας το δρόμο για την ανάπτυξη οικιακών φωτοβολταϊκών . Η Ελβετία αναδείχθηκε η πρώτη χώρα που επιδότησε την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

- 1982: Τετράτροχη ηλιακή ενέργεια

Το πρώτο αυτοκίνητο που τροφοδοτείται από ηλιακά κύτταρα βγαίνει στον δρόμο στην Αυστραλία. Είναι το Quiet Achiever .

- 2004: Η ευρωπαϊκή άνθηση

Η εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς στην Ευρώπη ξεπερνά το όριο του 1 GWp (μέγιστη γιγαβάτ): αύξηση 69% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος , χάρη στις συνεχείς επενδύσεις (που προέρχονται από τη Γερμανία) και μέσω της διάδοσης στοχευμένων φορολογικών εκπτώσεων (σύστημα «Conto Energia» της Ιταλίας).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ (TRACKERS)

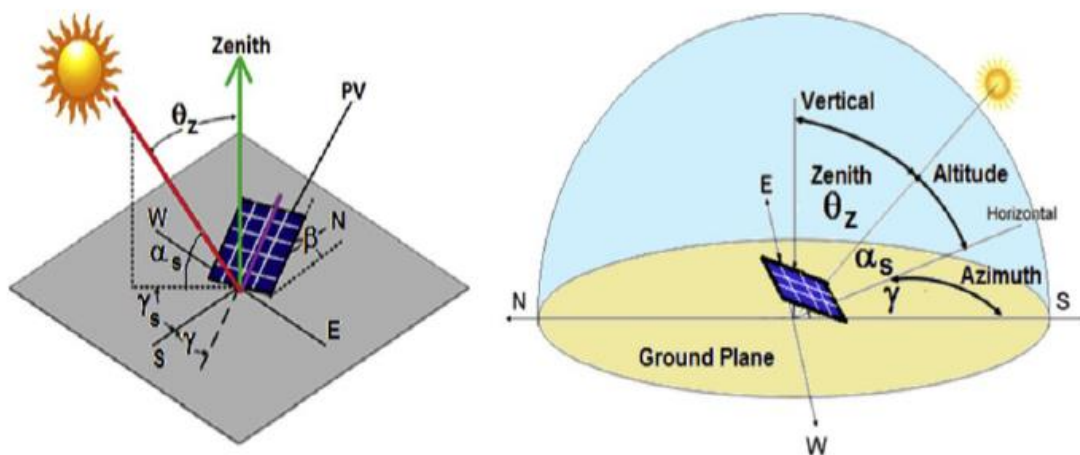
2.1 Ηλιακά συστήματα παρακολούθησης

Τα συστήματα ηλιακής παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί κυρίως για να διατηρούν την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ κάθετη προς την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή παρακολούθηση θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ενέργειας, ούτως ώστε η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό πάνελ να μπορεί να μεγιστοποιηθεί. Ηλιακή ακτινοβολία, γωνία ηλιακού αζιμουθίου, γωνία ανύψωσης, γωνία κλίσης, γωνία απόκλισης και γωνία ζενίθ είναι οι σημαντικές παράμετροι που προσδιορίζουν την καλύτερη θέση του ηλιακού συστήματος παρακολούθησης.. Οι πιο σημαντικές γωνίες για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου είναι το υψόμετρο (υψόμετρο) και η γωνία αζιμουθίου.. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας είτε την ισχύ των πηγών φωτός είτε τη φωτεινή ροή. Οι γωνίες ανύψωσης (α_s) και ζενίθ (θ_z) έχουν στενή ορισμό στη γωνία απόκλισης [13]. Η γωνία απόκλισης (δ) είναι η γωνία μεταξύ του ισημερινού και μιας γραμμής που χαράσσεται από το κέντρο του ήλιου στο κέντρο της γης. Εν τω μεταξύ, η γωνία ανύψωσης είναι η γωνία μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και του ορίζοντα. Σύμφωνα με ορισμός, ένα υψόμετρο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση

$$\alpha_s = 90 - \theta_z$$

Ηλιακή γωνία αζιμουθίου (γ_s) είναι η γωνία που δείχνει την κλίση της ακτίνας του ήλιου προς τα βόρεια κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Η γωνία αζιμουθίου επιφάνειας (γ) είναι η γωνία που δείχνει την απόκλιση της κατακόρυφης επιφάνειας στο τοπικό γεωγραφικό μήκος. Η γωνία κλίσης (β) αντιπροσωπεύει τη γωνία μεταξύ της επιφάνειας και του ορίζοντα, τη θετική τιμή για την επιφάνεια που βλέπει στον ισημερινό. Η Εικόνα 2.1 δείχνει το διάγραμμα που απεικονίζει την ηλιακή γωνία. Τα κινούμενα ηλιακά

συστήματα παρακολούθησης μπορούν να κινούνται χειροκίνητα ή αυτόματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το ηλιακό σύστημα παρακολούθησης περιλαμβάνει πολλά ζητήματα, όπως έναν ή δύο κινητήρες, διαφορετικό τύπο οπτικού αισθητήρα και ανεξάρτητη ή βοηθητική παροχή ρεύματος. Η ταξινόμηση αυτών των πτυχών εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένης της δύναμης που οδηγεί τα κινούμενα φωτιστικά τους και τον τρόπο λειτουργίας τους.[2]



Εικόνα 2.1 Ηλιακές γωνίες στη θέση παρακολούθησης του ήλιου

2.2 Κατηγοριοποίηση ηλιακών ανιχνευτών βάσει τεχνολογιών

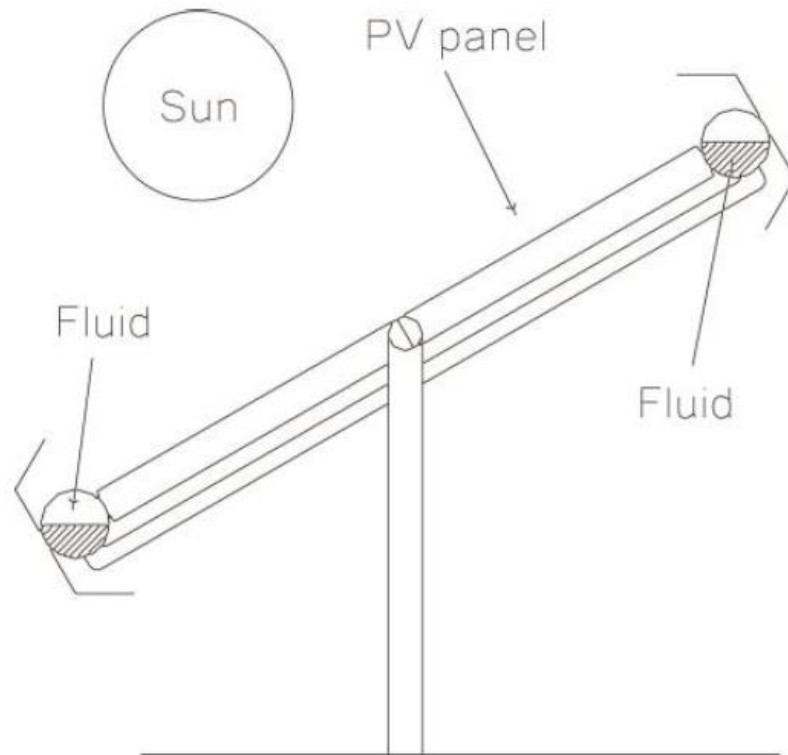
Τα συστήματα ηλιακών ανιχνευτών μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση τις τεχνικές που ελέγχουν την κίνηση των Φ/Β πάνελ. Μπορεί να είναι παθητικό, ενεργητικό ή χρονολογικό σύστημα παρακολούθησης.[2]

2.2.1 Παθητικός ηλιακός ιχνηλάτης

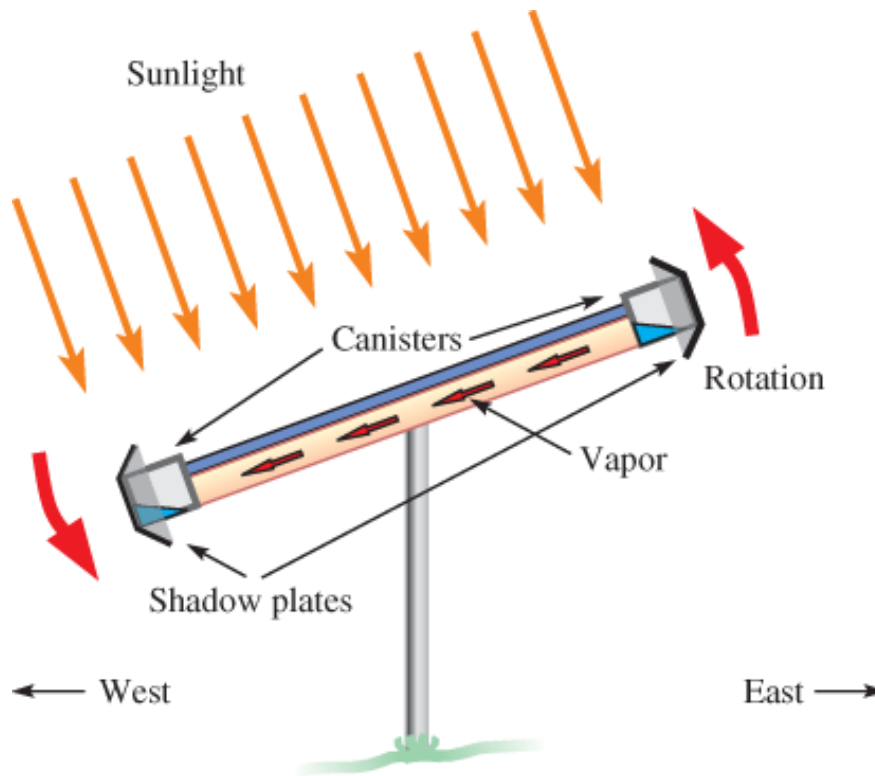
Οι παθητικοί ηλιακοί ιχνηλάτες έχουν την ικανότητα να προσανατολίζουν τις μονάδες ανίχνευσης προς την κατεύθυνση της δέσμης της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς τη χρήση μηχανικών κινήσεων[2]

Αυτά τα συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να παρακολουθούν τον ήλιο χωρίς καμία ηλεκτρονική συσκευή. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν υγρά που

διαστέλλονται όταν θερμαίνονται από τον ήλιο. Αυτά τα υγρά περιέχονται σε κυλινδρικά δοχεία συνδεδεμένα με σωλήνες στις πλευρές του πίνακα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2 και στην Εικόνα 2.3. Η διαστολή του ρευστού σε διαφορετικά επίπεδα λόγω της θέσης του ήλιου δημιουργεί μια μετατόπιση του βάρους του ρευστού μεταξύ των δύο πλευρών του tracker, προκαλώντας την κίνηση προς τον ήλιο.[3]



Εικόνα 2.2 Παθητικός ηλιακός ιχνηλάτης χρησιμοποιώντας κυλινδρικούς σωλήνες γεμάτους με ρευστό.[3]



Εικόνα 2.3 Παθητικός Ιχνηλάτης. Ο συλλέκτης μετακινείται καθώς το βάρος μετατοπίζεται μεταξύ των κάνιστρων λόγω της διαφορεικής θέρμανσης των δοχείων (<https://electricalacademia.com/renewable-energy/single-axis-dual-axis-solar-trackers/>)

Ωστόσο, αυτή η μέθοδος παρακολούθησης του ήλιου είναι χαμηλής ακρίβειας και βασίζεται κυρίως στις καιρικές συνθήκες της τοποθεσίας. Η επιλεγμένη θέση για την εγκατάσταση ηλιακού ιχνηλάτη είναι πολύ σημαντική, επειδή η τοποθεσία πρέπει να έχει επαρκή συνεχή ηλιακή ακτινοβολία για μια αποτελεσματική διαδικασία θέρμανσης. Ο τύπος του συστήματος ενεργού ηλιακού ανιχνευτή μπορεί να λύσει το πρόβλημα της χρήσης παθητικών ηλιακών ιχνηλατών.[2]

2.2.2 Ενεργός ηλιακός ιχνηλάτης

Το ενεργό ηλιακό σύστημα παρακολούθησης καθορίζει τη θέση του ήλιου συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας με την ύπαρξη αισθητήρων. Ο αισθητήρας ενεργοποιεί τον κινητήρα ή τον ενεργοποιητή για να μετακινήσει το εξάρτημά τους ακολουθώντας την ηλιακή ακτινοβολία. Εάν το φως του ήλιου δεν είναι κάθετο στον ιχνηλάτη, τότε θα υπάρχει διαφορετικός

φωτισμός σε έναν αισθητήρα φωτός σε σύγκριση με έναν άλλο. Αυτή η διαφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης προς την οποία πρέπει να κατευθυνθεί ο ιχνηλάτης προκειμένου να είναι κάθετος στον ήλιο. Οι ενεργοί ηλιακοί ιχνηλάτες κατηγοριοποιούνται περαιτέρω σε τέσσερις κατηγορίες με βάση τις στρατηγικές παρακολούθησης. Υπάρχουν μικροεπεξεργαστές και ηλεκτρο-οπτικός αισθητήρας, με βάση την ημερομηνία και την ώρα, με βάση βοηθητικές φωτοβολταϊκές κυψέλες διπλής όψης καθώς και τον συνδυασμό των τριών παραπάνω τύπων. Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στις τεχνολογίες κίνησης του ηλιακού ιχνηλάτη. Ο αριθμός του άξονα που χρησιμοποιείται συνήθως για τη μετακίνηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας για όλα τα συστήματα ηλιακών ανιχνευτών. Επί του παρόντος, οι ηλιακοί ιχνηλάτες κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριες ομάδες με βάση τις τεχνολογίες κίνησής τους, οι οποίες είναι σύστημα παρακολούθησης μονού άξονα και σύστημα ιχνηλατών διπλού άξονα.[2]

2.2.3 Ενεργός ηλιακός ιχνηλάτης με σύστημα μονού άξονα

Ένα σύστημα παρακολούθησης μονού άξονα παρέχει μόνο έναν βαθμό ελευθερίας που λειτουργεί ως άξονας περιστροφής. Το σύστημα παρακολούθησης μονού άξονα είναι ο απλούστερος ιχνηλάτης, συνήθως καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια και έχουν ελάχιστη πολυπλοκότητα από ένα σύστημα πολλαπλών αξόνων . Το 2012, οι Deb et al. πρότεινε ένα ηλιακό σύστημα παρακολούθησης με δύο αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας σε ανατολικές και δυτικές τοποθεσίες. Χρησιμοποιώντας το LABVIEW, οι συγγραφείς υπολογίζουν την ένταση του φωτός με τα δεδομένα της θερμοκρασίας που συλλέγονται. Η κατεύθυνση της κίνησης του συστήματος ηλιακού ανιχνευτή μέσω ενός βηματικού κινητήρα προσδιορίστηκε άμεσα όταν υπάρχει διαφορά μεταξύ μιας κατεύθυνσης της έντασης του φωτός προς την άλλη κατεύθυνση. Οι Kamala et al. σχεδίασε μια ηλιακή παρακολούθηση μονού άξονα που οδηγείται από έναν μικροελεγκτή PIC για να μεγιστοποιήσει τη συλλογή ενέργειας. Τα δύο φωτοβολταϊκά πάνελ είναι διατεταγμένα με τη μορφή τριγώνου που βρίσκεται απέναντι το

ένα από το άλλο. Δύο επίπεδα κατωφλίου εφαρμόζονται για να οδηγήσουν την κίνηση του φωτοβολταϊκού πίνακα. Το πρώτο κατώφλι έχει σχεδιαστεί για να ενεργοποιεί την παρακολούθηση και να υποδεικνύει τη διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας. Εν τω μεταξύ, το δεύτερο κατώφλι χρησιμοποιείται για την απενεργοποίηση των περιφερειακών κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ή βροχερών καιρικών συνθηκών για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι συγγραφείς έχουν σχεδιάσει το οικονομικό σύστημα, αλλά αντιμετωπίζουν το πρόβλημα όταν το σύστημα σταματά να λειτουργεί μετά τη δύση του ηλίου. Οφείλεται στο ότι το φωτοβολταϊκό πάνελ πρέπει να τοποθετηθεί πίσω στην ανατολική πλευρά για την επόμενη ημέρα παρακολούθησης.

Πρόσφατα, οι Dian et al. πρότεινε και σχεδίασε ένα σύστημα ηλιακού ανιχνευτή με βάση το GPS, το οποίο μπορεί να κινήσει τον κατακόρυφο ηλιακό και να ακολουθεί την αζιμουθιακή γωνία του ήλιου. Συγκρίνουν την ισχύ 2 ηλιακών κυψελών τοποθετημένων σε διαφορετικές θέσεις. Η πρώτη ηλιακή κυψέλη βρίσκεται σε όρθια θέση και περιστρέφεται με το σύστημα ηλιακού ιχνηλάτη. Το δεύτερο ηλιακό στοιχείο τοποθετήθηκε οριζόντια. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το πρώτο ηλιακό στοιχείο παράγει περίπου 22% μεγαλύτερο από το δεύτερο ηλιακό στοιχείο ως προς τη μέση ισχύ εξόδου. Εκτός αυτού, οι συγγραφείς δηλώνουν επίσης ότι τα ηλιακά συστήματα παρακολούθησης γίνονται ταχύτερα με τη χρήση GPS και αστρονομικών υπολογισμών. Μετά από ένα χρόνο, ο Sebastián και ο Pedro πραγματοποίησαν δύο πολύ απλές στρατηγικές παρακολούθησης, τον οριζόντιο ιχνηλάτη μονού άξονα Βορρά-Νότου για γεωγραφικά πλάτη έως 50°. Σε αυτή τη μελέτη, αλλάζουν τις θέσεις παρακολούθησης λαμβάνοντας υπόψη 2 θέσεις το πρωί/απόγευμα ή 3 θέσεις το πρωί/μεσημέρι/απόγευμα σε προκαθορισμένα ημερήσια προγράμματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο ανιχνευτής 3 θέσεων μπορεί να προσφέρει σημαντικά ενεργειακά κέρδη σε σχέση με το σταθερό φωτοβολταϊκό σύστημα με το υψηλό ποσοστό για ετήσια κέρδη ακτινοβολίας.[2]

2.2.4 Ενεργός ηλιακός ιχνηλάτης με σύστημα διπλού άξονα

Η γη ακολουθεί μια σύνθετη κίνηση που αποτελείται από δύο κινήσεις που είναι η καθημερινή και η ετήσια κίνηση. Η καθημερινή κίνηση κάνει τον ήλιο να εμφανίζεται από την ανατολή προς τη δύση πάνω από τη γη. Εν τω μεταξύ, για την ετήσια κίνηση, ο ήλιος γέρνει σε συγκεκριμένη γωνία ενώ κινείται κατά μήκος ανατολής προς δύση. Ως εκ τούτου, έχει διεξαχθεί εκτεταμένη έρευνα για τη βελτίωση της απόδοσης και την προώθηση της χρήσης ηλιακού ιχνηλάτη διπλού άξονα. Σε έναν ηλιακό ιχνηλάτη διπλού άξονα, υπάρχουν δύο βαθμοί ελευθερίας που λειτουργούν ως άξονες περιστροφής. Υπάρχουν δύο παραλλαγές συστημάτων παρακολούθησης διπλού άξονα, δηλαδή ως πολικό υψόμετρο και αζιμούθιο υψόμετρο. Αυτά τα ηλιακά συστήματα παρακολούθησης αποτελούνται συνήθως από τέσσερις εξαρτώμενες από το φως αντιστάσεις (LDR), δύο κινητήρες και ένας ελεγκτής.

Οι Chabuk et al. πρότεινε ένα σύστημα ηλιακής παρακολούθησης διπλού άξονα που βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του μικροελεγκτή. Χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο, ο μικροελεγκτής προσδιορίζει τις θέσεις και τις κατευθύνσεις του φωτοβολταϊκού πίνακα. Εν τω μεταξύ, η καλύτερη γωνία λήφθηκε χρησιμοποιώντας έναν μικροελεγκτή ρολογιού πραγματικού χρόνου και στη συνέχεια τροφοδοτήθηκε απευθείας στον βηματικό κινητήρα για κίνηση του φωτοβολταϊκού πίνακα. Το προτεινόμενο σύστημα δεν βασίζεται στην καθαρότητα του ουρανού ή στη θέση του ήλιου, με αποτέλεσμα να λειτουργεί ακόμα και σε κακές καιρικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα που παράγονται από αυτό το σύστημα είναι πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τα μονό άξονα και τα σταθερά πάνελ.

Ο Fathabadi ανέπτυξε έναν νέο ιχνηλάτη διπλού άξονα χωρίς αισθητήρα εκτός σύνδεσης με υψηλή ακρίβεια για την παρακολούθηση της θέσης του ήλιου. Η απλή κατασκευή με ανιχνευτή χαμηλού κόστους αποτελείται από έναν ελεγκτή, βηματικούς κινητήρες για τη ρύθμιση της γωνίας υψομέτρου και της γωνίας αζιμουθίου και κιβώτιο ταχυτήτων που λειτουργούν για την περιστροφή του φωτοβολταϊκού πίνακα. Αυτός ο προτεινόμενος ηλιακός

ιχνηλάτης χρησιμοποίησε επίσης δεδομένα εκτός σύνδεσης χωρίς κανένα σήμα ανάδρασης. Επομένως, ο ηλιακός ιχνηλάτης είναι ανθεκτικός σε εξωτερικές διαταραχές. Τα πειραματικά αποτελέσματα επαλήθευσαν ότι συλλαμβάνεται 24,59% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους με τον υπάρχοντα ηλιακό ιχνηλάτη

Ο Sebastijan et al. πρότεινε ένα σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων που μπορεί να κινείται είτε οριζόντια είτε κάθετα με βάση τις επιλεγμένες γωνίες ζενίθου και αζιμουθίου. Τα LDR χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της θέσης και της κατεύθυνσης του φωτοβολταϊκού πίνακα για την ενεργοποίηση του κινητήρα DC. Η απόδοση του προτεινόμενου συστήματος συγκρίθηκε με τον σταθερό φωτοβολταϊκό πίνακα σε μερικές επιλεγμένες ηλιόλουστες ημέρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ενέργεια εξόδου του ανιχνευτή διπλού άξονα μπορεί να βελτιωθεί κατά 27% σε σύγκριση με το σταθερό Φ/B πάνελ. Την ίδια χρονιά που δημοσιεύτηκε, οι Sidek et al. εισήγαγε ένα σύστημα παρακολούθησης διπλού άξονα που εφαρμόζει τον αλγόριθμο της τροχιάς του ήλιου για τον προσδιορισμό της θέσης του ηλιακού ιχνηλάτη. Το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιεί τον αισθητήρα GPS για να προσδιορίσει την καλύτερη θέση του φωτοβολταϊκού πίνακα αναφορικά με τις γραμμές γεωγραφικού μήκους και γεωγραφικού πλάτους. Εν τω μεταξύ, το αζιμουθιο και η γωνία υψομέτρου χρησιμοποιούνται για την άμεση τροφοδοσία του ελεγκτή θέσης που οδηγεί τους κινητήρες να κινούνται είτε δεξιόστροφα είτε αριστερόστροφα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε συνθήκες καθαρού και συννεφιασμένου ουρανού, περισσότερο 26,9% και 12,8% παραγωγή ενέργειας μπορεί να παραχθεί από το προτεινόμενο σύστημα σε σύγκριση με τα σταθερά φωτοβολταϊκά πάνελ.

Οι Rashid et al. σχεδίασε και δοκίμασε ένα υβριδικό σύστημα παρακολούθησης διπλού ηλιακού φωτός. Αυτή η λειτουργία λειτουργίας του ηλιακού ιχνηλάτη βασίζεται στον ηλιακό χάρτη που συνδυάζεται με τον μηχανισμό συνεχούς παρακολούθησης που βασίζεται στον αισθητήρα φωτός. Οι αισθητήρες φωτός που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των συνθηκών σκοταδιού, συννεφιά και ηλιοφάνειας για καθημερινή παρακολούθηση. Εν τω

μεταξύ, μια συσκευή ρολογιού πραγματικού χρόνου χρειάστηκε από την ηλεκτρική συσκευή ελέγχου για την παρακολούθηση της φαινομενικής θέσης του ήλιου σε διαφορετικούς μήνες και εποχές. Η ικανότητα αυτού του προτεινόμενου υβριδικού ηλιακού ανιχνευτή συγκρίθηκε με ένα στατικό και συνεχές ηλιακό σύστημα παρακολούθησης. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η ισχύς που εξοικονομείται στη λειτουργία του συστήματος από την υβριδική ηλιακή παρακολούθηση είναι 44,44% μεγαλύτερη σε σύγκριση με το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης, παρόλο που το κέρδος ισχύος τους είναι σχεδόν παρόμοιο. Ο Sathis σχεδίασε ένα ηλιακό σύστημα παρακολούθησης διπλού άξονα που μπορεί να μεγιστοποιήσει την πρόσπτωση του ήλιου μέσω του φωτοβολταϊκού πίνακα. Αυτό το σύστημα χρησιμοποίησε την ένδειξη LDR για να καθορίσει την κατεύθυνση του φωτοβολταϊκού πίνακα μέσω μικροελεγκτή. Ο συγκριτής Op-Amp χρησιμοποιείται για τη συλλογή των ενδείξεων των LDR για λειτουργία μικροελεγκτή. Σε αυτό το προτεινόμενο σύστημα, οι κινητήρες μετάδοσης κίνησης και οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση του φωτοβολταϊκού πίνακα από τη μια πλευρά στην άλλη. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν συγκρίνοντας την απόδοση μεταξύ του προτεινόμενου συστήματος και του σταθερού φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ισχύς εξόδου μπορεί να αυξηθεί κατά 40% και 45% για σύστημα παρακολούθησης σταθερού και διπλού άξονα, αντίστοιχα.

Ο Masoud et al. συνδύασε ένα σύστημα παρακολούθησης διπλού άξονα με ένα σύστημα παρακολούθησης ανέμου. Το σύστημα παρακολούθησης ανέμου λειτουργεί ως βοηθητικό σύστημα, το οποίο συμπληρώνει την παρακολούθηση δύο αξόνων σε περίπτωση ανέμου. Με τη χρήση αυτού του προτεινόμενου συστήματος, η παραγωγή ενέργειας έχει αυξηθεί σε όλη την πειραματική μελέτη. Το συμβατικό σύστημα παρακολούθησης διπλού άξονα παρουσιάζει αύξηση 39,43% στη συνολική ημερήσια συλλογή σε σχέση με ένα σταθερό φωτοβολταϊκό σύστημα, εν τω μεταξύ, το υβριδικό σύστημα παρακολούθησης απέδωσε αύξηση 49,83%. Προκειμένου να βελτιωθεί η λειτουργία του ηλιακού συστήματος παρακολούθησης, οι Arlikar et al. πρότεινε ένα τρισδιάστατο ηλιακό σύστημα παρακολούθησης με ειδική διάταξη LDR. Ένα PLC χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της θέσης του ηλιακού συστήματος

παρακολούθησης με τα υπάρχοντα LDR. Εν τω μεταξύ, ο φωτοβολταϊκός πίνακας είναι σταθερός και χρησιμοποιούνται ανακλαστές προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ένταση του προσπίπτοντος φωτός. Οι δύο βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται για τρισδιάστατη παρακολούθηση, ο ένας για να μετακινήσει το επίπεδο του φωτοβολταϊκού πίνακα και ο άλλος θα μετακινήσει αυτό το επίπεδο σε μια τρίτη διάσταση. Τα αποτελέσματα εντόπισαν ότι το τρισδιάστατο Φ/Β πάνελ παράγει περισσότερη ενέργεια από ένα παραδοσιακό Φ/Β πάνελ.

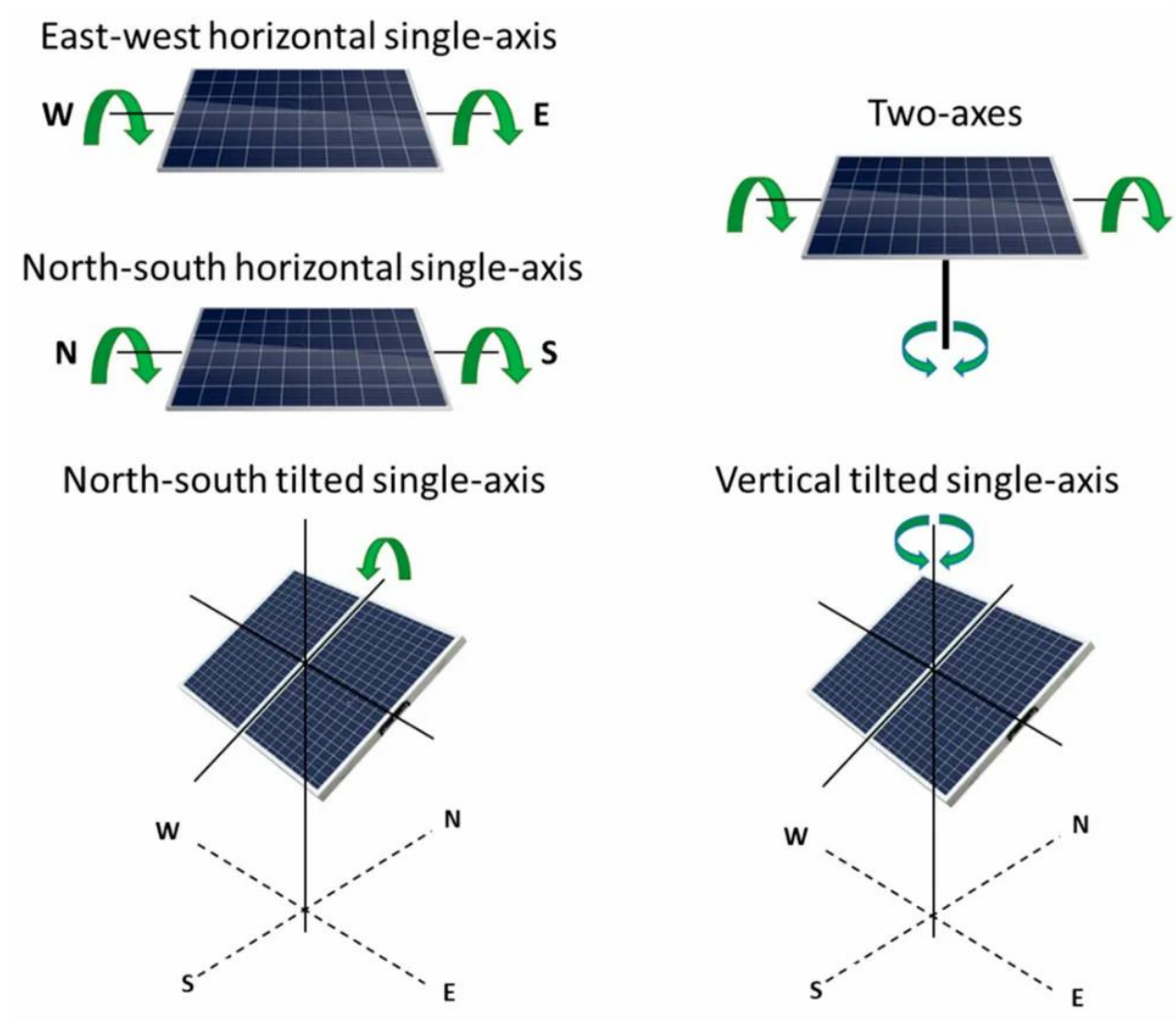
Οι Bentaheer et al. αναπτύξτε ένα απλό σύστημα παρακολούθησης που βασίζεται στην αρχή λειτουργίας των LDR. Ένας μηχανισμός φωτοβολταϊκού και παραβολικού συμπυκνωτή με κίνηση διπλού άξονα λήφθηκε υπόψη για να εντοπιστεί η διαφορά των LDRs έναντι της κατεύθυνσής τους προς τον ήλιο. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση και κίνηση των δύο αξόνων καθώς και για τον έλεγχο της κίνησης των δύο αξόνων από τους δύο γωνιακούς αισθητήρες. Οι Juang et al. σχεδίασε και κατασκεύασε ένα ηλιακό σύστημα παρακολούθησης διπλού άξονα για τη μεγιστοποίηση της ακτινοβολίας και τον περιορισμό της κατανάλωσης τάσης της μπαταρίας. Αυτό το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από μικροελεγκτές, LDR, ενεργοποιητές, ένα Arduino Uno R3 και ένα Pololu Dual Motor Shield. Οι γραμμικοί ενεργοποιητές ρυθμίζονται όταν η απόλυτη τιμή της υπολογιζόμενης διαφοράς είναι μεγαλύτερη από την τιμή νεκρής ζώνης που παρέχεται από τα LDR. Το προτεινόμενο σύστημα υλοποιήθηκε για την απόκριση σε πραγματικό χρόνο και την αύξηση της απόδοσης της ισχύος εξόδου τουλάχιστον μεταξύ 15% και 20%.

Ο Yao et al. χρησιμοποίησε δύο στρατηγικές αυτόματης παρακολούθησης για το σύστημα παρακολούθησης διπλού άξονα. Ο πρώτος τύπος ήταν η κανονική στρατηγική παρακολούθησης και ο άλλος ήταν μια στρατηγική καθημερινής προσαρμογής. Σε αυτό το προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιήθηκε μια υβριδική στρατηγική που περιλαμβάνει έλεγχο βάσει χρόνου καθώς και έλεγχο βάσει αισθητήρων. Ο ηλιακός ιχνηλάτης σχεδιάστηκε για να φτάσει σε μια υπολογισμένη θέση με βάση την τοπική ώρα, ενώ ο αισθητήρας θέσης

ήλιου θα παρείχε μια ανάδραση για τη διόρθωση του σφάλματος παρακολούθησης. Για επίπεδα φωτοβολταϊκά συστήματα, χρησιμοποιήθηκε μια απλή στρατηγική καθημερινής προσαρμογής, καθώς δεν απαιτείται υψηλός βαθμός ακρίβειας. ο Assaf αναπτύσσει ένα σύστημα ηλιακής παρακολούθησης διπλού άξονα για τη μέτρηση της συσσωρευμένης ηλιακής ακτινοβολίας. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από τέσσερα LDR, μια συσκευή προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (PLC) και δύο σερβοκινητήρες. Η λειτουργία των LDR ως συνήθως για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου, παρέχει έτσι ένα σήμα τάσης στο PLC. Το λογισμικό Soft Comfort V6.1 χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του λογισμικού ελέγχου προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη θέση του φωτοβολταϊκού πίνακα κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το προτεινόμενο ηλιακό σύστημα παρακολούθησης δοκιμάστηκε και εφαρμόστηκε για τρεις ημέρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η συσσωρευμένη όρνιθα ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιεί το σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων ήταν υψηλότερη από την ηλιακή ακτινοβολία που συλλέγεται χρησιμοποιώντας το σταθερό Φ/Β σύστημα.

Ο Akbar et al. πρότεινε τον ηλιακό ιχνηλάτη διπλού άξονα για την παρακολούθηση της θέσης του ήλιου τόσο στον άξονα του αζιμουθίου όσο και στον άξονα υψομέτρου. Ένα σύστημα παρακολούθησης αποτελείται κυρίως από τον ελεγκτή ATmega 328, κινητήρες DC, αισθητήρα LDR και ρελέ. Οι συγγραφείς μελέτησαν επίσης την επίδραση της θερμοκρασίας και της κάλυψης πάνελ από έγχρωμο σελοφάν στην απόδοση του συστήματος παρακολούθησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ισχύς παραγωγής για ηλιακό ιχνηλάτη μονού άξονα και ηλιακό ιχνηλάτη διπλού άξονα είναι 24,05% και 26,22%, αντίστοιχα υψηλότερη ενέργεια από το σταθερό Φ/Β πάνελ. Ο El Hammoumi et al. σχεδίασε και υλοποίησε το χαμηλό κόστος ενός ενεργού ηλιακού ιχνηλάτη διπλού άξονα. Δύο σερβοκινητήρες που αντιμετωπίζουν την υψηλότερη ένταση ηλιακού φωτός που συλλαμβάνεται από τέσσερις μονάδες αισθητήρων LDR που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος, ο μικροελεγκτής ATmega328 που είναι ενσωματωμένος σε μια

πλακέτα χαμηλού κόστους, εφαρμόστηκε το Arduino Uno για αυτό το προτεινόμενο σύστημα. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν συγκρίνοντας την απόδοση μεταξύ της ενέργειας που παράγεται από τον προτεινόμενο ανιχνευτή και ενός σταθερού φωτοβολταϊκού πίνακα. Χρησιμοποιώντας έναν ενεργό ηλιακό ανιχνευτή διπλού άξονα, παρήχθη περισσότερη ενέργεια κατά 36,36% σε σύγκριση με το σταθερό φωτοβολταϊκό πάνελ[2].



Εικόνα 2.4 Διάφοροι τύποι ενεργών ηλιακών ιχνηλατών

(<https://www.indiamart.com/proddetail/single-axis-solar-tracker-22460624333.html>)

2.2.5 Χρονολογικός ηλιακός ιχνηλάτης

Ένα χρονολογικό σύστημα ηλιακής παρακολούθησης είναι ένα σύστημα παρακολούθησης που βασίζεται στον χρόνο, όπου η δομή μετακινείται με σταθερό ρυθμό και γωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και για διαφορετικούς μήνες. Επομένως, ο κινητήρας ή ο ενεργοποιητής ελέγχεται να περιστρέφεται με αργό μέσο ρυθμό μιας περιστροφής την ημέρα (15° ανά ώρα). Αυτή η μέθοδος παρακολούθησης του ήλιου είναι πιο ενεργειακά αποδοτική επειδή δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας σε αυτήν τη βαθμονόμηση παρακολούθησης λόγω χαμηλού σφάλματος παρακολούθησης. Οι Roong και Chong χρησιμοποιώντας τη χρονολογική μέθοδο με γωνία περιστροφής 15° ανά ώρα για ηλιακό σύστημα παρακολούθησης μονού άξονα. Η μονάδα ηλιακού συστήματος παρακολούθησης με συνολική επιφάνεια περίπου 70m^2 κατασκευάστηκε στο University Teknikal Malaysia Melaka (UTeM). Τα πειράματα ξεκίνησαν από τις 8:00 π.μ. έως τις 3:00 μ.μ. όλη την ημέρα για διάρκεια 5 ημερών με σταθερή γωνία περιστροφής του ηλιακού ιχνηλάτη με 15° ανά ώρα.

Οι Sidek et al. παρουσιάζει το σύστημα παρακολούθησης ηλιακού διπλού άξονα με χρήση ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου. Η αρχή λειτουργίας του αλγορίθμου για την προτεινόμενη μέθοδο βασίζεται στο GPS και στην αστρονομική εξίσωση. Επιπλέον, το σύστημα παρακολούθησης με βάση μικροελεγκτή είναι ενσωματωμένο με ελεγκτή PID. Με τη χρήση του SolidWorks, σχεδιάστηκε η δομή διαξονικού ηλιακού ανιχνευτή. Η ισχύς που παράγεται μεταξύ δύο συστημάτων σταθερής κλίσης ΦΒ πάνελ και του συστήματος ηλιακού ανιχνευτή συγκρίθηκαν μεταξύ τους προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη. Ένα ηλιακό σύστημα παρακολούθησης μονού άξονα σχεδιάστηκε από τους Samantha et al. για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των Φ/Β κυττάρων. Ακολουθώντας την αρχή λειτουργίας του χρονολογικού συστήματος ηλιακής παρακολούθησης, επιτρέψτε στο φωτοβολταϊκό πάνελ να παρακολουθεί τη θέση του ήλιου με τη βοήθεια ενός κινητήρα που ελέγχεται από έναν μικροελεγκτή. Προκειμένου να προσδιοριστεί η θέση του ήλιου, ένας μικροελεγκτής PIC18252 είναι

συνδεδεμένος σε έναν οδηγό κινητήρα L293D και έτσι ο φωτοβολταϊκός πίνακας μπορεί να μετακινηθεί στις επιθυμητές κατευθύνσεις. Η μέγιστη ένταση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να παραχθεί όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι κάθετες στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ[2]

2.3 Περιορισμοί ηλιακού συστήματος παρακολούθησης

Όσον αφορά τον παθητικό και τον ενεργό ιχνηλάτη διαφέρουν με τον τρόπο ανάπτυξης του σχεδιασμού. Το παθητικό σύστημα παρακολούθησης δεν απαιτεί ουσιαστικά επιπλέον τροφοδοσία, επειδή αυτό το σύστημα λειτουργεί μόνο του με την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η τεχνολογία παρακολούθησης είναι λιγότερο περίπλοκη και οικονομική, η κατασκευή αναπτύχθηκε χωρίς ηλεκτρονικά χειριστήρια ή κινητήρες. Ωστόσο, είναι χαμηλής ακρίβειας και βασίζεται κυρίως στις καιρικές συνθήκες. Χαμηλότερη ενέργεια έχει παραχθεί από αυτό το σύστημα παρακολούθησης σε σύγκριση με το ενεργό σύστημα παρακολούθησης. Επιπλέον, αυτή η τεχνολογία του ηλιακού ιχνηλάτη δεν μπορεί να είναι προτιμώμενη για τις περιοχές που πλήττονται από τα ακραία κρύα καιρικά φαινόμενα, επειδή σταματούν εύκολα να λειτουργούν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Ως εκ τούτου, δεν έχουν γίνει ακόμη ευρέως αποδεκτά για την εφαρμογή τους και λίγη βιβλιογραφία είναι διαθέσιμη για αυτόν τον τύπο τεχνολογιών ηλιακών συστημάτων παρακολούθησης. Εν τω μεταξύ, η ενεργή παρακολούθηση βασίζεται στην ακρίβεια ενώ υπάρχει κατανάλωση παραγόμενης ενέργειας. Αυτή η τεχνολογία παρακολούθησης του ήλιου είναι αρκετά ακριβής εκτός από τις πολύ συννεφιασμένες μέρες επειδή οι αισθητήρες αντιμετωπίζουν το πρόβλημα στον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου στον ουρανό. Επιπλέον, το ενεργό σύστημα ηλιακής παρακολούθησης είναι πιο ακριβές και πιο συχνά χρησιμοποιούμενο, αλλά απαιτεί την επιπλέον ισχύ που χρησιμοποιείται για αισθητήρες, μικροελεγκτή ή κινητήρες. Για το σύστημα χρονολογικής παρακολούθησης, η συνεχής περιστροφή του κινητήρα ή των ενεργοποιητών οδηγεί το σύστημα να χρησιμοποιεί περισσότερη κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, αυτό το σύστημα είναι επίσης περιττό όταν λειτουργεί κάτω από την πολύ συννεφιασμένη μέρα.

Λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό ελευθερίας κίνησης στο σύστημα ηλιακής παρακολούθησης, ο ηλιακός ιχνηλάτης μονού άξονα προσφέρει απλότητα σε σύγκριση με την περιστροφή διπλού άξονα. Επιπλέον, ο μονοαξονικός ηλιακός ιχνηλάτης χρησιμοποιεί χαμηλότερο κόστος και κατανάλωση ενέργειας, καθώς αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί μόνο έναν κινητήρα για την παρακολούθηση του ήλιου οριζόντια ή κάθετα. Ωστόσο, αυτό το σύστημα μπορεί να παρακολουθεί τον ήλιο μόνο κατά την καθημερινή κίνηση και όχι την ετήσια κίνηση. Επιπλέον, η απόδοση του συστήματος παρακολούθησης μειώνεται κατά πολύ λόγω της περιστροφής γύρω από έναν μόνο άξονα που προκαλείται από τις συννεφιασμένες μέρες. Αν και η κατασκευή ηλιακού ιχνηλάτη μονού άξονα είναι λιγότερο πολύπλοκη, η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη από αυτή του ηλιακού ιχνηλάτη διπλού άξονα. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης της παρακολούθησης διπλού άξονα σε σύγκριση με έναν απλό είναι η παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου όχι μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και για την ετήσια κίνηση. Αν και ο ηλιακός ιχνηλάτης διπλού άξονα είναι πιο ακριβή κατασκευή, προσφέρει αποτελεσματική απόδοση σε σύγκριση με τον ηλιακό ιχνηλάτη μονού άξονα. Ο Πίνακας 2-1 συνοψίζει τη λειτουργία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα για κάθε τύπο τεχνολογιών για συστήματα ηλιακής παρακολούθησης.[2]

Πίνακας 2-1 Παθητικός, ενεργός και χρονολογικός ηλιακός ιχνηλάτης[2]

Τεχνολογία	Περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Παθητικός ιχνηλάτης	Θερμική διαστολή υλικού ή ανισορροπία στην πίεση μεταξύ δύο σημείων στα δύο άκρα του ιχνηλάτη.	Λειτουργία χωρίς τη χρήση κινητήρων ή ενεργοποιητών Εύκολη εγκατάσταση Χαμηλό κόστος συντήρησης	Ισχυρή εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες Χαμηλή ακρίβεια
Ενεργός ιχνηλάτης	Χρήση αισθητήρων και κινητήρων	πιο ακριβές αποτελεσματικό στην παρακολούθηση της θέσης του ήλιου	απαιτούν επιπλέον κατανάλωση ενέργειας όχι πολύ ακριβής κάτω από συννεφιασμένα μέρα
Χρονολογικός Ιχνηλάτης	σύστημα παρακολούθησης με βάση τον χρόνο περιστροφή με 15° ανά ώρα	χωρίς απώλειες ενέργειας χαμηλό σφάλμα παρακολούθησης	Η συνεχής περιστροφή απαιτεί περισσότερη ενέργεια Περιττή λειτουργία κάτω από συννεφιασμένα μέρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Επιδράσεις σκίασης στην ηλιακή απόδοση

Η σκίαση επηρεάζει άμεσα την απόδοση των πλαισίων ηλιακής ενέργειας. Μειώνει την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος επειδή το ηλιακό φως δεν χτυπά απευθείας τα πάνελ. Εάν τα μισά από τα ενεργειακά πάνελ βρίσκονται υπό σκιά, τότε θα επηρεαστεί η παραγωγή. Επομένως, αυτό το ζήτημα απώλειας συστήματος είναι σημαντικό.

Αλλά ένας καλός σχεδιασμός μπορεί να λύσει αυτό το πρόβλημα και να μειώσει τον ρυθμό υποβάθμισης. Η πρακτική συντήρησης ρουτίνας είναι επίσης η λύση για την αποφυγή αυτής της απώλειας συστήματος. Μια ρουτίνα συντήρησης συστήματος ηλιακών πάνελ διασφαλίζει ότι τα πάνελ δεν θα σκιάζονται από κλαδιά δέντρων ή από πρόσθετες κατασκευές.

Ένας άλλος τύπος σκίασης είναι η απαλή σκίαση (Soft Shading). Αυτός ο τύπος αναφέρεται στη σκιά που κάνουν τα σύννεφα. Αυτό το ζήτημα μπορεί να παρουσιαστεί σε ορισμένες γεωγραφικές τοποθεσίες όπου υπάρχουν συχνές νεφώσεις. Η απαλή σκίαση παράγει διάχυτο φως. Αλλά αυτό δεν είναι τόσο σοβαρό ζήτημα όσο η σκίαση του αντικειμένου.[4]

3.1.1 Λύσεις για Θέμα Ηλιακής Σκίασης

Προσθήκη διόδων παράκαμψης: Στις μέρες μας, οι δίοδοι παράκαμψης είναι εξοπλισμένες με ενεργειακά συστήματα. Αυτό βοηθά το ρεύμα να ρέει γύρω από τις κυψέλες των ηλιακών συλλεκτών που ενδέχεται να μην λειτουργούν λόγω υποσκίασης. Αυτή είναι η φθηνότερη λύση για την αντιμετώπιση του προβλήματος της σκίασης των ηλιακών πάνελ.

Ωστόσο, υπάρχουν καλύτερες μέθοδοι τόσο για την αύξηση της απόδοσης όσο και για την ελαχιστοποίηση των απωλειών εξόδου από τη σκίαση

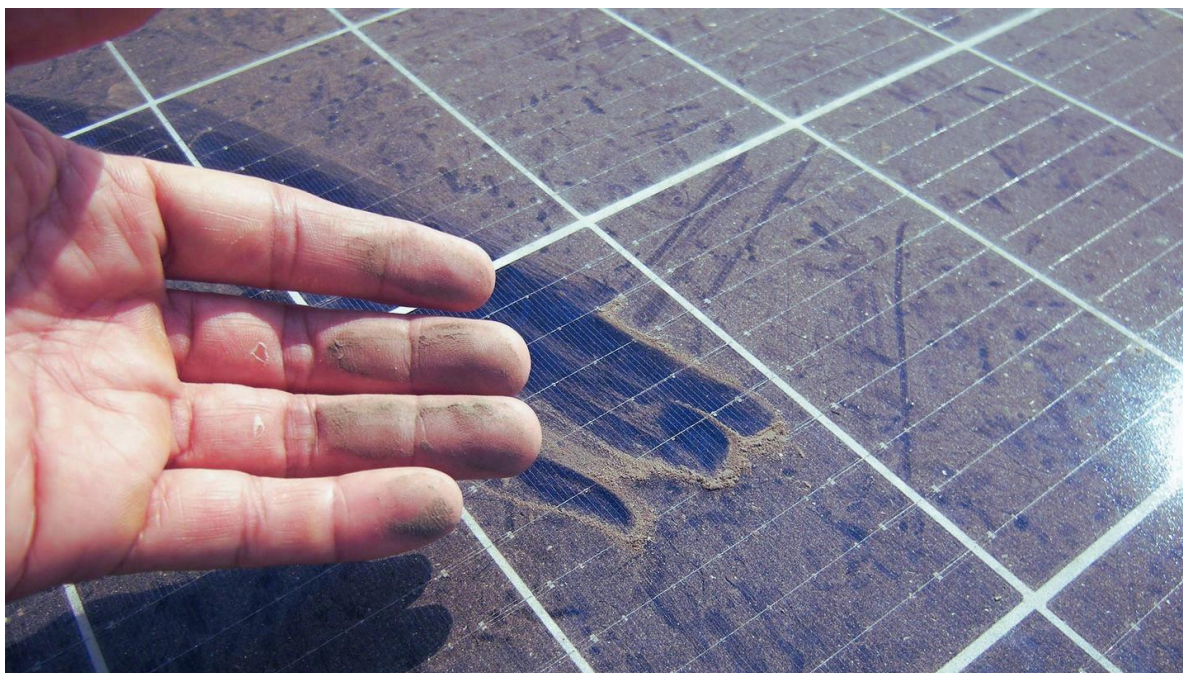
Ενσωματωμένοι μικρομετατροπείς σε σύστημα ηλιακής ενέργειας: Οι ηλιακοί μετατροπείς εγκαθίστανται σε Φ/Β σύστημα για να μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Τώρα εάν ένα ηλιακό πάνελ είναι υπό σκίαση, λόγω της σύνδεσης σειράς, η έξοδος δεν θα μειωθεί πολύ στην περίπτωση της σκίασης. Επίσης, ένας μικρο-μετατροπέας που μετατρέπει το DC σε AC και στέλνει την ενέργεια σε ένα κεντρικό κουτί για περαιτέρω διανομή μπορεί να εγκατασταθεί σε κάθε πίνακα ως μία λύση. Αυτό εμποδίζει την έξοδο ενός ηλιακού πάνελ να επηρεάσει την απόδοση των άλλων.

Προσθήκη ηλιακών βελτιστοποιητών: Κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ διαθέτει βελτιστοποιητή DC, ο οποίος χρησιμοποιεί τη λειτουργία MPPT (Μέγιστη Παρακολούθηση Σημείου Ισχύος) για να λειτουργήσει. Μεταδίδουν την τάση σε έναν τυπικό μετατροπέα στοιχειοσειρών αντί να μετατρέπουν το DC σε AC. Η τάση του πίνακα μετατρέπεται σε ρεύμα για να καλύψει το έλλειμμα όταν ο βελτιστοποιητής παρατηρήσει μειωμένο ρεύμα που προκαλείται από εφέ σκίασης. [4]

3.2 Επιδράσεις σκόνης στην ηλιακή απόδοση

Τα σωματίδια σκόνης επηρεάζουν επίσης την απόδοση του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι ειδικοί στον τομέα της ενέργειας θα πρέπει να λάβουν υπόψη και αυτή την απώλεια του ενεργειακού συστήματος. Ο παράγοντας επίδρασης σκόνης εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης. Αν η εγκατάσταση βρίσκεται σε περιοχή με σκόνη, η απώλεια φωτοβολταϊκού συστήματος δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.

Οι επαγγελματίες ηλιακής ενέργειας συνιστούν τον καθαρισμό των συστοιχιών ηλιακών πάνελ μία φορά κάθε έξι μήνες. Αυτό όχι μόνο αυξάνει την παραγωγή ενέργειας κατά 3 έως 5% κατά μέσο όρο, αλλά και βελτιώνει την απόδοση έως και 25% σε πραγματικά σκονισμένα μέρη. [4]



Εικόνα 3.1 Συσσώρευση σκόνης πάνω σε ΦΒ πάνελ

3.3 Οπτικές απώλειες συστοιχίας ηλιακών κυψελών

Τα φωτόνια του φωτός αλληλεπιδρούν με τις συνδέσεις PN στην κρυσταλλική δομή του ηλιακού κυττάρου για να παράγουν ενέργεια στα ηλιακά κύτταρα. Οπτικές απώλειες συμβαίνουν όταν το φως αναπηδά από την επιφάνεια του πάνελ. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό του σχεδιασμού του πάνελ και αποτελεί το επίκεντρο της συνεχούς έρευνας για την αύξηση της αποτελεσματικότητας του πάνελ. Το δύσκολο μέρος είναι η αύξηση της απορρόφησης φωτός, ενώ ελαχιστοποιείται η ανάκλαση της επιφάνειας. Αυτός ο τύπος απώλειας συστήματος ηλιακής ενέργειας μπορεί να ξεπεραστεί προσθέτοντας έναν άλλο τύπο μηχανισμού παγίδευσης φωτός ή «τραχύνοντας» την επιφάνεια με πρόσθετα κοκκώδους βαφής. [4]

3.4 Φασματικές αποκρίσεις ηλιακών κυττάρων

Αυτή η απώλεια συστήματος αφορά την έξοδο διαφορετικών τύπων μηκών κύματος που λαμβάνουν τα ηλιακά κύτταρα. Τα ηλιακά ενεργειακά κύτταρα δεν χρησιμοποιούν όλα τα μήκη κύματος του ήλιου. Υπάρχουν διαφορετικές συχνότητες, αλλά οι πιο κοινές είναι 4% UV, 54% υπέρυθρο και 43% ορατό

φος. Για τη βελτίωση της ηλεκτρικής απόδοσης, οι κατασκευαστές εργάζονται για να σχεδιάσουν πάνελ που να προσφέρουν μια γενική, ευρεία απόκριση. [4]

3.5 Απώλεια συστήματος ηλιακής ενέργειας λόγω επιπέδου ακτινοβολίας

Η απώλεια συστήματος λόγω του επιπέδου ακτινοβολίας δείχνει τη μείωση της ηλιακής απόδοσης όταν το επίπεδο ακτινοβολίας μειώνεται από την αξιολόγηση STC (Τυπικές συνθήκες δοκιμής: Standard Testing Conditions) των 1000 W/m^2 σε χαμηλή ακτινοβολία 200 W/m^2 . Υπολογίζεται κατά μέσο όρο για πρακτικούς λόγους στο 1,5%. Η παραγωγή ενέργειας δεν είναι γραμμική. Καθώς η απόδοση μειώνεται, μια τιμή πρέπει να λαμβάνει υπόψη την απώλεια ενέργειας τόσο κατά τη διαδικασία σχεδιασμού όσο και κατά τη διάρκεια ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος. [4]

3.6 Θερμική απώλεια κυψελών ηλιακών πάνελ

Ένα ηλιακό στοιχείο χάνει το 0,5 τοις εκατό της παραγωγής του για κάθε $1 \text{ }^\circ\text{C}$ πάνω από την ονομαστική θερμοκρασία STC των $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αυτή είναι η πιο σημαντική απώλεια στο ενεργειακό σύστημα. Αυτή η απώλεια οφείλεται σε ένα εγγενές χαρακτηριστικό της δομής των ηλιακών κυψελών. Ωστόσο, υπάρχουν μερικές καινοτόμες προτάσεις για την ελαχιστοποίηση της θερμικής απώλειας. Πολλές περιλαμβάνουν τη δημιουργία φυσικών καναλιών ροής αέρα με διάνοιξη οπών ή φαρδιών σχισμών μέσα από το πλαίσιο αλουμινίου. Μεταξύ άλλων προτάσεων, μία από τις λύσεις είναι το υβριδικό φωτοβολταϊκό θερμικό ηλιακό πάνελ. Αυτό ψύχει την όψη των ηλιακών κυψελών με νερό και ανακτά τη θερμότητα για χρήση στο κτίριο. [4]

3.7 Απώλεια ασυμφωνίας ηλιακών φωτοβολταϊκών μονάδων

Όταν δύο ή περισσότερα ηλιακά πάνελ σε μια συστοιχία παράγουν διαφορετικά ποσά ενέργειας, υπάρχει αναντιστοιχία μεταξύ των ηλιακών μονάδων. Δύο παράγοντες μπορεί να συμβάλλουν σε αυτό. Το ένα είναι η μερική απόχρωση. Ένα άλλο είναι οι παραλλαγές στις ηλεκτρικές ιδιότητες

των ηλιακών κυψελών. Από ένα ανταλλακτικό αυτοκινήτου μέχρι ένα ηλιακό στοιχείο, όλα έχουν ένα επίπεδο ανοχής. Στην περίπτωση των ηλιακών κυψελών, αυτό κυμαίνεται από +/-1,5 έως +/-5 τοις εκατό. Στην ουσία, αυτό σημαίνει ότι οι ηλιακές μονάδες που κατασκευάζονται από αυτές τις κυψέλες δεν θα παράγουν την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Εν πάση περιπτώσει, η χρήση πάνελ με ενσωματωμένους μικρο-μετατροπείς ή η προσθήκη ηλεκτρονικών σε επίπεδο πίνακα όπως οι βελτιστοποιητές DC είναι η καλύτερη επιλογή. [4]

3.8 Απώλειες καλωδίωσης DC ηλιακών συλλεκτών

Δεν είναι δυνατό να εξαλειφθούν οι απώλειες καλωδίου DC. Αυτό συμβαίνει γιατί όποτε ρέει ρεύμα, θα χάνει ενέργεια. Το μόνο που κάνουμε είναι να ελαχιστοποιήσουμε την απώλεια όσο το δυνατόν περισσότερο αν και το 2 % είναι αποδεκτό. Οι σχεδιαστές προσπαθούν να διατηρήσουν τις απώλειες καλωδίων DC σε λιγότερο από το 1% της μέγιστης ισχύος εξόδου ολόκληρου του συστήματος ηλιακών πάνελ.



Εικόνα 3.2 Άποψη από την καλωδίωση ΦΒ πάνελ

Επιπλέον, όταν το ρεύμα ρέει μέσα από τα καλώδια, η ηλεκτρική τους αντίσταση προκαλεί πτώση τάσης καθώς και απώλεια ισχύος με τη μορφή θέρμανσης. Το φαινόμενο θέρμανσης είναι ένας παράγοντας στις συνδέσεις και χειροτερεύει όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα.

Οι δύο βασικές στρατηγικές για τη μείωση της απώλειας καλωδίου DC είναι ο σωστός σχεδιασμός και η τακτική ηλεκτρική συντήρηση. [4]

3.9 Απώλειες σε μετατροπείς ηλιακής ενέργειας

Η απόδοση ενός μετατροπέα καλής ποιότητας, του μετατροπέα, είναι 97%, δηλαδή για κάθε 100kWh χάνονται 3kWh. Η θερμοκρασία και το φορτίο είναι δύο από τις βασικές μεταβλητές που επηρεάζουν την απόδοση του ηλιακού μετατροπέα.

Η καμπύλη απόδοσης των μετατροπέων είναι παρόμοια με αυτή των περισσότερων συσκευών με τη μέγιστη απόδοση να εμφανίζεται γύρω από το μέγιστο φορτίο εργασίας. Αυτό συνήθως δεν αποτελεί πρόβλημα έως ότου το φορτίο του μετατροπέα πέσει κάτω από το 25 – 30%, αλλά κάτω από αυτό το σημείο, πέφτει απότομα. [4]

3.10 Πτώση Τάσης Ενεργειακού Συστήματος

Καθώς το ρεύμα ρέει στο ηλεκτρικό κύκλωμα, εμφανίζεται μια πτώση τάσης λόγω της αντίστασης των καλωδίων που οδηγεί σε μικρή απώλεια εξόδου από την ηλιακή συστοιχία. Μια μεγαλύτερη διάρκεια καλωδίωσης προσθέτει μεγαλύτερη αντίσταση στο κύκλωμα που οδηγεί σε μεγαλύτερη πτώση τάσης. Γενικά θεωρείται βέλτιστη πρακτική η διατήρηση της τάσης στο 3% ή λιγότερο, αν και πολλές συσκευές πέφτουν πολύ κάτω από αυτό το επίπεδο.

Η πτώση τάσης έχει ευθεία επίδραση στην παραγωγή του ηλιακού συστήματος. Εάν η καλωδίωση είναι πολύ μεγάλη, τα πάνελ δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν τον μετατροπέα με αρκετή τάση. Η ποιότητα ολόκληρου του ηλιακού συστήματος υποβιβάζεται.

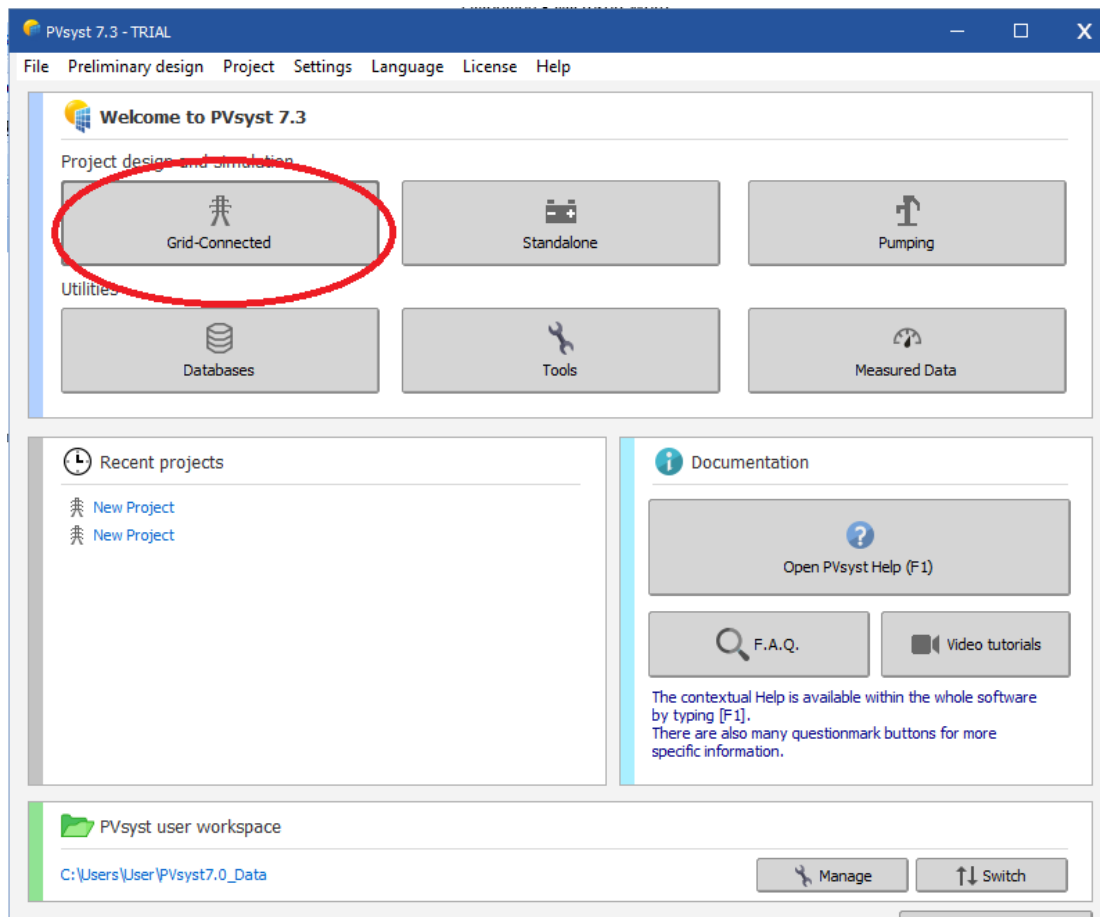
Άρα η καλωδίωση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σύντομη. Αν αυτό δεν είναι εφικτό για πρακτικούς λόγους, πρέπει να χρησιμοποιηθεί καλώδιο μεγαλύτερης διατομής.[4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ PVsyst

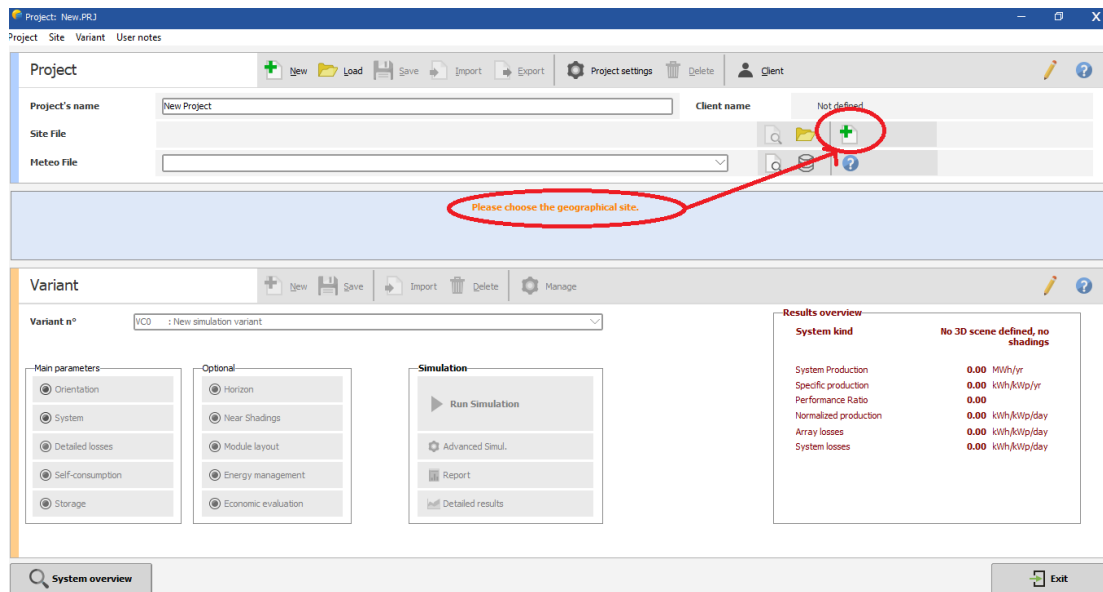
Το πρόγραμμα PVsyst χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν πέντε διαφορετικές περιπτώσεις (σενάρια) ηλιακών πάρκων. Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται κάποιες οδηγίες χρήσης του προγράμματος

4.1 Βήμα 1: Επιλογή του είδους του Project.

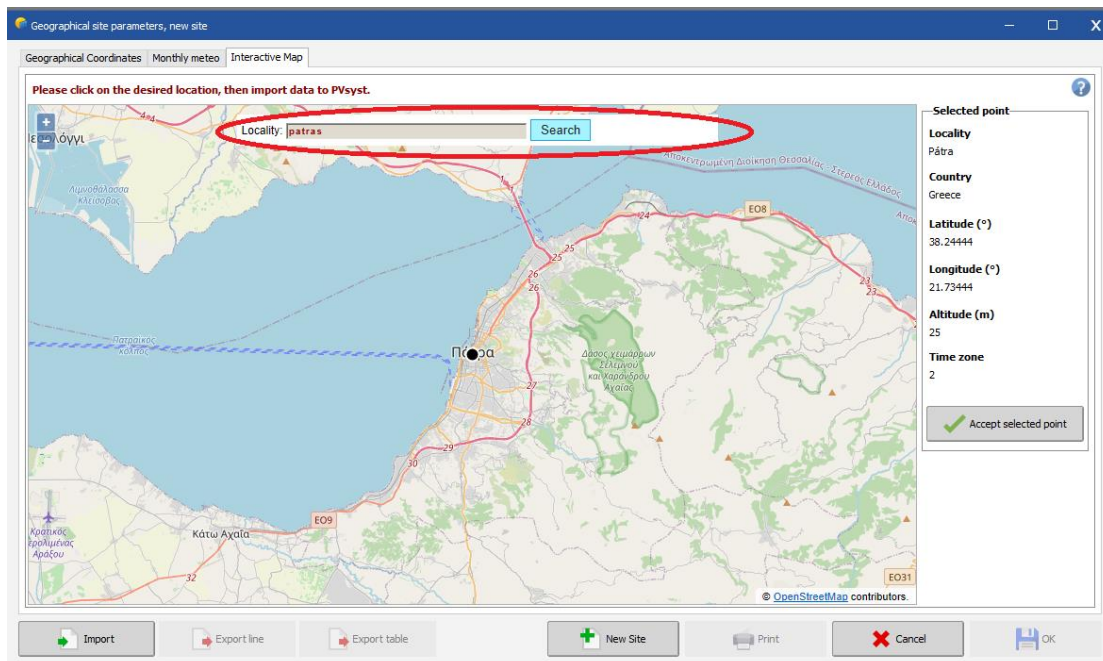
Στην περίπτωση μας είναι Grid-Connected, δηλαδή το ΦΒ που θα μελετηθεί θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

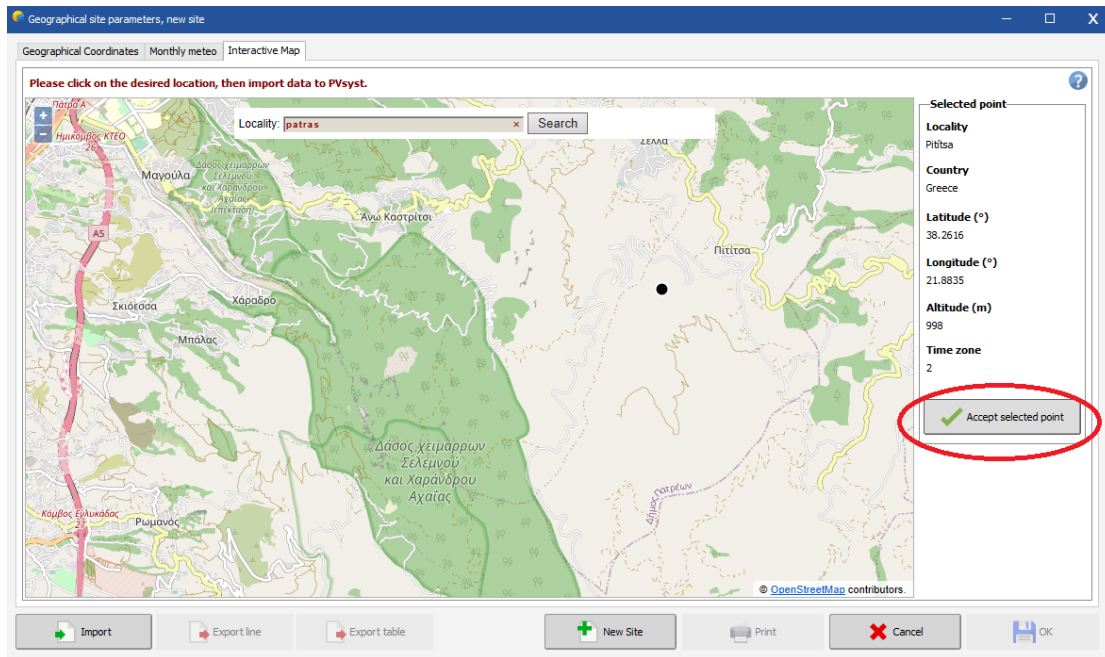


4.2 Βήμα 2: Επιλογή της έκτασης όπου θα εγκατασταθεί το ΦΒ πάρκο

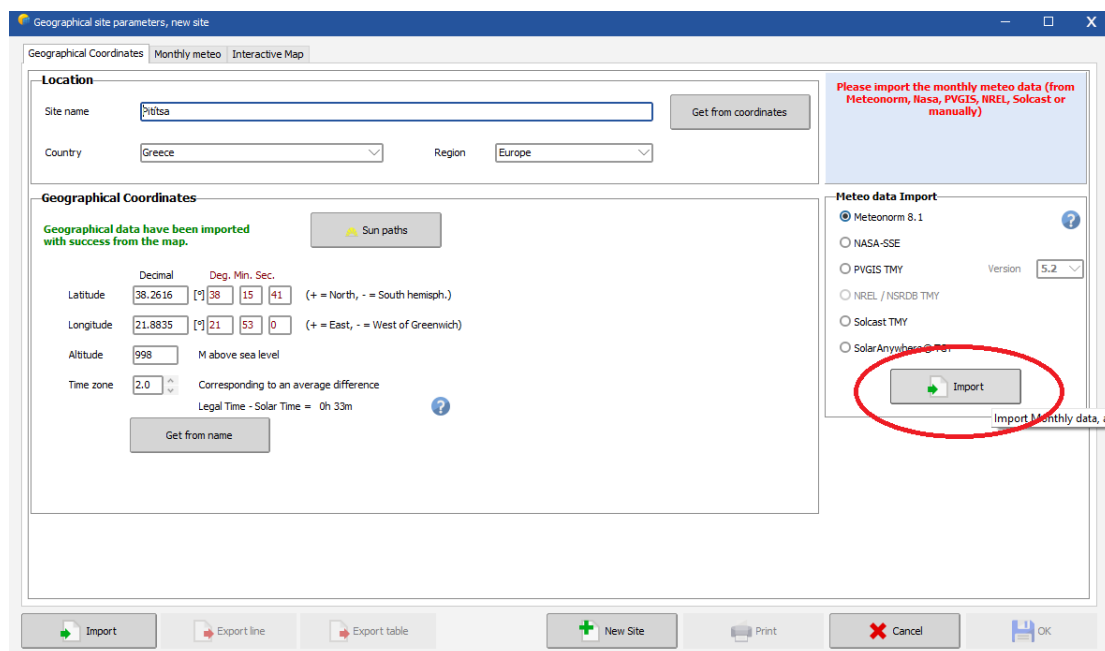


Η επιλογή της περιοχής μπορεί να γίνει μέσα από τον διαδραστικό χάρτη (interactive map) του προγράμματος

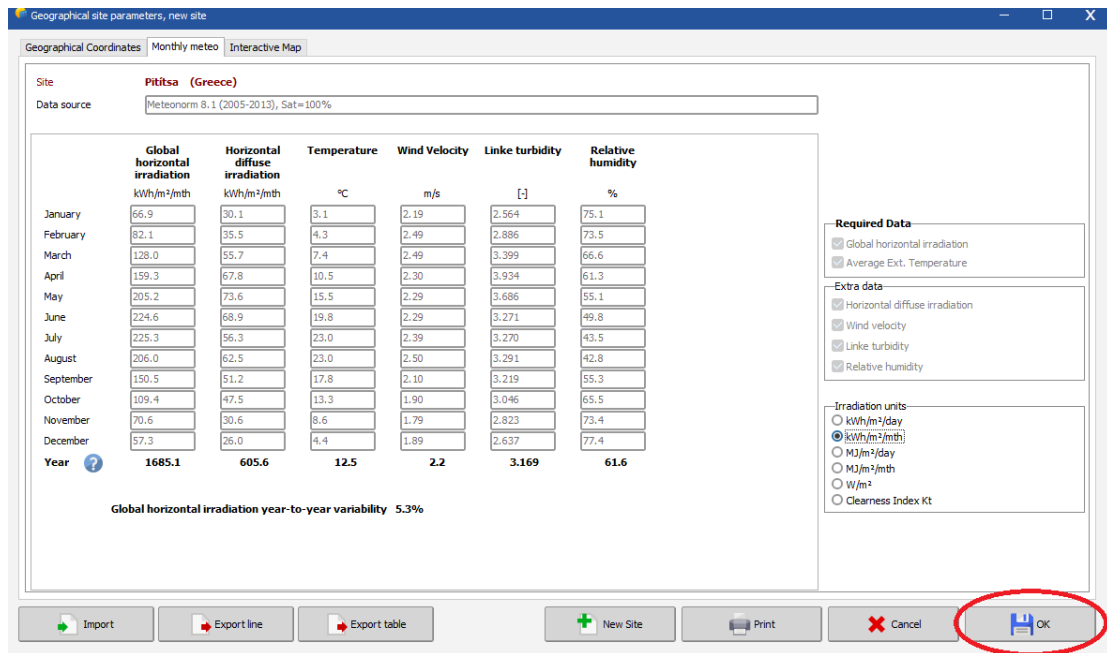




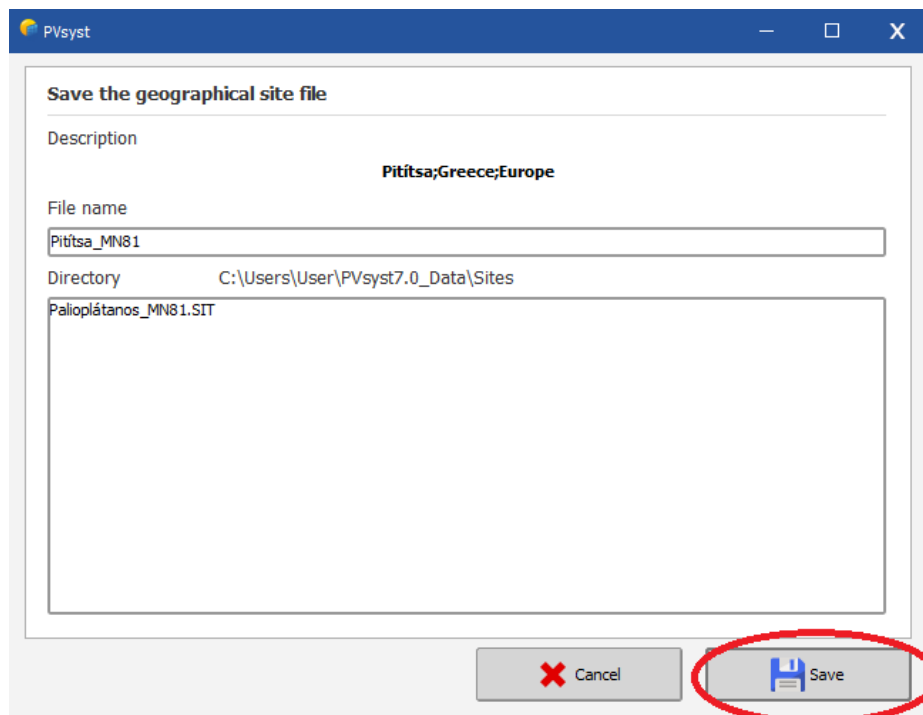
Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής απευθείας των συντεταγμένων του σημείου από την καρτέλα geographical coordinates.



Εμφανίζεται η καρτέλα Monthly Meteο και πατάμε OK.



4.3 Βήμα 3: Καθορισμός του folder αποθήκευσης του project



Εμφανίζεται η παρακάτω καρτέλα, πατάμε Ναι και κατόπιν ΟΚ

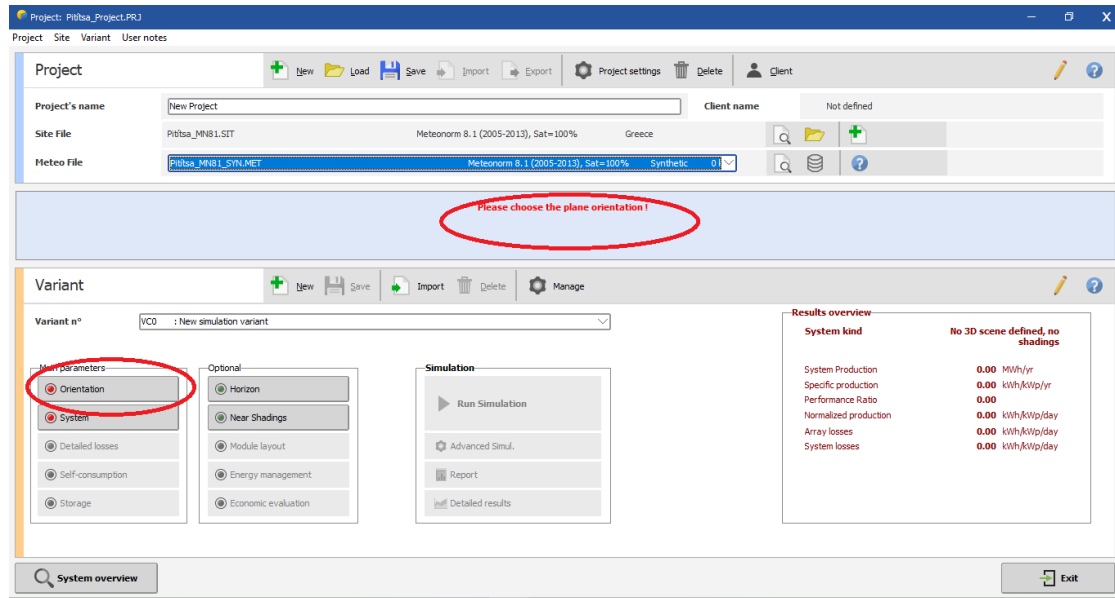
	Global horizontal irradiation kWh/m ² /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m ² /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity []	Relative humidity %
January	66.9	30.1	3.1	2.19	2.564	75.1
February	82.1	35.5	4.3	2.49	2.886	73.5
March	128.0	55.7	7.4	2.49	3.399	66.6
April	159.3	67.8	10.5	2.30	3.934	61.3
May	205.2	73.6	15.5	2.29		
June	224.6	68.9	19.8	2.29		
July	225.3	56.3	23.0	2.39		
August	206.0	62.5	23.0	2.50		
September	150.5	51.2	17.8	2.10		
October	109.4	47.5	13.3	1.90		
November	70.6	30.6	8.6	1.79		
December	57.3	26.0	4.4	1.89		
Year	1685.1	605.6	12.5	2.2	3.169	61.6

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.3%

4.4 Βήμα 4: Εμφάνιση αρχικής σελίδας του project

Πατάμε save

4.5 Βήμα 5:Επιλογή προσανατολισμού

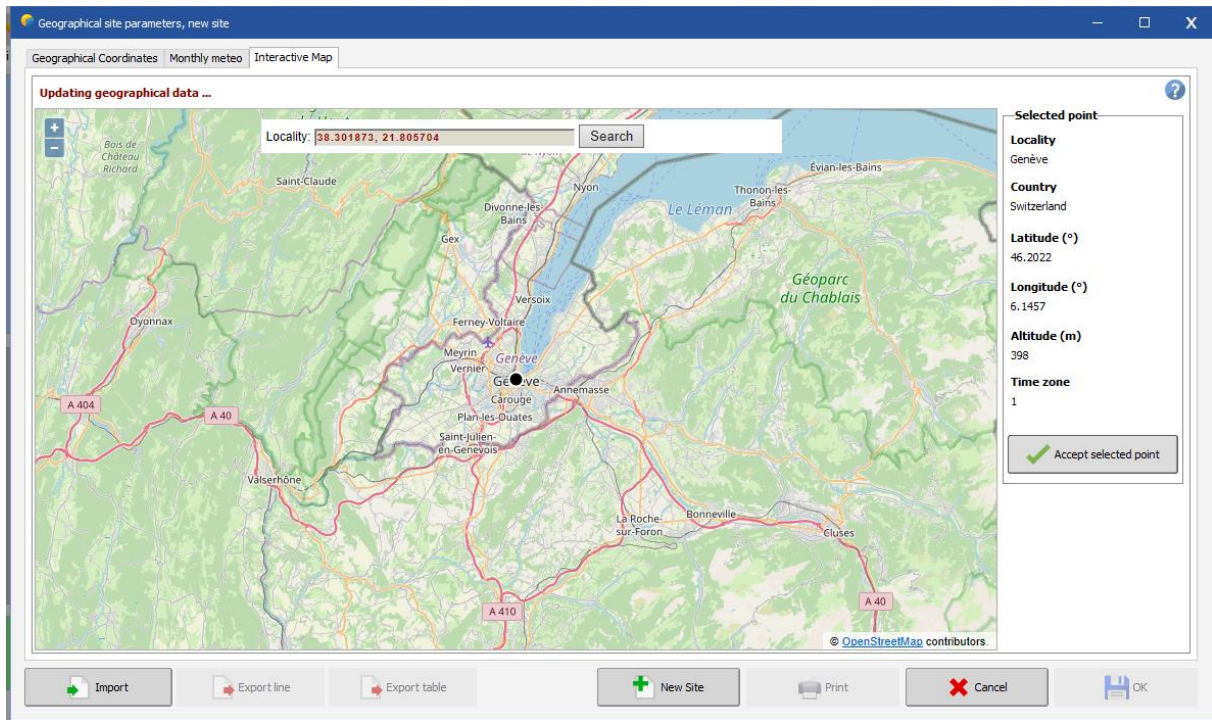


Σε αυτό το σημείο γίνεται η επιλογή του τύπου των βάσεων (σταθερές βάσεις, ιχνηλάτες κτλ), του προσανατολισμού και της κλίσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

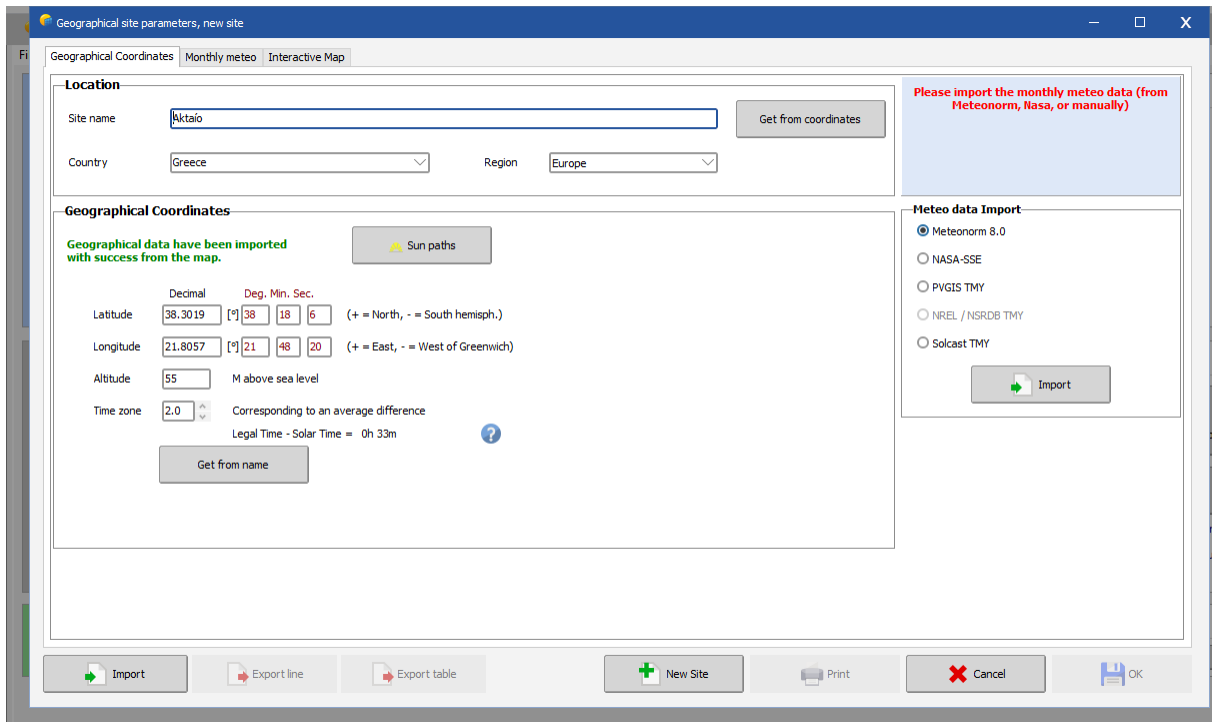
5.1 Εισαγωγή συντεταγμένων και μετεωρολογικών στοιχείων

Στην αρχή του νέου project γίνεται εισαγωγή των συντεταγμένων της θέσης του πάρκου και πατάμε search

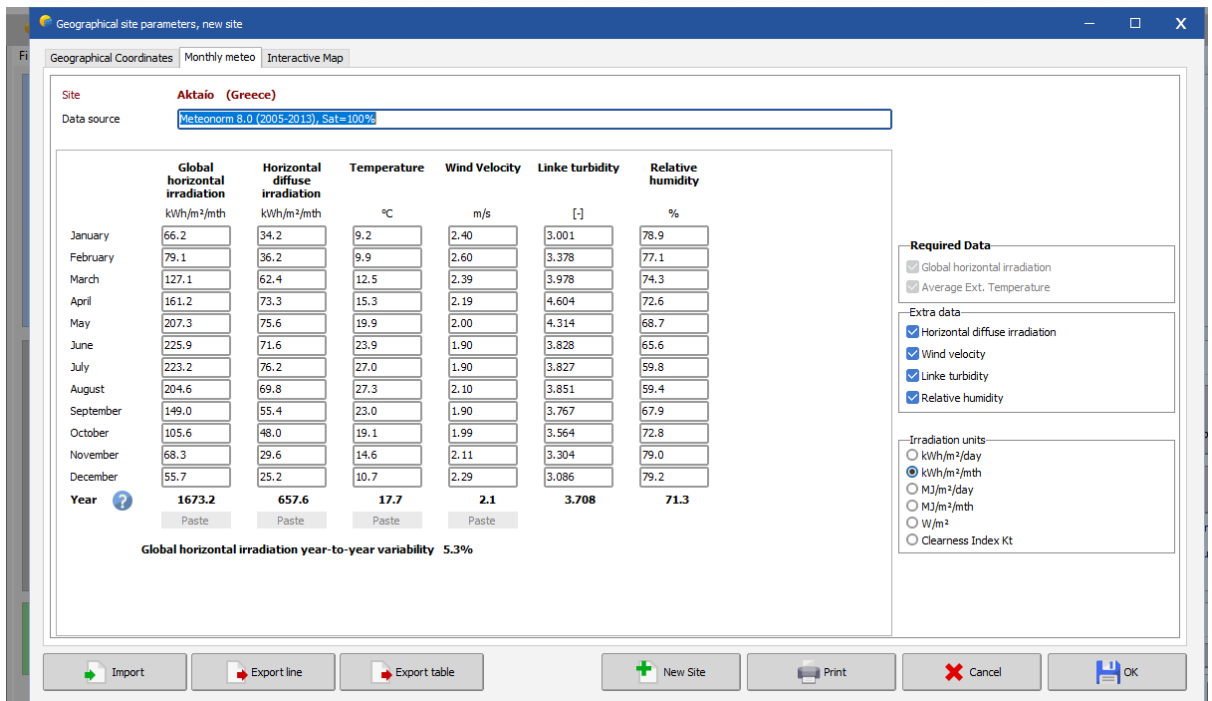


Εικόνα 5.1 Εισαγωγή συντεταγμένων θέσης πάρκου

Στη συνέχεια οι συντεταγμένες καταχωρούνται και πατάμε Import προκειμένου να εισαχθούν τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή

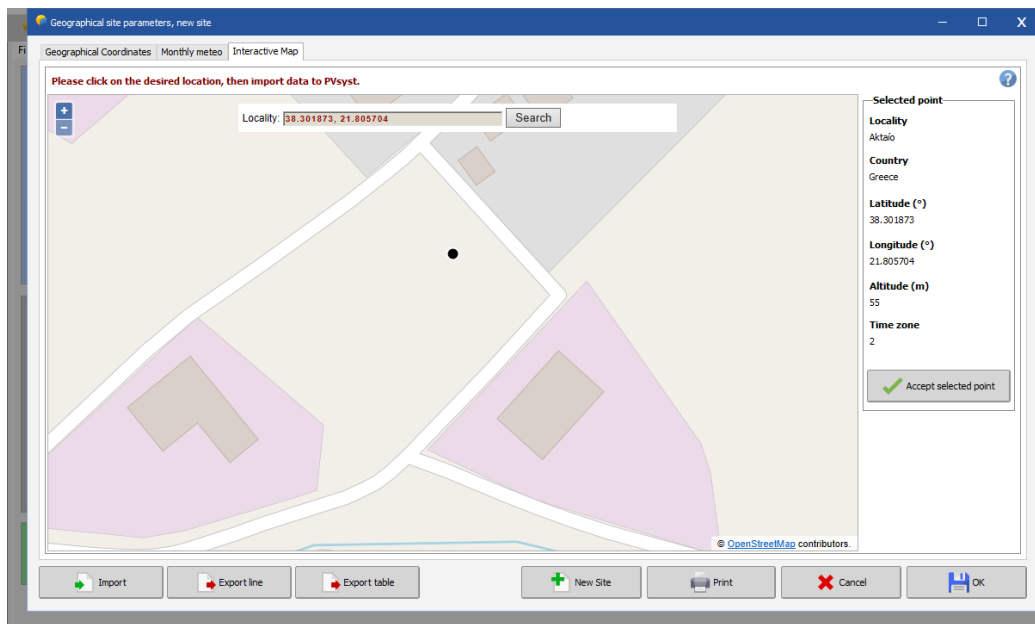


Εικόνα 5.2 Καταχώρηση συντεταγμένων



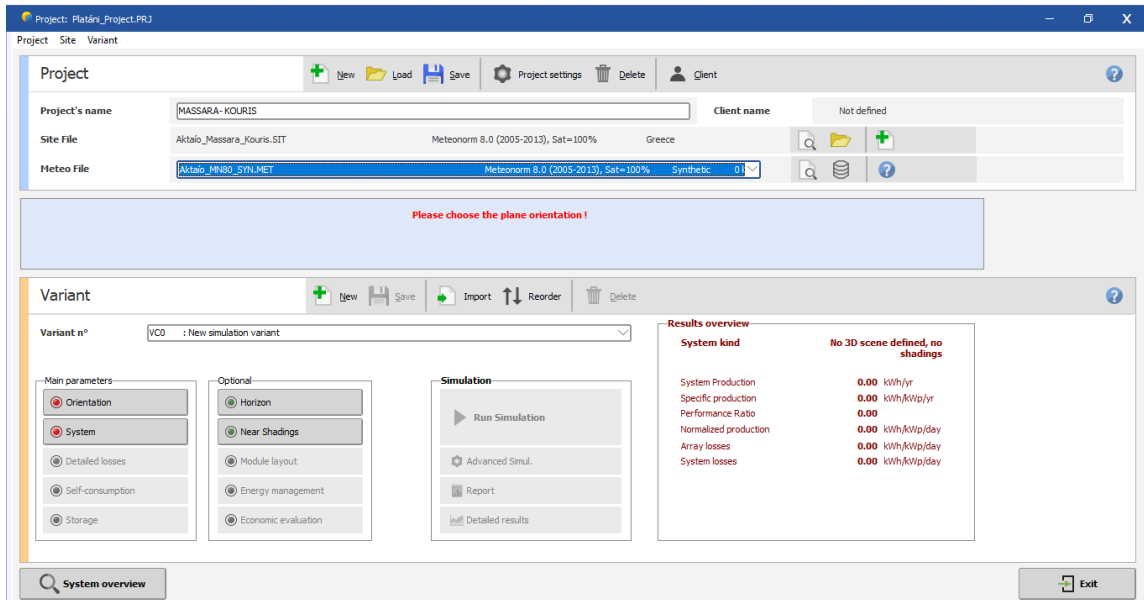
Εικόνα 5.3 Καταχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων

Πατώντας OK εμφανίζεται η θέση που έχει οριστεί και πατάμε OK



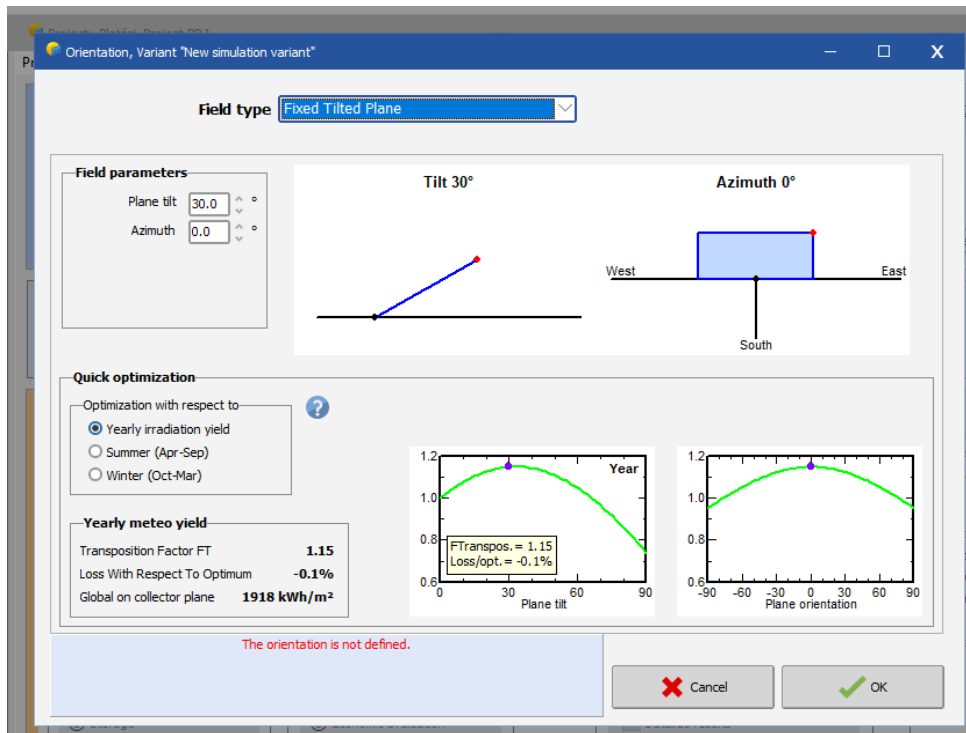
Εικόνα 5.4 Εμφάνιση θέσης

Κατόπιν καταχωρείται το όνομα του project



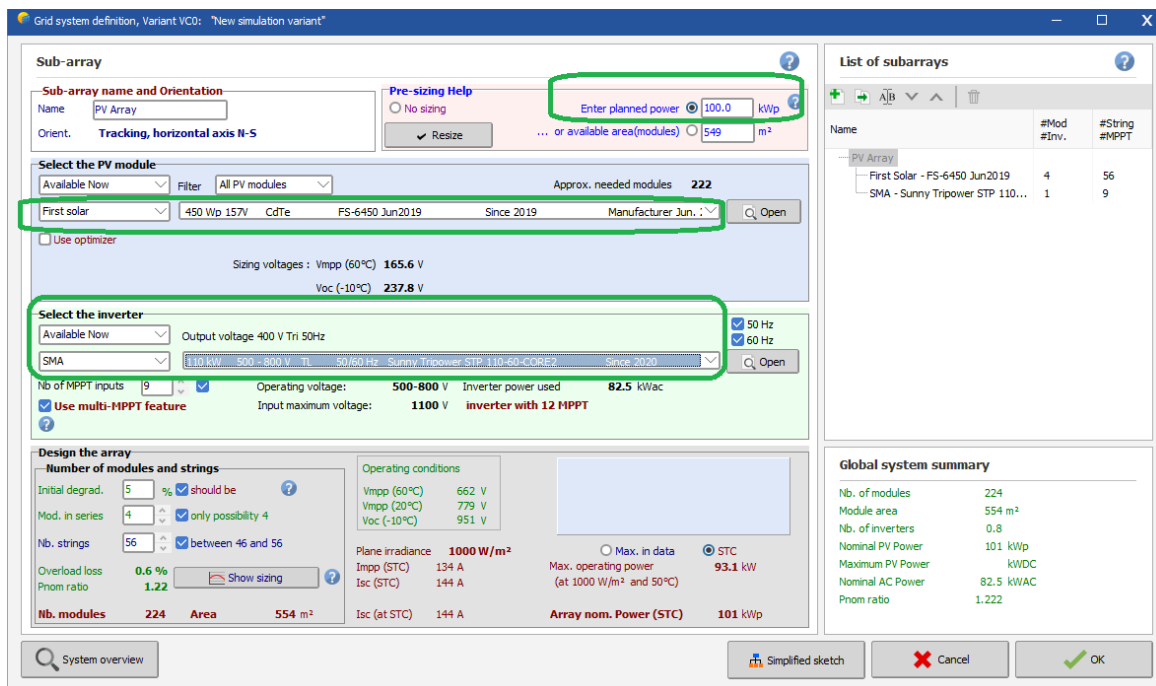
Εικόνα 5.5 Καταχώρηση ονόματος project

Πατώντας orientation ορίζουμε τον προσανατολισμό των πάνελ (σταθερά, κλίσεις, ιχνηλάτες κ.τ.λ.)



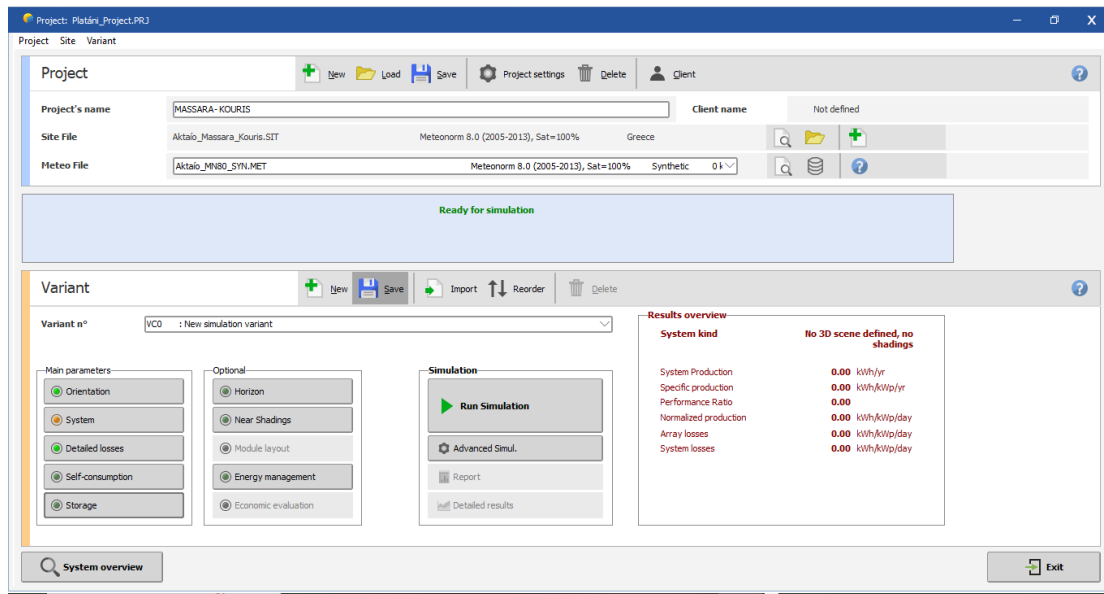
Εικόνα 5.6 Σταθερές βάσεις με κλίση 30°

Κατόπιν ορίζεται η διαθέσιμη έκταση για το πάρκο, τα πάνελ και ο αντιστροφέας



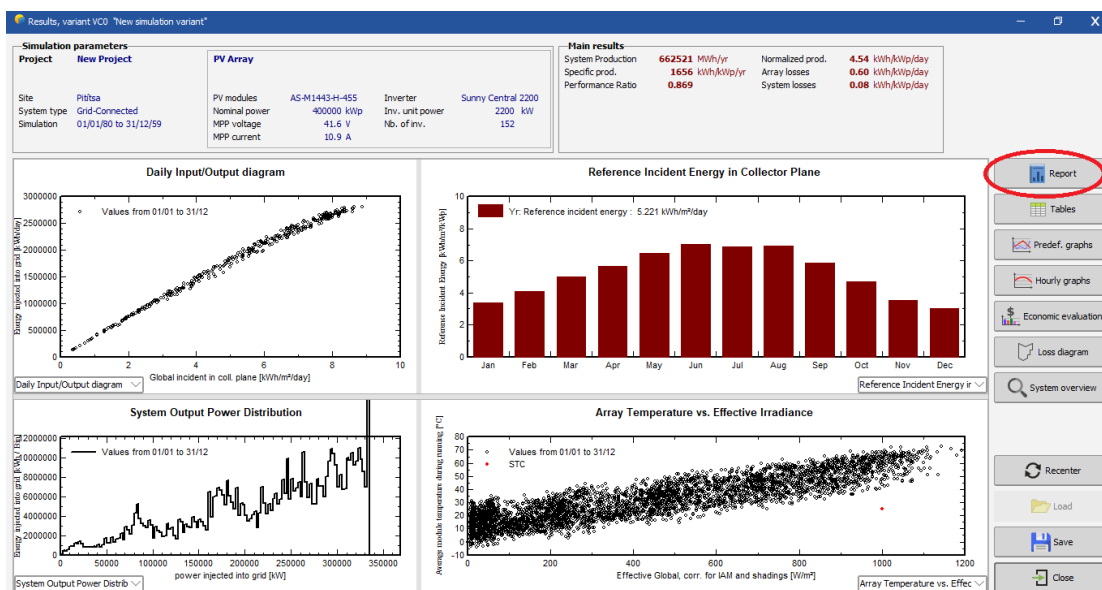
Εικόνα 5.7 Εισαγωγή τετραγωνικών έκτασης, επιλογή πάνελ και αντιστροφέα

Τέλος πατάμε run simulation και τρέχει το project



Εικόνα 5.8 Εκτέλεση project πατώντας Run simulation

Πατάμε report και εξάγονται όλες οι πληροφορίες του project σε pdf



Εικόνα 5.9 Η εικόνα του προγράμματος μετά το τρέξιμο του project

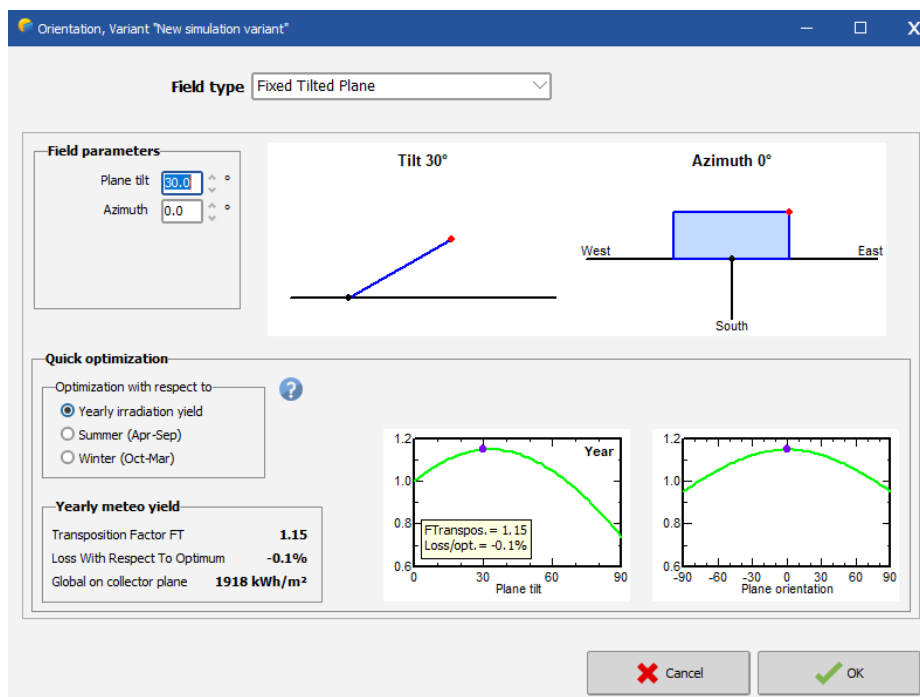
Πατάμε save

5.2 Παρουσίαση των 5 διαφορετικών σεναρίων για την εγκατάσταση των 100kW

Για τις ίδιες παραμέτρους «έτρεξαν» πέντε διαφορετικές εκδοχές όσον αφορά τη μέθοδο υποστύλωσης των πάνελ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τα πέντε αυτά διαφορετικά σενάρια

5.2.1 Σενάριο 1: Σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30°

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σταθερές βάσεις με γωνία κλίσης 30° σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.



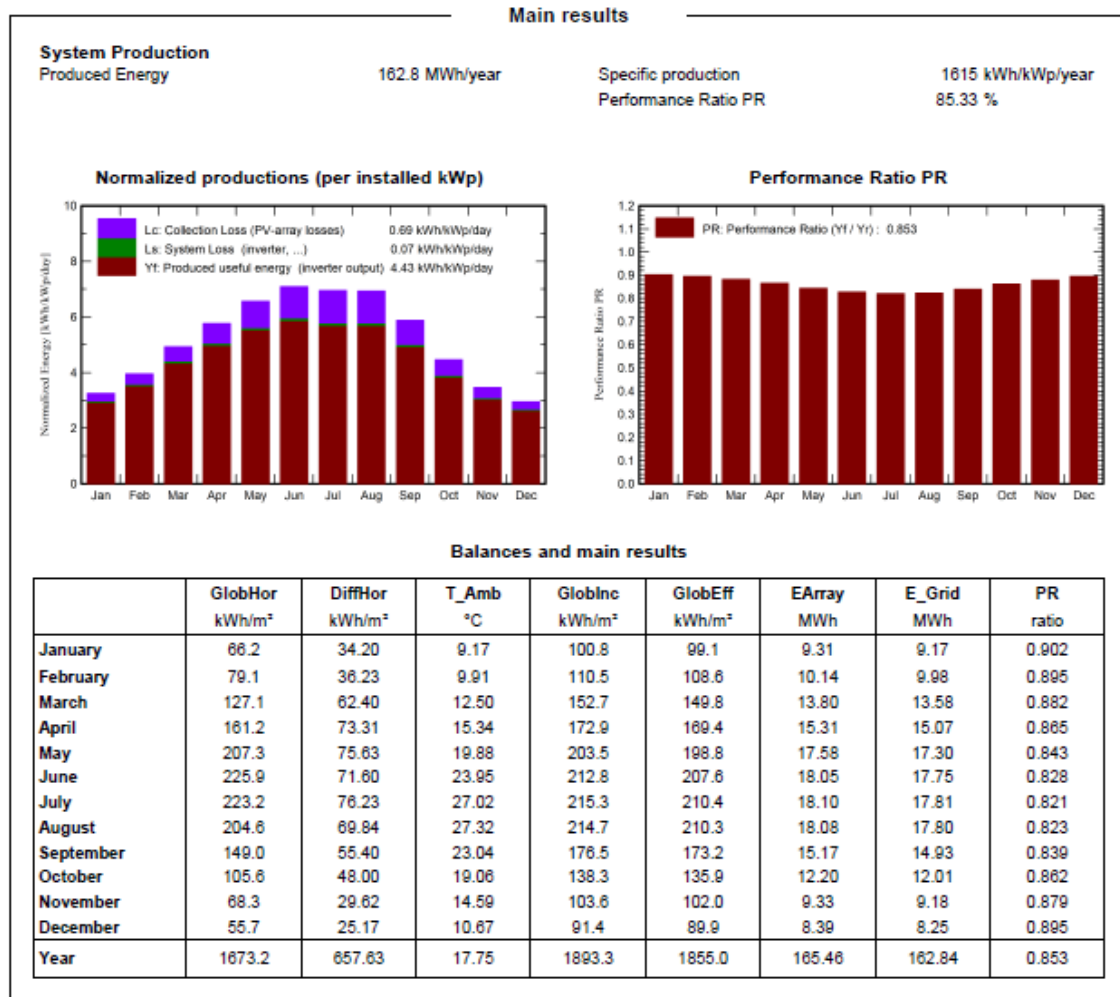
Εικόνα 5.10 Ορισμός σταθερής κλίσης 30°

Πίνακας 5-1 Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις

General parameters		
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Trackers configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Tracking plane, vertical axis		Diffuse Perez, Meteonorm
Plane tilt 30 °		Circumsolar separate
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

Ο Πίνακας 5-2 δίνει την ετησίως παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, το βαθμό απόδοσης του συστήματος και λεπτομερή ανά μήνα καταγραφή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα διάφορα είδη ακτινοβολιών και της εγχεόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο

Πίνακας 5-2 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις και κλίση 30°

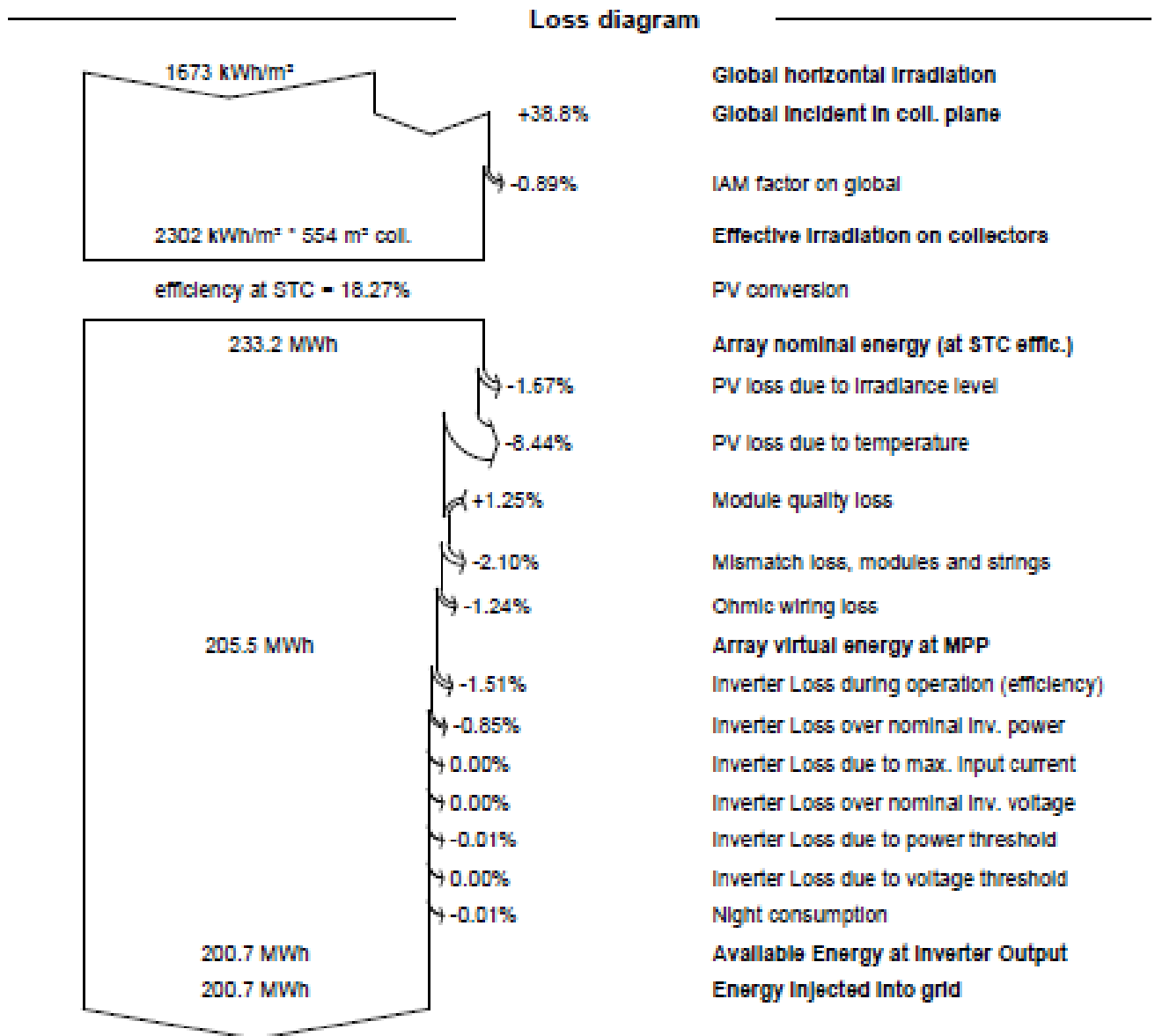


Ακολουθεί επεξήγηση των συμβολισμών στον Πίνακας 5-2

- GlobHor Οριζόντια παγκόσμια ακτινοβολία
- DiffHor Οριζόντια διάχυτη ακτινοβολία
- Tamb Θερμοκρασία περιβάλλοντος,
- GlobInc Παγκόσμια ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη
- GlobEff Πραγματική ακτινοβολία , μετά από όλες τις οπτικές απώλειες (σκιάσεις, γωνία πρόσπτωσης, ρύπανση)
- Earray Πραγματική ενέργεια στην έξοδο του πάνελ
- Egrid Εγχεόμενη ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

- PR Βαθμός απόδοσης

Ακολουθεί το διάγραμμα απωλειών ισχύος



Διάγραμμα 5.1

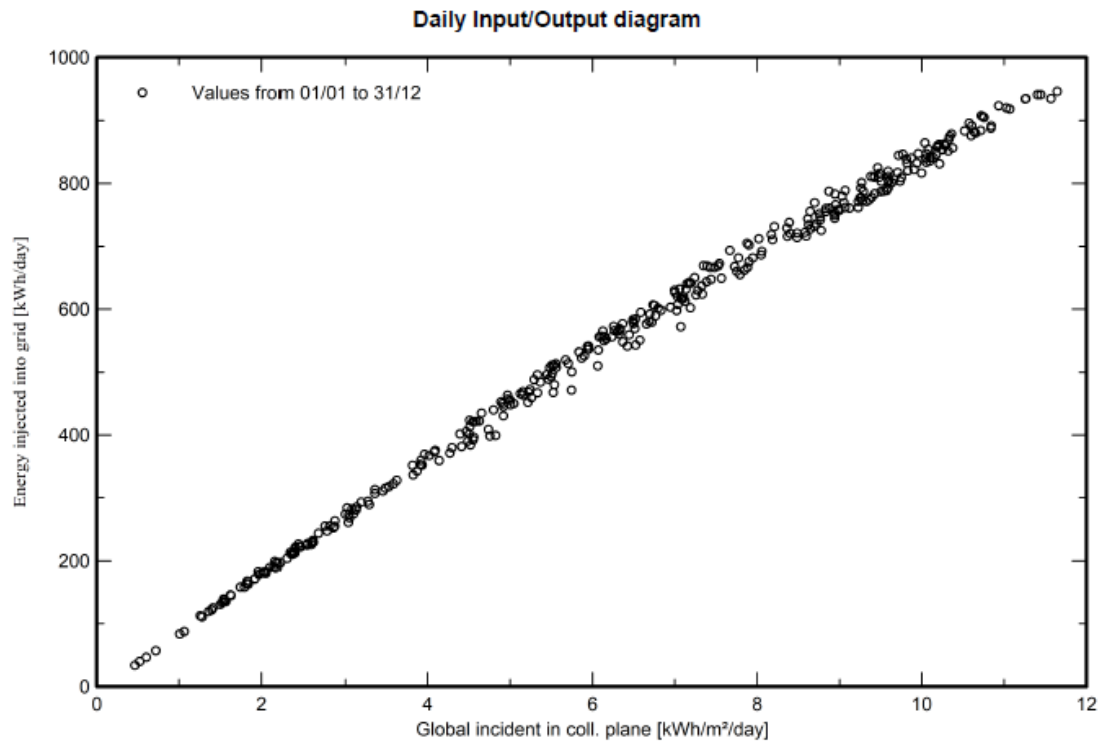
Διάγραμμα απωλειών ισχύος με σταθερές βάσεις και κλίση 30°

Ακολουθεί επεξήγηση των συμβολισμών στο Διάγραμμα 5.1

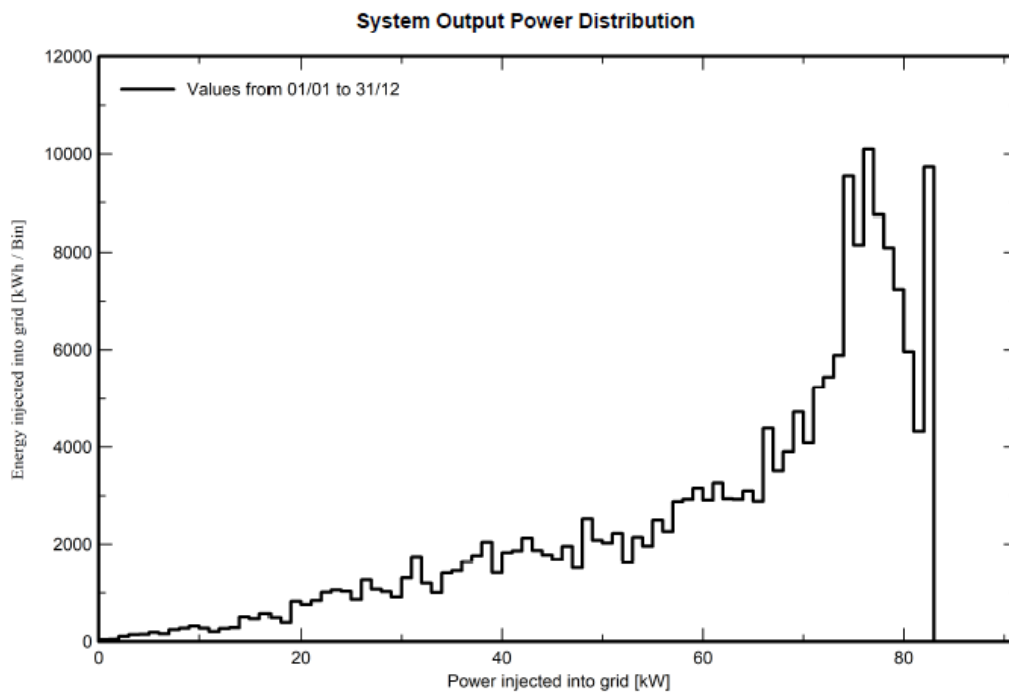
- Global Horizontal irradiation Οριζόντια παγκόσμια ακτινοβολία
- Global Incident in coll. plane Παγκόσμια ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη

- IAM factor on global Μείωση της ακτινοβολίας που φθάνει πραγματικά στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κυττάρων, σε σχέση με την ακτινοβολία υπό κανονική πρόσπτωση, λόγω των αντανάκλασεων που αυξάνονται με τη γωνία πρόσπτωσης.
- Effective irradiation on collectors Ενεργή ακτινοβολία στο συλλέκτη
- P_v conversion Μετατροπή του πάνελ
- Array nominal energy Ονομαστική ενέργεια ΦΒ σειράς
- PV loss due to irradiance level Απώλεια πάνελ λόγω επιπέδου ακτινοβολίας
- PV loss due to temperature Απώλεια πάνελ λόγω θερμοκρασίας
- Module quality loss Απώλεια ποιότητας μονάδας: Αυτή η απώλεια αναφέρεται στις θετικές και αρνητικές ανοχές W_p των μονάδων
- Mismatch loss, modules and strings Απώλεια μη ταιριάσματος συστοιχίας μονάδων: Οι απώλειες μη ταιριάσματος είναι συνάρτηση της ηλεκτρικής ομοιομορφίας παραγωγής και της δέσμευσης αυτής.
- Ohmic wiring loss Απώλεια ωμικής καλωδίωσης. Αυτή η απώλεια οφείλεται στην επιλογή καλωδίων, αντιπροσωπεύοντας την απώλεια στην πλευρά DC μεταξύ της μονάδας προς τον μετατροπέα μέσω καλωδίων DC.
- Inverter loss during operation Απώλεια μετατροπέα κατά τη λειτουργία
- Inverter loss over nominal inv. Power Απώλειες μετατροπέα στην ονομαστική ισχύ λειτουργίας
- Inverter loss due to max input current Απώλειες μετατροπέα από το μέγιστο ρεύμα εισόδου
- Inverter loss over nominal input current Απώλειες μετατροπέα πάνω από το ονομαστικό ρεύμα εισόδου
- Inverter loss due to power threshold Απώλειες μετατροπέα λόγω του κατωφλίου ισχύος
- Inverter loss due to voltage threshold Απώλειες μετατροπέα λόγω του κατωφλίου τάσης
- Night consumption Κατανάλωση κατά τη διάρκεια της νύκτας

Τέλος, παρατίθενται και δύο διαγράμματα (Διάγραμμα 5.2 και Διάγραμμα 5.3) όπου φαίνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με την ακτινοβολία και την ισχύ των πάνελ σε ετήσια βάση



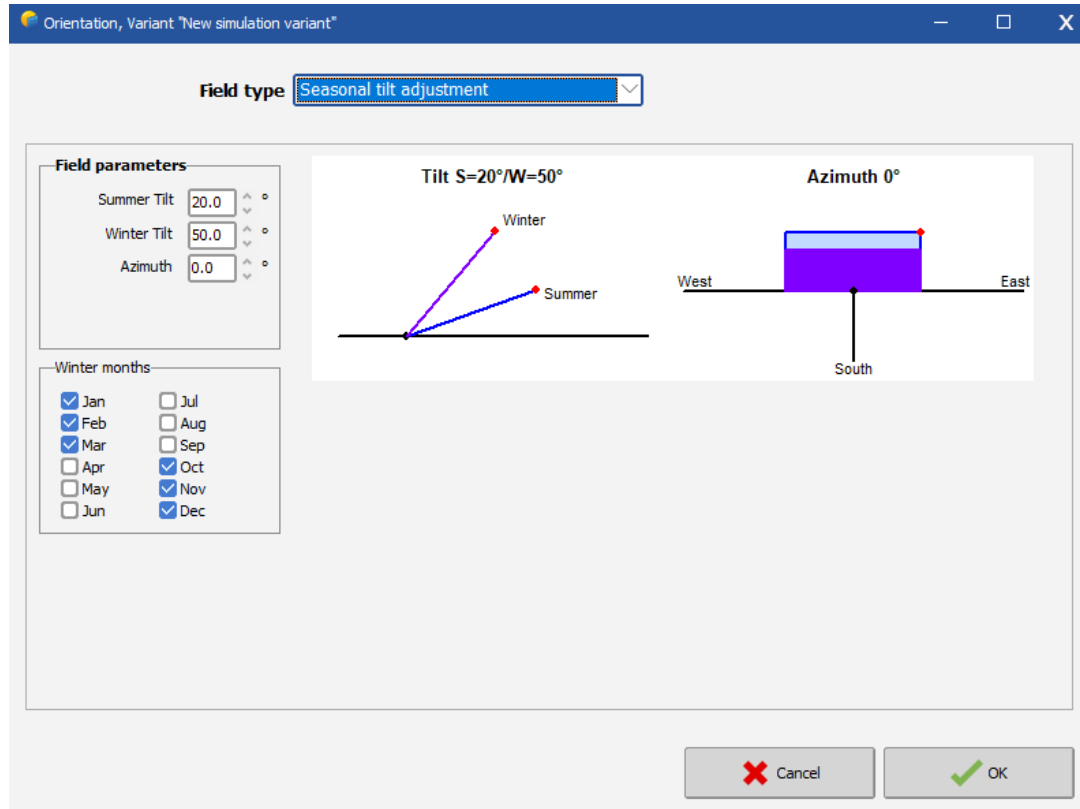
Διάγραμμα 5.2 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°



Διάγραμμα 5.3 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις και κλίση 30°

5.2.2 Σενάριο 2: Σταθερές βάσεις με αλλαγή γωνίας κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκαν σταθερές βάσεις με διαφορετική γωνία κλίσης χειμώνα και καλοκαίρι

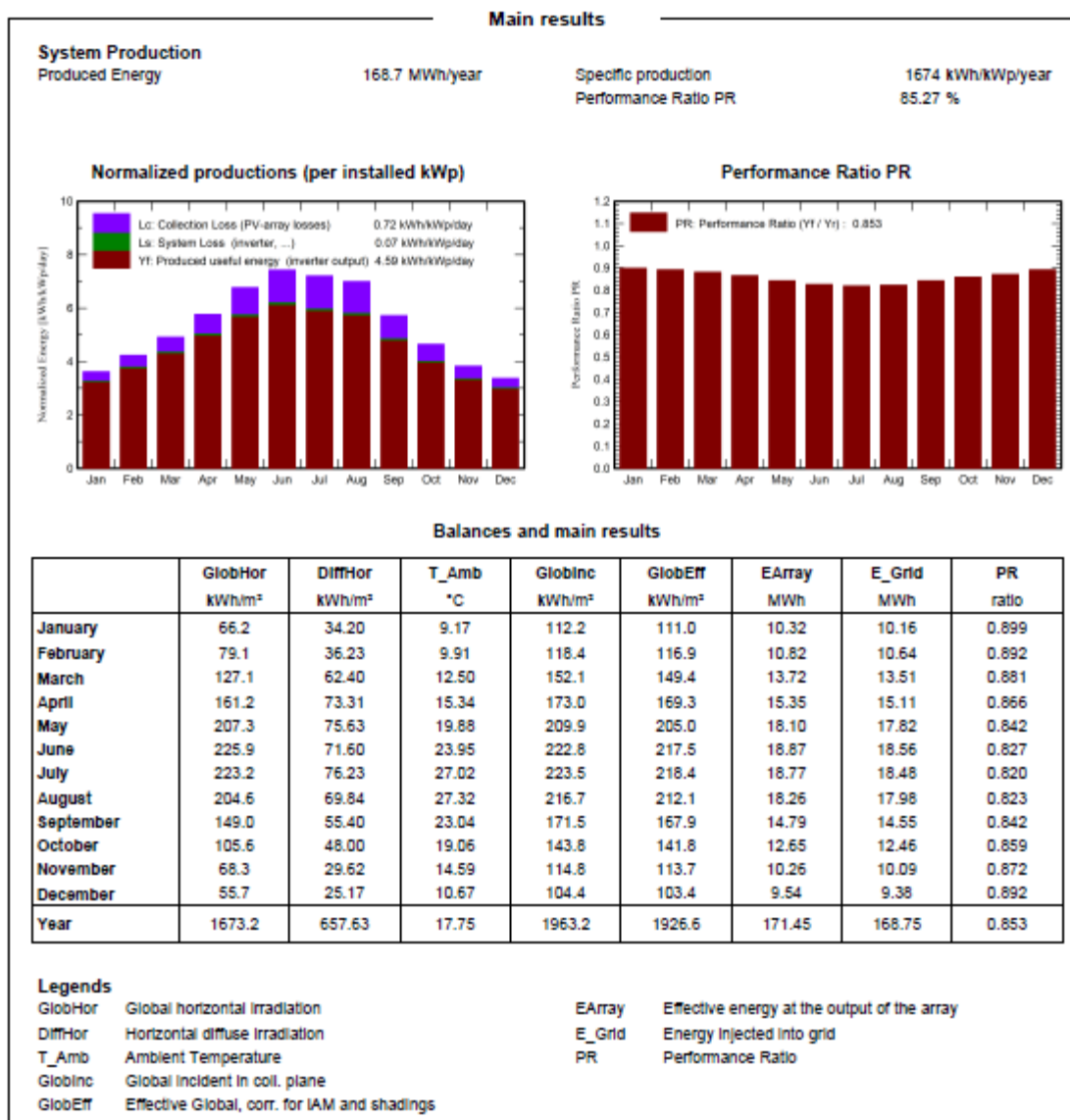


Εικόνα 5.11 Ορισμός μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι

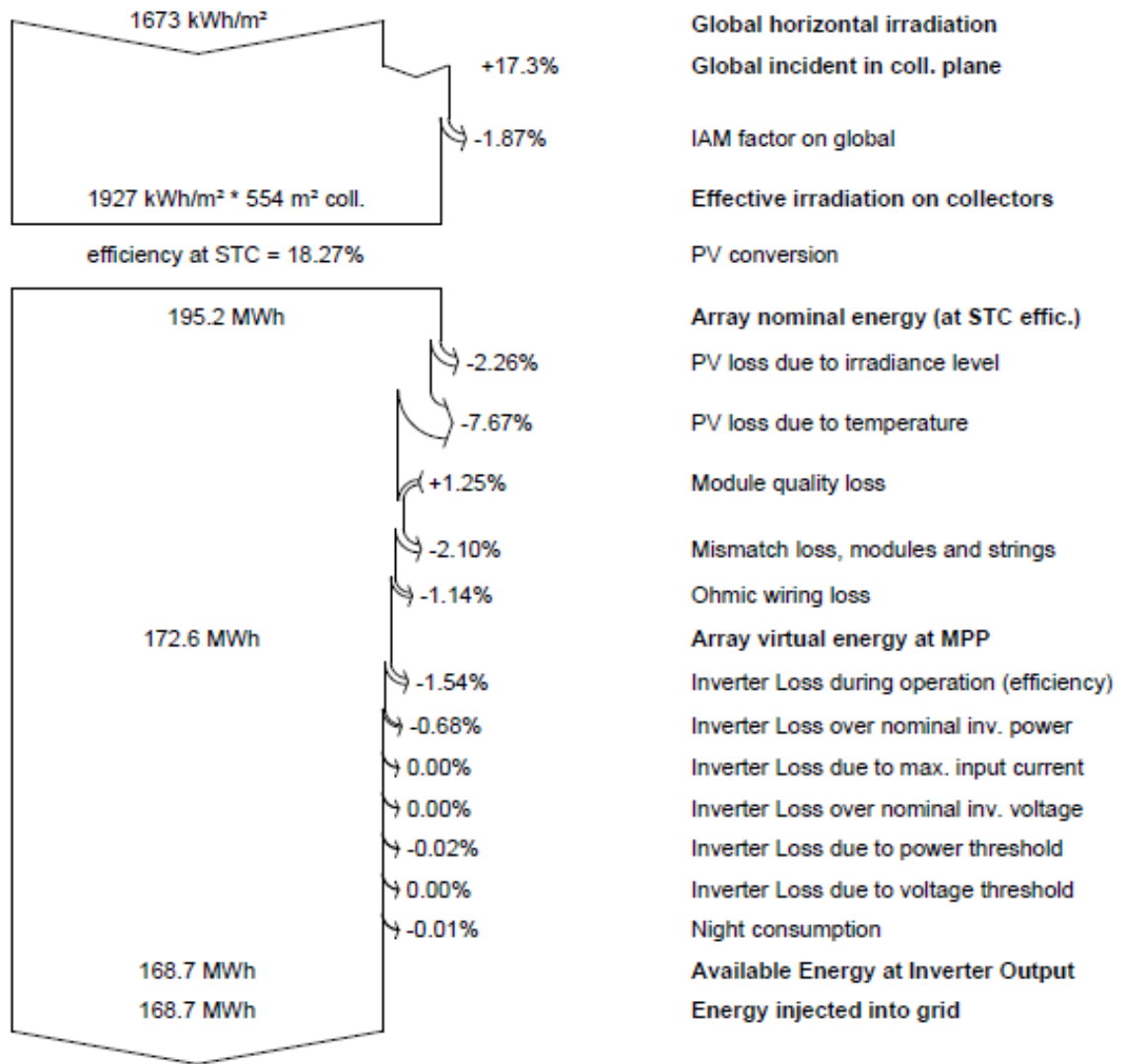
Πίνακας 5-3 Ορισμός της γωνίας κλίσης για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι

General parameters		
Grid-Connected System	Sheds system, seasonal tilt	
PV Field Orientation	Sheds configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Seasonal tilt adjustment		Diffuse Perez, Meteonorm
azimuth 0 °		Circumsolar separate
Summer Tilt 20 °		
winter 50 °		
Oct.-Nov.-Dec.-Jan.-Feb.-Mar.-		
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

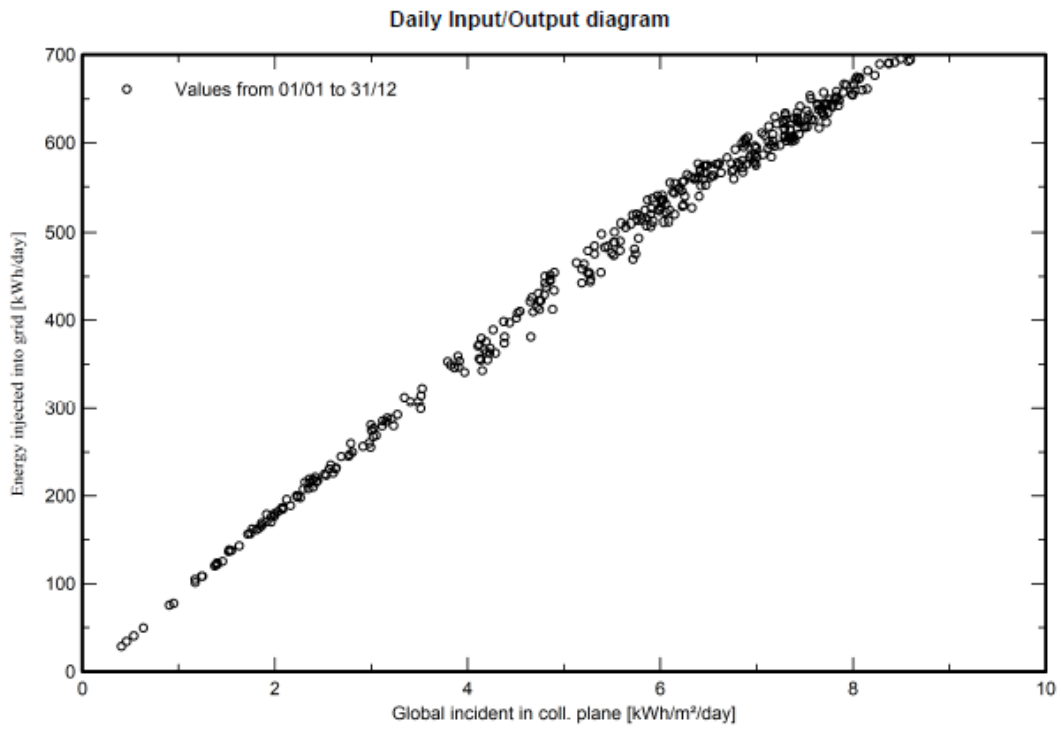
Πίνακας 5-4 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα –καλοκαίρι



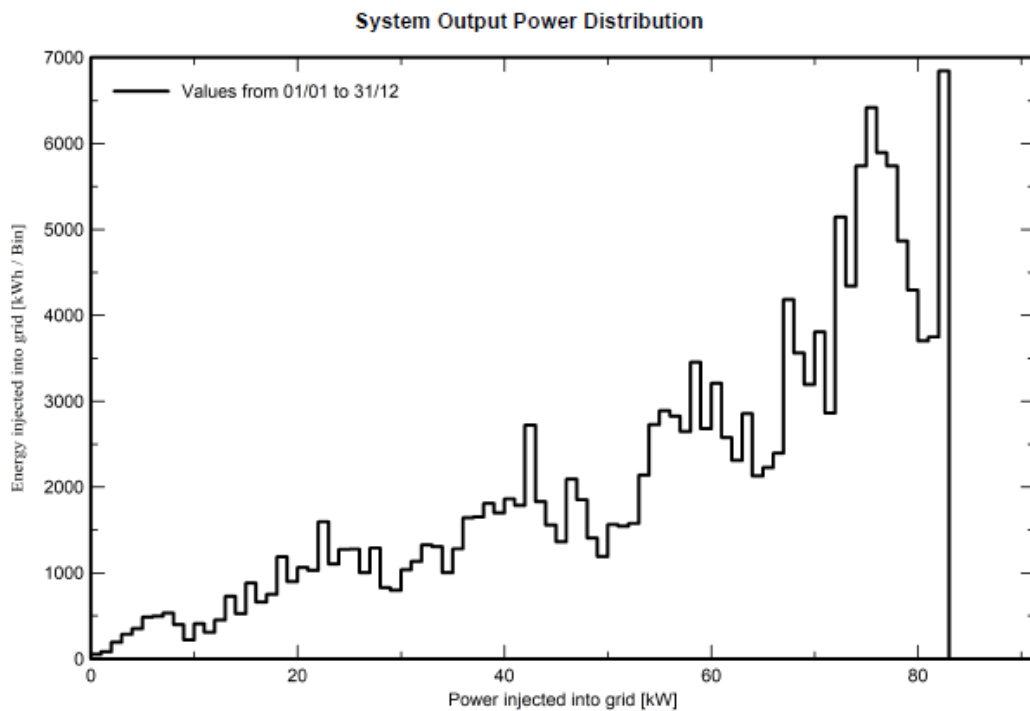
Loss diagram



Διάγραμμα 5.4 Διάγραμμα απωλειών ισχύος για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα - καλοκαίρι

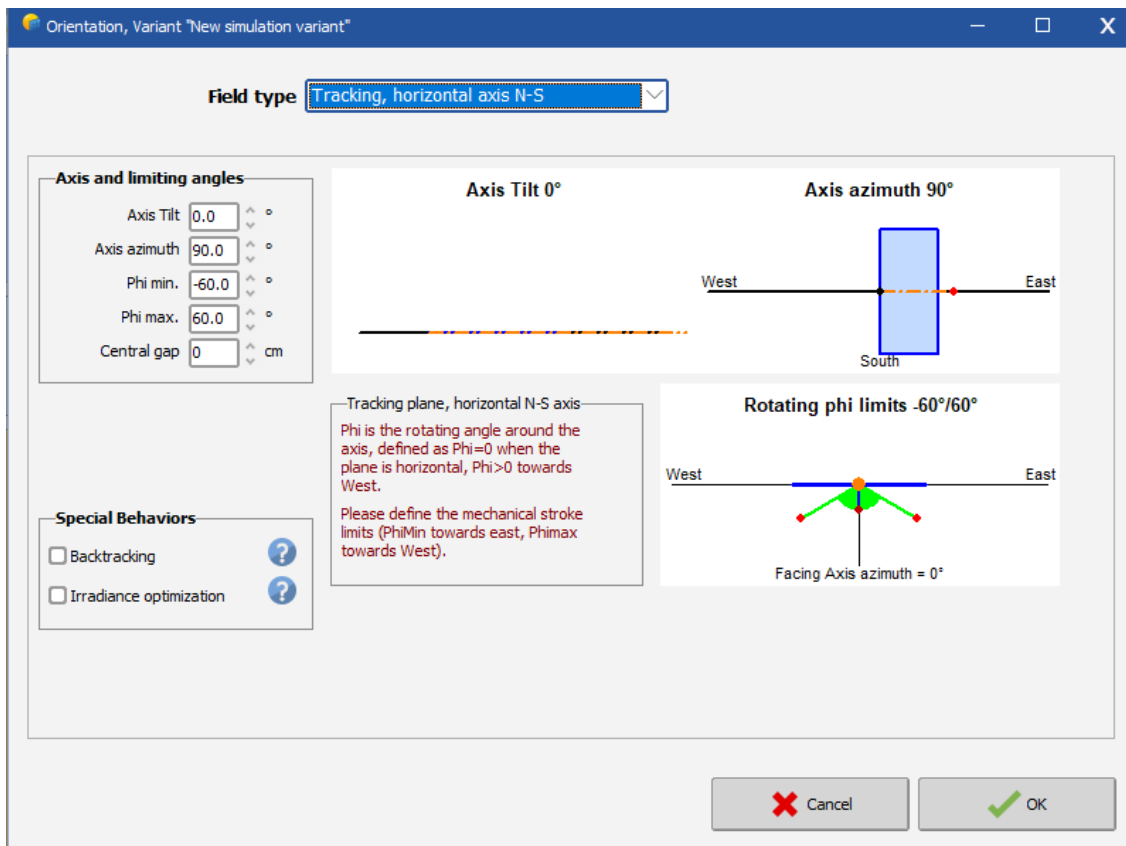


Διάγραμμα 5.5 Εγχεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία στο πάνελ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι



Διάγραμμα 5.6 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για σταθερές βάσεις μεταβλητής κλίσης χειμώνα -καλοκαίρι

5.2.3 Σενάριο 3: Κινητές βάσεις (ιχνηλάτες) στον άξονα βορρά - νότου

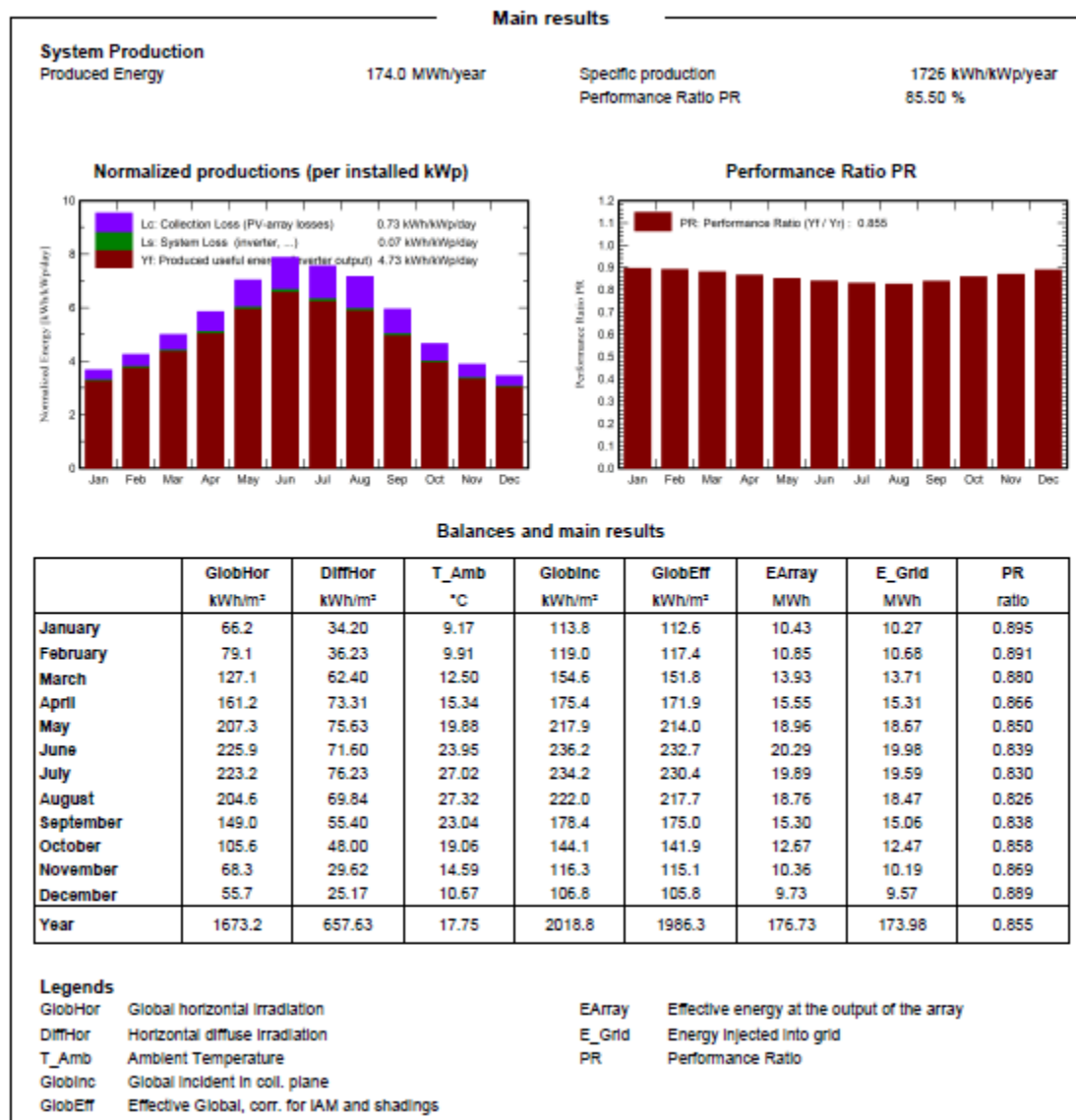


Εικόνα 5.12 Ορισμός ιχνηλατών

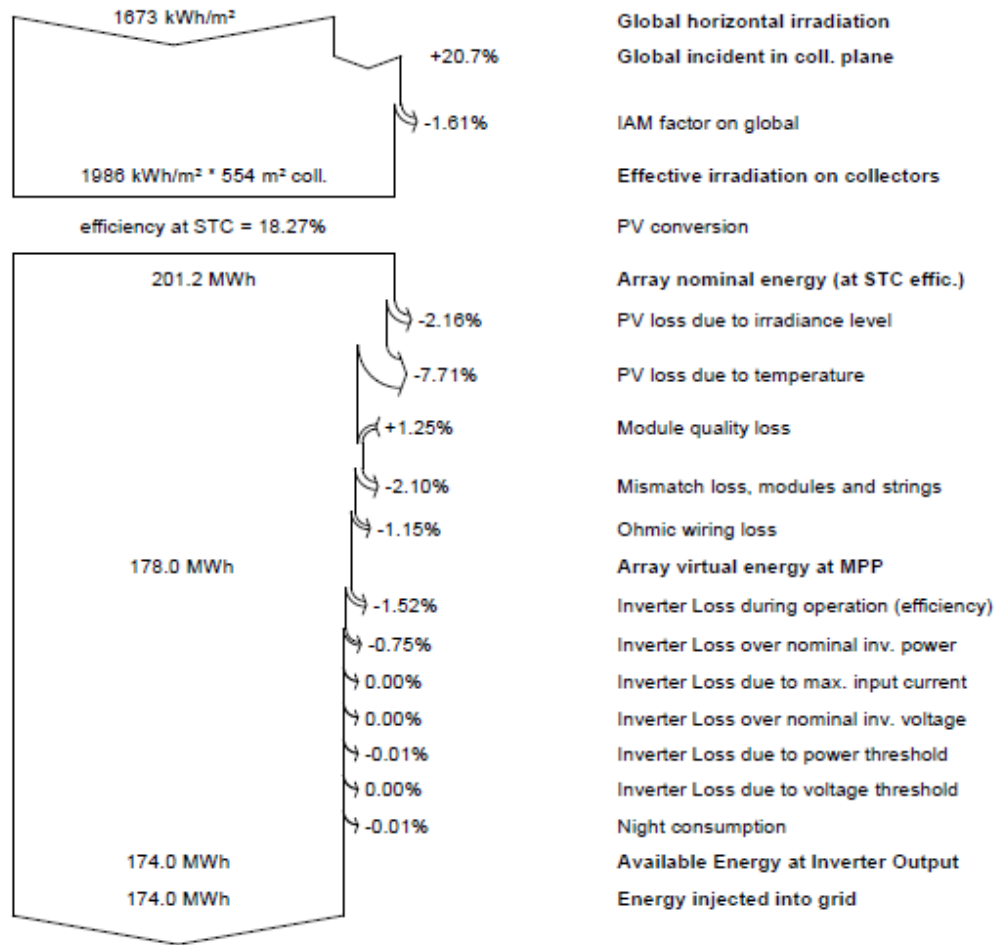
Πίνακας 5-5 Ορισμός των ιχνηλατών

General parameters		
Grid-Connected System	Unlimited trackers	
PV Field Orientation	Tracking algorithm	Trackers configuration
Orientation	Astronomic calculation	Nb. of trackers 10 units
Tracking horizontal axis		Unlimited trackers
		Sizes
		Tracker Spacing 6.60 m
		Collector width 3.00 m
		Ground Cov. Ratio (GCR) 45.5 %
		Left inactive band 0.02 m
		Right inactive band 0.02 m
		Phi min / max +/- 60.0 °
		Shading limit angles
		Phi limits +/- 62.4 °
Models used	Near Shadings	User's needs
Transposition Perez	No Shadings	Unlimited load (grid)
Diffuse Perez, Meteonorm		
Circumsolar separate		
Horizon		
Free Horizon		

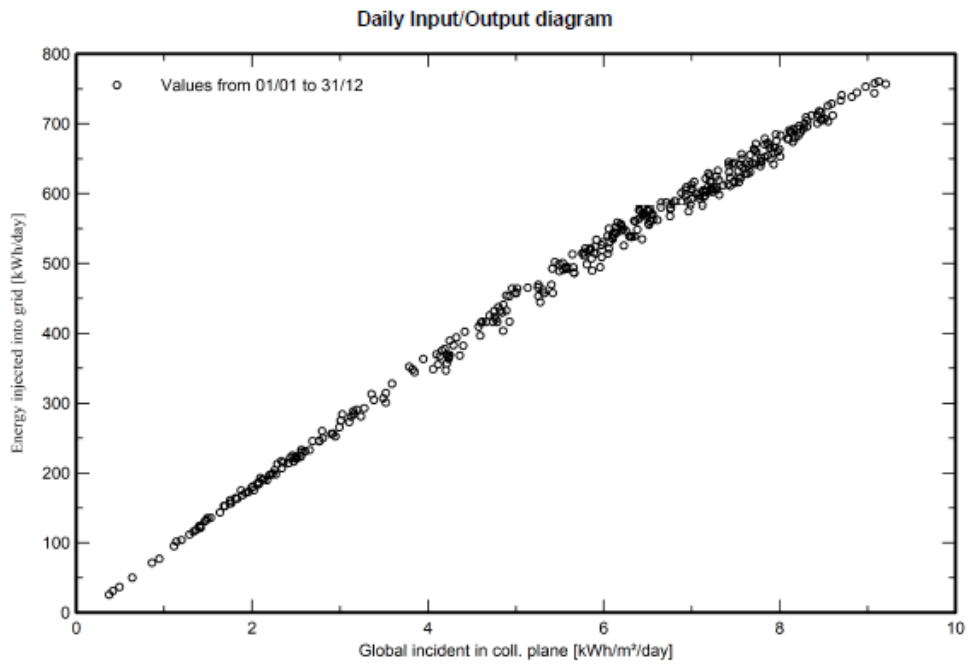
Πίνακας 5-6 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις στο άξονα βορρά-νότου



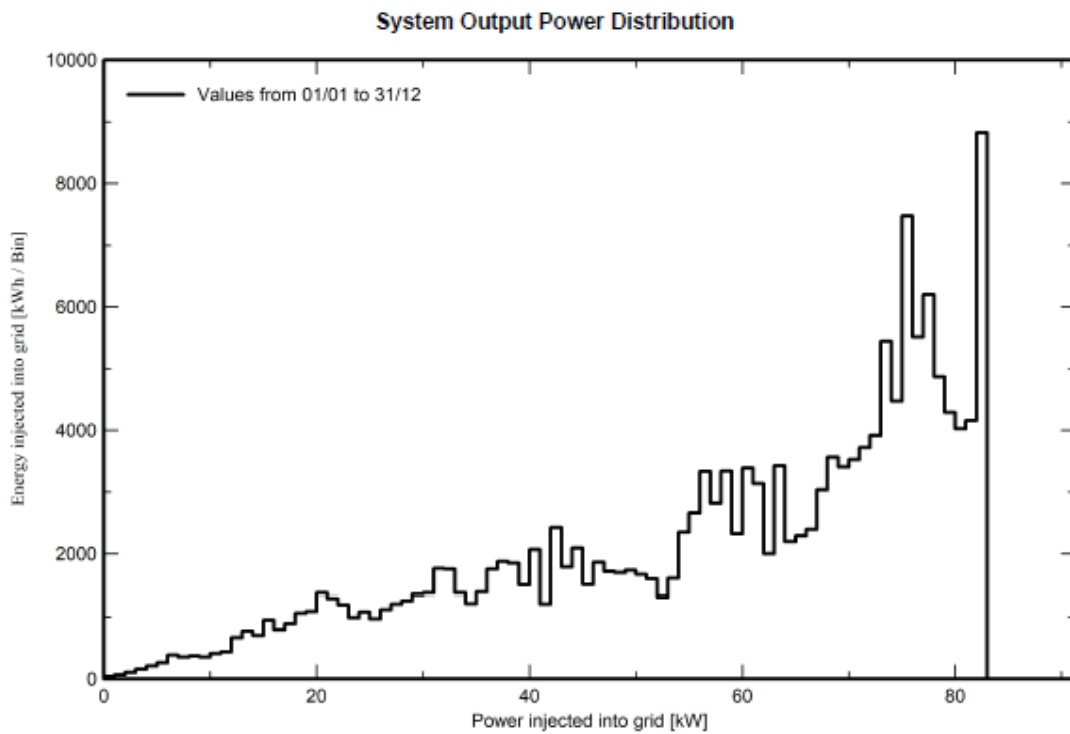
Loss diagram



Διάγραμμα 5.7 Εγχεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγχεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις στο άξονα βορρά- νότου

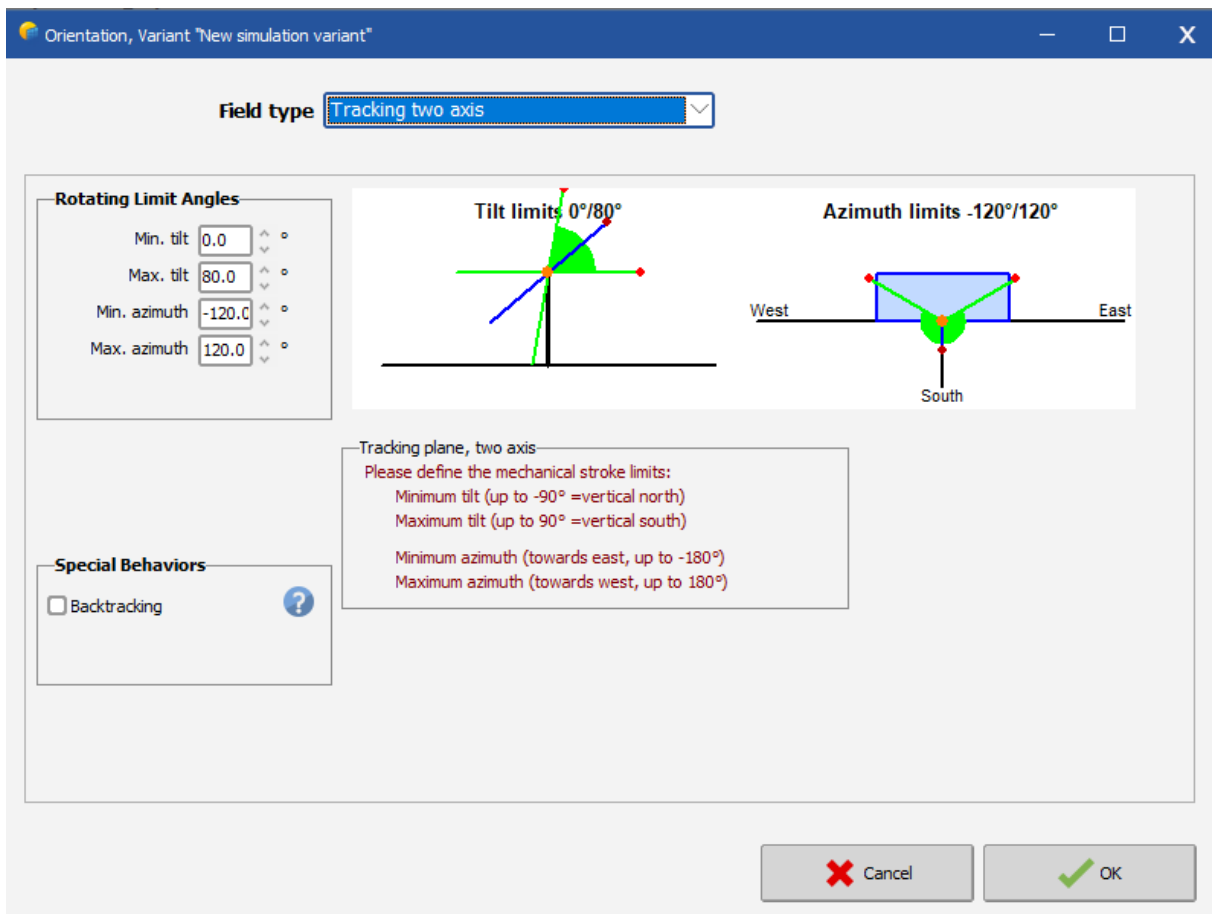


Διάγραμμα 5.8 Εγγεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις



Διάγραμμα 5.9 Εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγγεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις

5.2.4 Σενάριο4: Ιχνηλάτες στους δύο άξονες κίνησης

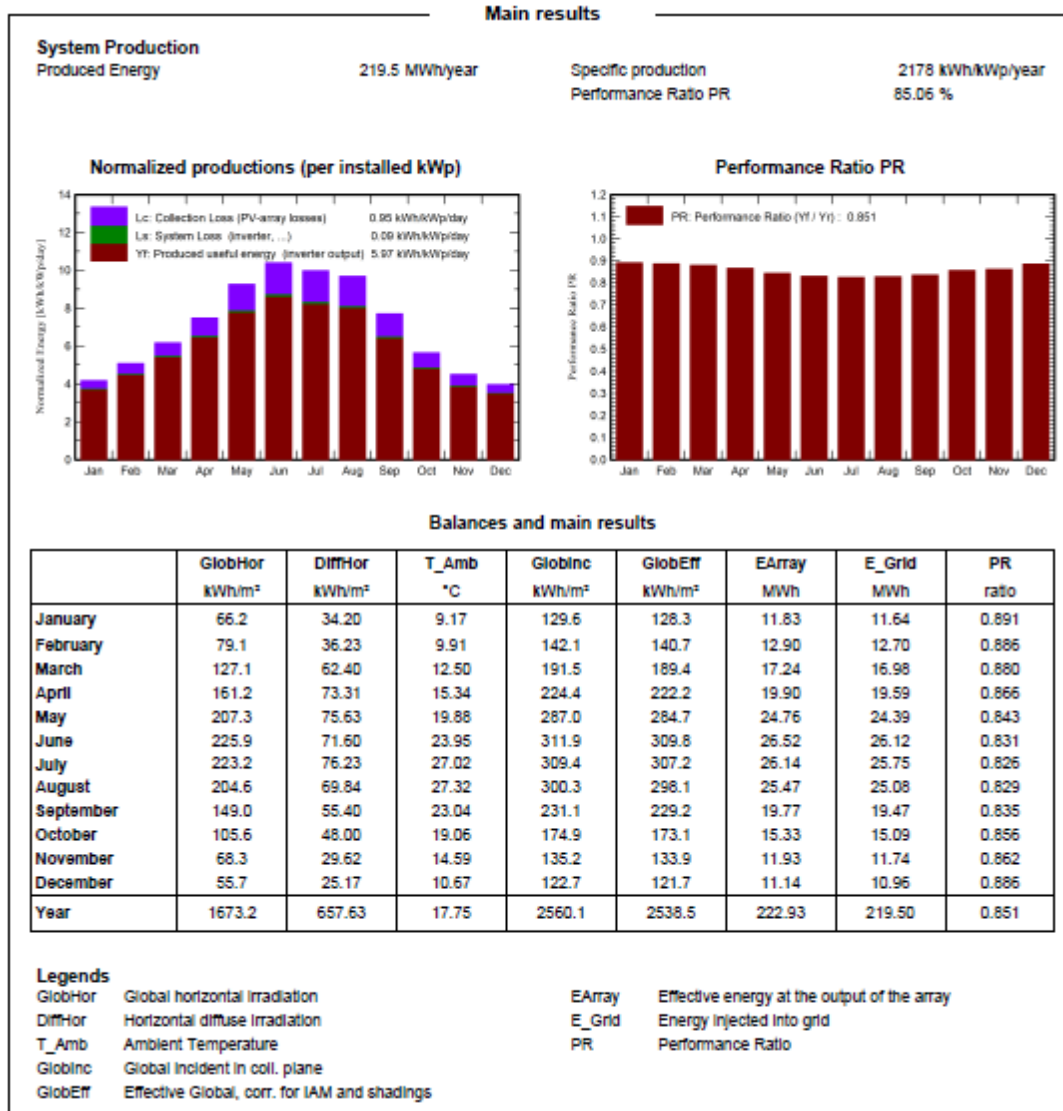


Εικόνα 5.13 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης

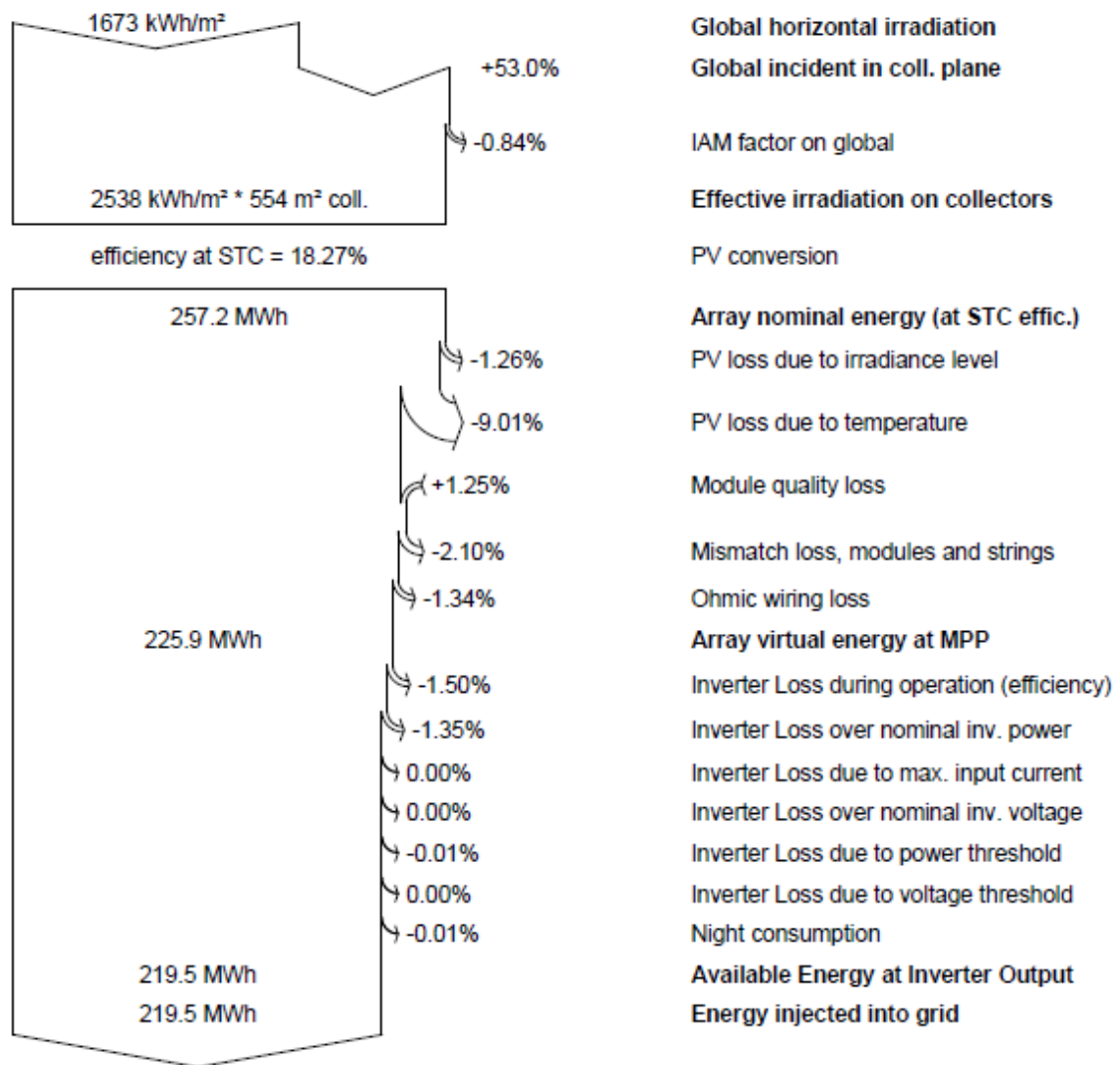
Πίνακας 5-7 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης

General parameters		
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Trackers configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Tracking plane, two axis		Diffuse Perez, Meteorom separate
		Circumsolar
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

Πίνακας 5-8 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης

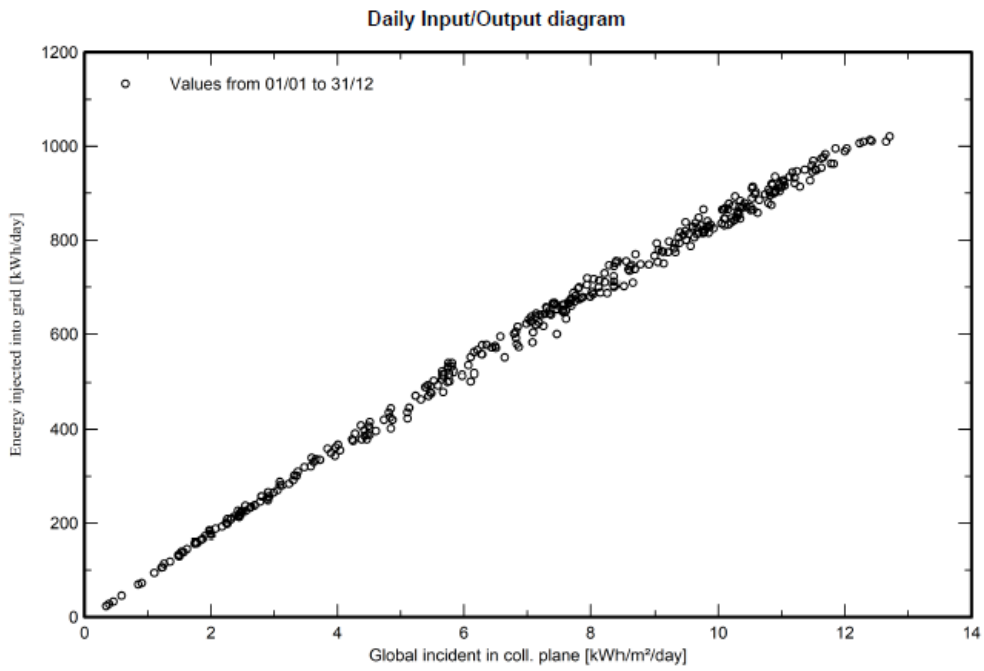


Loss diagram

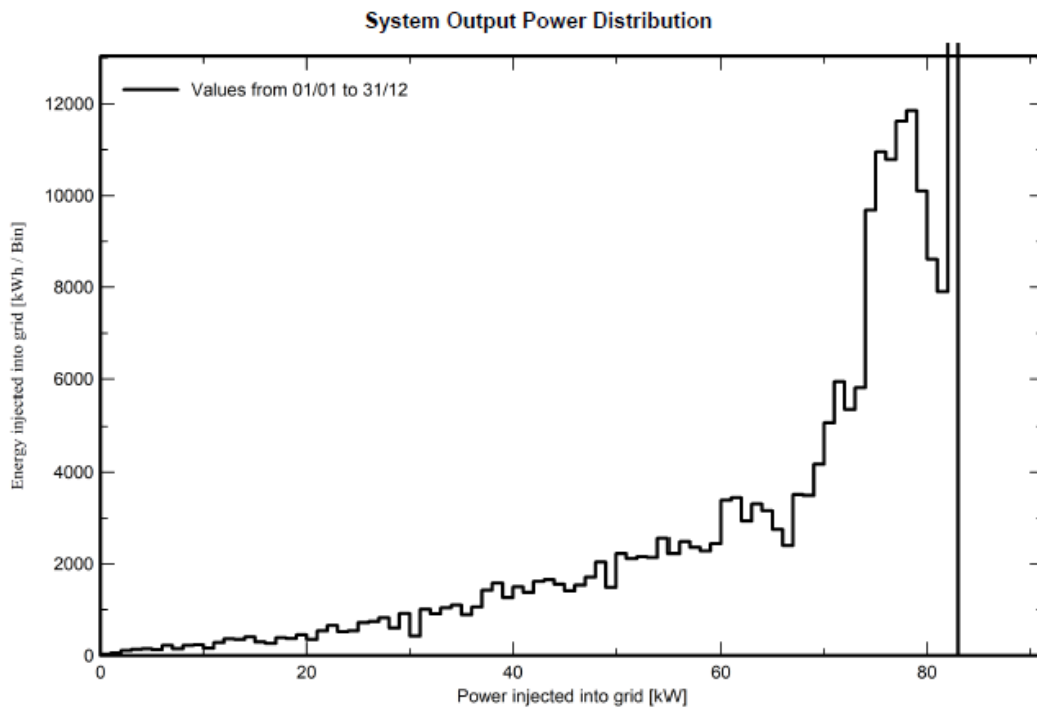


Διάγραμμα 5.10

Εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγγεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης

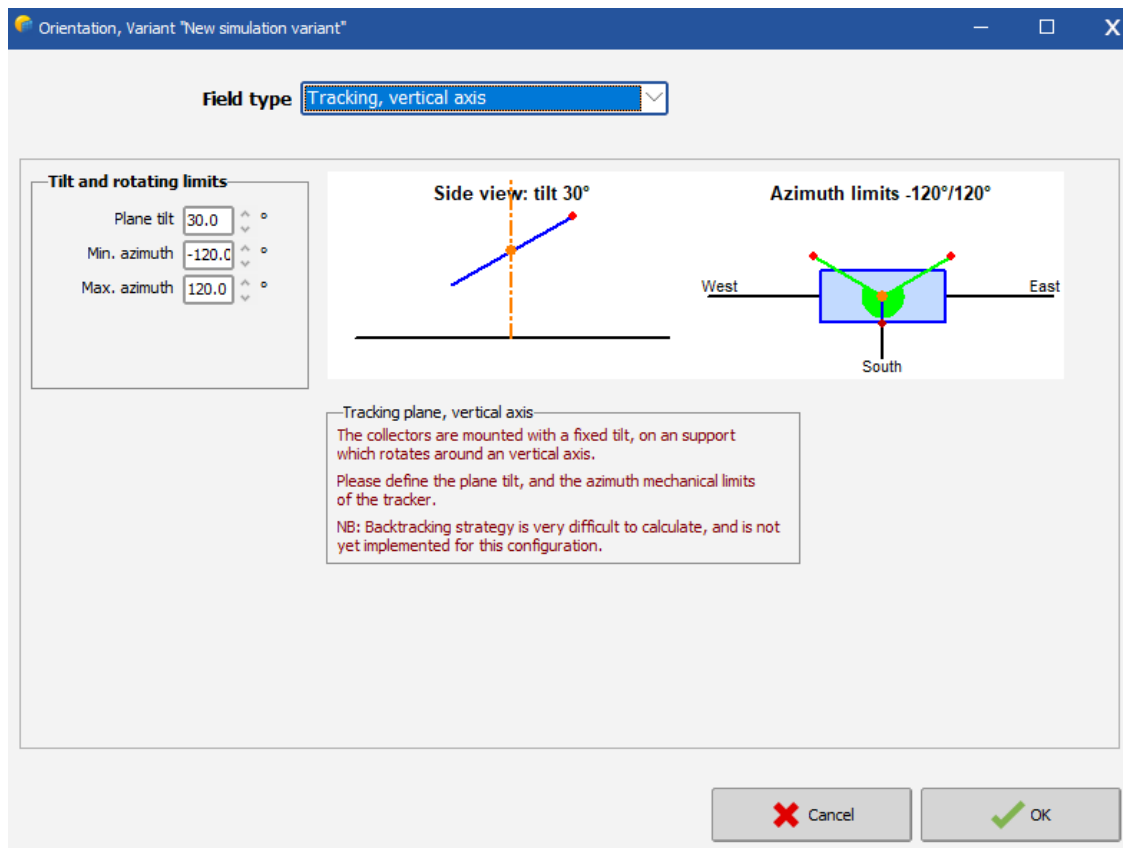


Διάγραμμα 5.11 Εγγεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης



Διάγραμμα 5.12 Εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγγεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης

5.2.5 Σενάριο 5: Ιχνηλάτες με κάθετο άξονα κίνησης

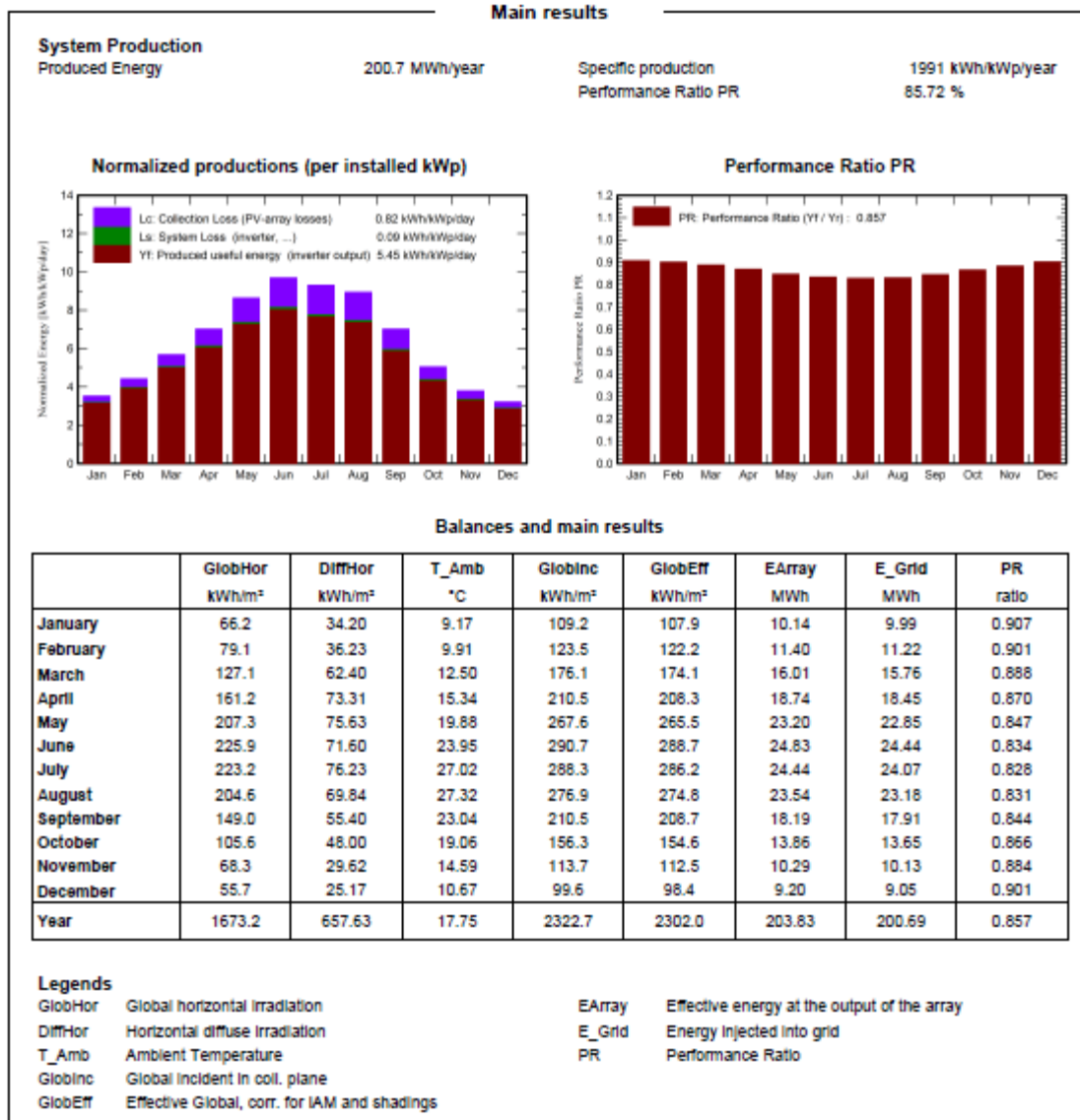


Εικόνα 5.14 Ορισμός της γωνίας κλίσης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα

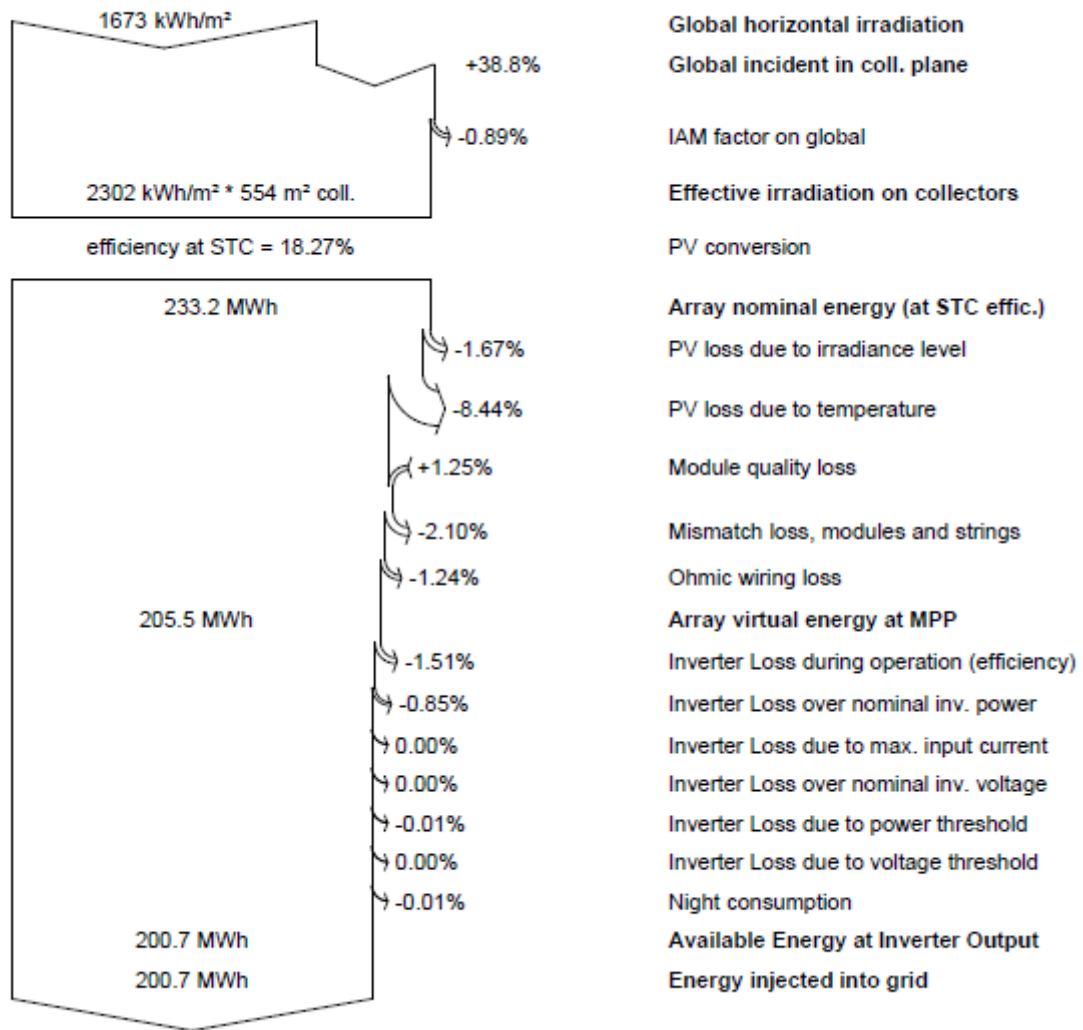
Πίνακας 5-9 Τα δεδομένα της μελέτης για κινητές βάσεις κάθετου άξονα

General parameters		
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Trackers configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Tracking plane, vertical axis		Diffuse Perez, Meteonorm
Plane tilt 30 °		Circumsolar separate
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

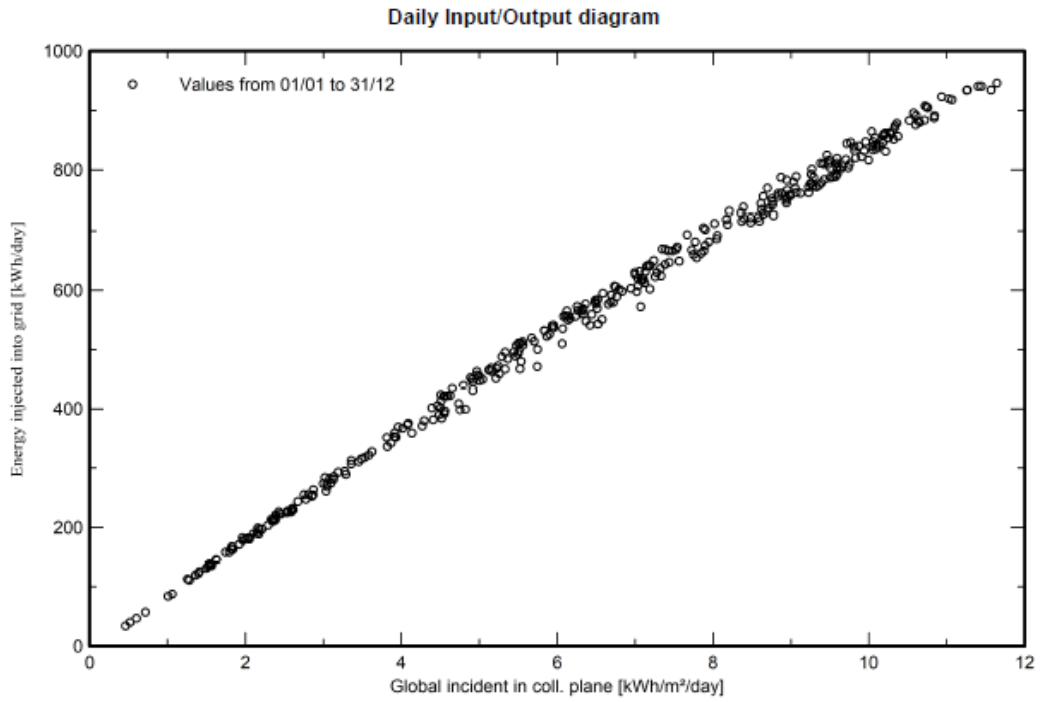
Πίνακας 5-10 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως για κινητές βάσεις κάθετου άξονα



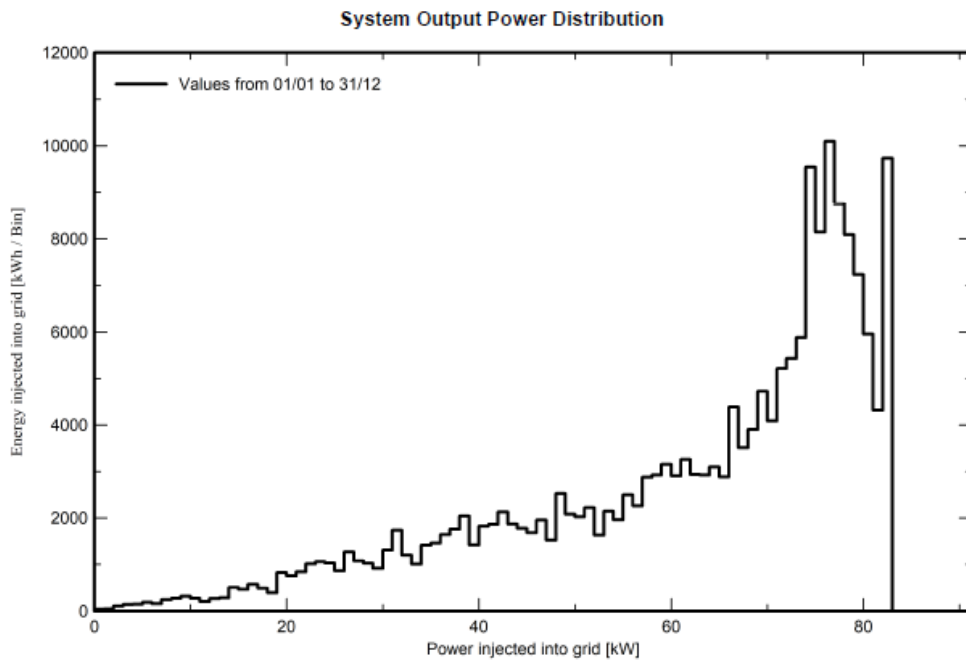
Loss diagram



Διάγραμμα 5.13 Εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγγεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα



Διάγραμμα 5.14 Εγγεόμενη ενέργεια σε συνάρτηση με την άμεση ακτινοβολία το πάνελ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα



Διάγραμμα 5.15 Εγγεόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε συνάρτηση με την εγγεόμενη ισχύ για κινητές βάσεις κάθετου άξονα

5.3 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα πέντε διαφορετικά σενάρια. Όπως είναι αναμενόμενο, η διάταξη με τους ιχνηλάτες και συγκεκριμένα με οριζόντιο άξονα σε προσανατολισμό βορρά νότου δίνει τη μέγιστη παραγόμενη ενέργεια. Οι βαθμοί απόδοσης δείχνουν τις απώλειες που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια

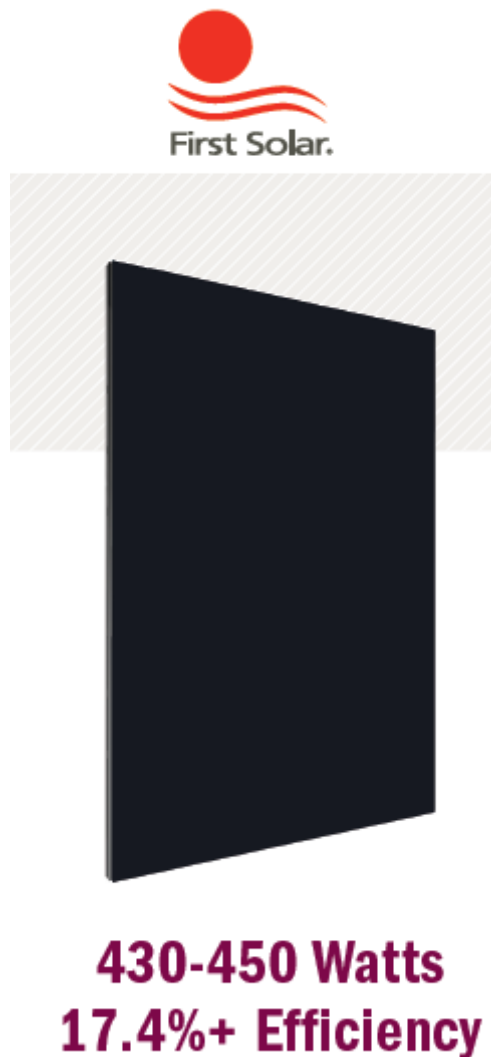
ΣΥΣΤΗΜΑ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΛΟΣΗΣ	MWhr/year
Σταθερές βάσεις	85.33	162.8
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	85.27	168.7
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	81.29	174.6
Κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης	85.06	219.5
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	85.72	200.7

5.4 Ηλεκτρολογικός έλεγχος της εγκατάστασης

Από το πρόγραμμα ορίστηκε αυτόματα ο μετατροπέας μετά την επιλογή των πάνελ. Ακολουθεί ένας ηλεκτρολογικός έλεγχος προκειμένου να επιβεβαιωθεί η ορθότητα και η εγκυρότητα της επιλογής.[5]

5.4.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Θα χρησιμοποιηθούν πάνελ ισχύος 450Wp της εταιρείας First Solar



Εικόνα 5.15 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (https://www.firstsolar.com/en-Emea/-/media/First-Solar/Landing-Pages/EU-Roadshows/FS_Series6Datasheet.ashx?la=en-EMEA)

Πίνακας 5-11 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πάνελ (https://www.firstsolar.com/en-Emea/-/media/First-Solar/Landing-Pages/EU-Roadshows/FS_Series6Datasheet.ashx?la=en-EMEA)

MODEL TYPES AND RATINGS AT STANDARD TEST CONDITIONS (1000W/m ² , AM 1.5, 25°C) ²						
NOMINAL VALUES		FS-6430 FS-6430A	FS-6435 FS-6435A	FS-6440 FS-6440A	FS-6445 FS-6445A	FS-6450 FS-6450A
Nominal Power ³ (-0/+5%)	P _{MAX} (W)	430.0	435.0	440.0	445.0	450.0
Efficiency (%)	%	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2
Voltage at P _{MAX}	V _{MAX} (V)	182.6	183.6	184.7	185.7	186.8
Current at P _{MAX}	I _{MAX} (A)	2.36	2.37	2.38	2.40	2.41
Open Circuit Voltage	V _{OC} (V)	219.2	219.6	220.0	220.4	221.1
Short Circuit Current	I _{SC} (A)	2.54	2.55	2.55	2.56	2.57
Maximum System Voltage	V _{SYS} (V)	1500 ⁵				
Limiting Reverse Current	I _R (A)	5.0				
Maximum Series Fuse	I _{CF} (A)	5.0				

5.4.2 Αντιστροφέας (INVERTER)

Θα χρησιμοποιηθεί ένας κεντρικός αντιστροφέας της εταιρείας SMA και συγκεκριμένα το μοντέλο Sunny Tripower CORE2, ισχύος 110kW

Πίνακας 5-12 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα (<https://natec.com/wp-content/uploads/2020/10/SMA-Core2-STP110-60-DS-en-10.pdf>)

Technical data	Sunny Tripower CORE2
Input (DC)	
Max. PV array power	165000 Wp STC
Max. input voltage	1100 V
MPP voltage range	500 V to 800 V
Rated input voltage	585 V
Min. input voltage / Start input voltage	200 V / 250 V
Max. input current per MPP tracker / Max. short-circuit current per MPP tracker	26 A / 40 A
Number of independent MPP trackers / Strings per MPP tracker	12 / 2
Output (AC)	
Rated power at nominal voltage	110000 W
Max. apparent AC power	110000 VA
Nominal AC voltage	400 V
AC voltage range	320 V to 460 V
AC grid frequency / range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz 60 Hz / 55 Hz to 65 Hz
Rated grid frequency	50 Hz
Max. output current	159 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited
Harmonic (THD)	< 3%
Feed-in phases / AC connection	3 / 3-PE
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	98.6% / 98.4%



Εικόνα 5.16 Ο αντιστροφέας Sunny Tripower CORE2 (<https://natec.com/wp-content/uploads/2020/10/SMA-Core2-STP110-60-DS-en-10.pdf>)

5.4.3 Ηλεκτρολογικός έλεγχος

Χρησιμοποιούνται 224 πάνελ. Κάθε σειρά (string) περιλαμβάνει 4 πάνελ άρα

Πρέπει $V_{DC,m} = V_{mp} \times N_{\text{πάνελ}} = 186.8V \times 4\text{πάνελ} = 747.2V$ olt,

Τα όρια του inverter είναι $500V < V_{mpp} < 800V$, άρα η τάση του string είναι εντός ορίων

$V_{DC,oc} = V_{oc} \times N_{\text{πάνελ}} = 221.1V \times 4\text{πάνελ} = 884.4 < V_{DC,max} = 1100V$ άρα το string δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τάση του inverter

Θα σχηματιστούν $224/4 = 56$ στοιχειοσειρές (strings) και θα κατανεμηθούν σε 9 εισόδους, δηλαδή $56/9 = 6.22$

Άρα σε 9 ομάδες των 6 στοιχειοσειρών και σε μία ομάδα των 2 στοιχειοσειρών, έτσι ώστε $9 \times 6 + 2 = 56$ στοιχειοσειρές

$I_{ολ} = 6 \times 2.57A = 15.42A < 26A$ άρα το string δεν υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα του inverter

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

6.1 Ετήσια έσοδα από τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας στο Ελληνικό Δίκτυο

Με τιμή πώλησης 0.065/kWhr τα ετήσια έσοδα από κάθε ένα από τα πέντε διαφορετικά συστήματα φαίνεται παρακάτω

Πίνακας 6-1 Ετήσια έσοδα των εγκαταστάσεων

ΣΥΣΤΗΜΑ	Kwhr/year	ΕΣΟΔΑ/year
Σταθερές βάσεις	162.8×10^3	$162.8 \times 10^3 \times 0.065 = 10582\text{€}$
Σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης	168.7×10^3	$168.7 \times 10^3 \times 0.065 = 10966\text{€}$
Κινητές βάσεις με οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση βορρά – νότου	174.6×10^3	$174.6 \times 10^3 \times 0.065 = 11349\text{€}$
Κινητές βάσεις στους δύο άξονες κίνησης	219.5×10^3	$219.5 \times 10^3 \times 0.065 = 14268\text{€}$
Κινητές βάσεις με κατακόρυφο άξονα	200.7×10^3	$200.7 \times 10^3 \times 0.065 = 13046\text{€}$

6.2 Κόστος αρχικής εγκατάστασης και ετήσιας συντήρησης

Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης και για σταθερά πάνελ και για ιχνηλάτες με κίνηση και στους δύο άξονες προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα. Προκύπτουν δύο διαφορετικά κόστη με αρκετή διαφορά μεταξύ τους. Διαφορές προκύπτουν και στα κόστη ετήσιας συντήρησης.

Πίνακας 6-2 Κόστος αρχικής εγκατάστασης

ΦΒ πλαίσια	$224 \times 250 = 56000\text{€}$
Αντιστροφείς	$1 \times 7500 = 7500\text{€}$
Βάσεις στήριξης	12000€
Βάσεις στήριξης με ιχνηλάτες (10 τεμάχια)	$10 \times 4500 = 45000\text{€}$
Διαμόρφωση οικοπέδου	1000€
Περίφραξη οικοπέδου	3000€
Κατασκευή γείωσης	2500€
Αντικεραυνική προστασία	5000€
Σύστημα παρακολούθησης	5000€
Συνολικό κόστος σταθερών βάσεων	92000€
Συνολικό κόστος με ιχνηλάτες	125000€

Πίνακας 6-3 Κόστος ετήσιας συντήρησης

Ασφάλιση εξοπλισμού	300€ με σταθερές βάσεις 400€ με ιχνηλάτες
Ετήσια συντήρηση εξοπλισμού	100€ με σταθερές βάσεις 200€ με ιχνηλάτες
Ασφαλιστικές εισφορές	3000€
Έξοδα ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών	1000€
Συνολικό κόστος σταθερών βάσεων	4400€
Συνολικό κόστος με ιχνηλάτες	4600€

6.2.1 Ετήσια έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Θα γίνει εκτίμηση των εσόδων σε ορίζοντα 25 ετών για το πιο αποδοτικό σύστημα, δηλαδή τους ιχνηλάτες με οριζόντιο άξονα με προσανατολισμό βορρά – νότου αλλά και για την εγκατάσταση με τις σταθερές βάσεις με αλλαγή κλίσης χειμώνα – καλοκαίρι ούτως ώστε να εκτιμηθεί ποιο σύστημα συμφέρει από άποψη απόσβεσης.

Κάθε χρόνο η απόδοση των πάνελ μειώνεται κατά 0.5%, οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας , ο οποίος έχει συμπληρωθεί για 25 έτη, όσος και ο χρόνος ζωής των εγκαταστάσεων αυτού του τύπου. Λήφθηκαν υπόψη τα έξοδα ετήσιας συντήρησης με και χωρίς τις ασφαλιστικές εισφορές

Πίνακας 6-4 Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για σταθερές βάσεις

Έτος	Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια (KWhr)	Έσοδα (€)	Έσοδα –(έξοδα συντήρησης + ασφαλιστικές εισφορές) (€)	Έσοδα –έξοδα συντήρησης (€)
1	168.7×10^3	$168.7 \times 10^3 \times 0.065 = 10966$	10966- 4400=6566	10966- 1400=9566
2	167.85×10^3	$167.85 \times 10^3 \times 0.065 = 10910\text{€}$	10910- 4400=6510	10910- 1400=9510
3	167×10^3	$167 \times 10^3 \times 0.065 = 10855\text{€}$	10855- 4400=6455	10910- 1400=9455
4	166.18×10^3	$166.18 \times 10^3 \times 0.065 = 10802\text{€}$	10802- 4400=6402	10910- 1400=9402
5	165.35×10^3	$165.35 \times 10^3 \times 0.065 = 10748\text{€}$	10748- 4400=6348	10748- 1400=9348
6	164.5×10^3	$164.5 \times 10^3 \times 0.065 = 10693\text{€}$	10693- 4400=6293	10693- 1400=9293
7	163.7×10^3	$163.7 \times 10^3 \times 0.065 = 10641\text{€}$	10641- 4400=6241	10641- 1400=9241
8	162.9×10^3	$162.9 \times 10^3 \times 0.065 =$	10589-	10589-

		10589€	4400=6189	1400=9189
9	162×10^3	$162 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10530€	10530- 4400=6130	10530- 1400=9130
10	161.3×10^3	$161.3 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10484€	10484- 4400=6084	10484- 1400=9084
11	160.5×10^3	$160.5 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10433€	10433- 4400=6033	10433- 1400=9033
12	159.65×10^3	$159.65 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10377€	10377- 4400=5977	10377- 1400=9977
13	158.85×10^3	$158.85 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10325€	10325- 4400=5925	10325- 1400=8925
14	158×10^3	$158 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10270€	10270- 4400=5870	10270- 1400=8870
15	157.3×10^3	$157.3 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10225€	10225- 4400=5825	10225- 1400=8825
16	156.5×10^3	$156.5 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10173€	10173- 4400=5773	10173- 1400=8773
17	155.7×10^3	$155.7 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10121€	10121- 4400=5721	10121- 1400=8721
18	154.9×10^3	$154.9 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10069€	10069- 4400=5669	10069- 1400=8669
19	154.1×10^3	$154.1 \times 10^3 \times 0.065 =$ 10017€	10017- 4400=5617	10017- 1400=8617
20	153.37×10^3	$153.37 \times 10^3 \times 0.065 =$ 9969	9969-4400=5569	9969-1400=8569
21	152.6×10^3	$152.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 9919	9919-4400=5519	9919-1400=8519
22	151.8×10^3	$151.8 \times 10^3 \times 0.065 =$ 9867€	9867 -4400=5467	9867 - 1400=8467
23	151×10^3	$151 \times 10^3 \times 0.065 =$ 9815€	9815-4400=5415	9815-1400=8415
24	150.3×10^3	$150.3 \times 10^3 \times 0.065 =$ 9770€	9770-4400=5370	9770-1400=8370

25	149.6×10^3	$149.6 \times 10^3 \times 0.065 = 9724\text{€}$	$9724 - 4400 = 5324$	$9724 - 1400 = 8324$
ΣΥΝΟΛΟ		258292	148292	223292

Η αρχική επένδυση ήταν 92000€ οπότε ακόμα και αν λάβουμε υπόψη στους υπολογισμούς τις ασφαλιστικές εισφορές διαπιστώνεται ότι η επένδυση αποσβένει και αφήνει τελικά κέρδος $148292 - 92000 = 56292\text{€}$ και η απόσβεση θα γίνει τον 17^ο έτος λειτουργίας

Πίνακας 6-5 Έσοδα από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για ιχνηλάτες με κίνησης στους δύο άξονες

Έτος	Παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια (KWhr)	Έσοδα (€)	Έσοδα –(έξοδα συντήρησης + ασφαλιστικές εισφορές) (€)	Έσοδα –έξοδα συντήρησης (€)
1	219.5×10^3	$219.5 \times 10^3 \times 0.065 = 14268$	$14268\text{€} - 4600 = 9668$	$14268 - 1600 = 12668$
2	218.4×10^3	$218.4 \times 10^3 \times 0.065 = 14196$	$14196 - 4600 = 9596$	$14196 - 1600 = 12596$
3	217.3×10^3	$217.3 \times 10^3 \times 0.065 = 14124$	$14124 - 4600 = 9524$	$14124 - 1600 = 12524$
4	216.2×10^3	$216.2 \times 10^3 \times 0.065 = 14053$	$14053 - 4600 = 9453$	$14053 - 1600 = 12453$
5	215.1×10^3	$215.1 \times 10^3 \times 0.065 = 13982$	$13982 - 4600 = 9382$	$13982 - 1600 = 12382$
6	214×10^3	$214 \times 10^3 \times 0.065 = 13910$	$13910 - 4600 = 9310$	$13910 - 1600 = 12310$
7	212.9×10^3	$212.9 \times 10^3 \times 0.065 = 13839$	$13839 - 4600 = 9239$	$13839 - 1600 = 12239$
8	211.8×10^3	$211.8 \times 10^3 \times 0.065 = 13767$	$13767 - 4600 = 9167$	$13767 - 1600 = 12167$
9	210.7×10^3	$210.7 \times 10^3 \times 0.065 =$	$13696 -$	$13696 -$

		13696	4600=9096	1600=12096
10	209.65×10^3	$209.65 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13627	13627- 4600=9027	13627- 1600=12027
11	208.6×10^3	$208.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13559	3559€- 4600=8959	13559- 1600=11959
12	207.6×10^3	$207.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13494	13494- 4600=8894	13494- 1600=11894
13	206.6×10^3	$206.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13429	13429- 4600=8829	13429- 1600=11829
14	205.6×10^3	$205.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13364	13364- 4600=8764	13364- 1600=11764
15	204.6×10^3	$204.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13299	13299- 4600=8699	13299- 1600=11699
16	203.6×10^3	$203.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13234	13234- 4600=8634	13234- 1600=11634
17	202.6×10^3	$202.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13169	13169- 4600=8569	13169- 1600=11569
18	201.6×10^3	$201.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13104	13104- 4600=8504	13104- 1600=11504
19	200.6×10^3	$200.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 13039	13039- 4600=8439	13039- 1600=11439
20	199.6×10^3	$199.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 12974	12974- 4600=8374	12974- 1600=11374
21	198.6×10^3	$198.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 12909	12909- 4600=8309	12909- 1600=11309
22	197.6×10^3	$197.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 12844	12844- 4600=8244	12844- 1600=11244
23	196.6×10^3	$196.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 12779	12779- 4600=8179	12779- 1600=11179
24	195.6×10^3	$195.5 \times 10^3 \times 0.065 =$ 12714	12714- 4600=8114	12714- 1600=11114
25	194.6×10^3	$194.6 \times 10^3 \times 0.065 =$ 12649	12649- 4600=8049	12649- 1600=11049

ΣΥΝΟ ΛΟ		336022	221022	296022
------------	--	--------	--------	--------

Η αρχική επένδυση ήταν 125000€ οπότε ακόμα και αν λάβουμε υπόψη στους υπολογισμούς τις ασφαλιστικές εισφορές διαπιστώνεται ότι η επένδυση αποσβένει και αφήνει τελικά κέρδος $221022 - 125000 = 96022\text{€}$ και η απόσβεση θα γίνει τον 14^ο έτος λειτουργίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <https://www.enelgreenpower.com/learning-hub/renewable-energies/solar-energy>
- [2] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/767/1/012052/pdf>
- [3] https://www.researchgate.net/publication/329624186_A_STUDY_ON_THE_INFLUENCE_OF_LOCALITY_IN_THE_VIABILITY_OF_SOLAR_TRACKER_SYSTEMS)
- [4] <https://solarsme.com/top-solar-energy-system-losses/>
- [5] ΠΗΕ, σημειώσεις μαθήματος , ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ