



ΤΕΙ Κρήτης
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Πτυχιακή εργασία:

**Μελέτη αποδοτικότητας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης
80 KW με στήριξη 2 αξόνων στην Ιεράπετρα.**



Σπουδαστής: Νίκος Μαυρακάκης

Επιβλέπων Καθηγητής: Φώτης Μαυροματάκης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ

2018

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της αποδοτικότητας ενός διασυνδεδεμένου με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. φωτοβολταϊκού σταθμού με εγκατεστημένη ισχύ 80 kW. Ο συγκεκριμένος ΦΒ σταθμός βρίσκεται στην Ιεράπετρα του Νομού Λασιθίου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που την χαρακτηρίζουν και πληροφορίες σε σχέση με τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό (ΦΒ πλαίσια, αντιστροφείς, βάσεις στήριξης).

Στο δεύτερο κεφάλαιο βρίσκεται η περιγραφή των χαρακτηριστικών μεγεθών των πλαισίων και των αντιστροφένων, πληροφορίες σχετικά με τα μεγέθη που υπολογίστηκαν που αφορούν τα τελικά αποτελέσματα για την μελέτη της αποδοτικότητας της εγκατάστασης, καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό αυτών των μεγεθών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στοιχεία της εγκατάστασης (θέση έργου, εγκατεστημένη ισχύς, ΦΒ πλαίσια, αριθμός πλαισίων, διαστάσεις πλαισίων, σύστημα στήριξης, αριθμός Τράκερ, αντιστροφείς, αριθμός αντιστροφένων), τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων και των αντιστροφένων της εγκατάστασης και πληροφορίες για το σύστημα στήριξης της εγκατάστασης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο βρίσκεται η ανάλυση στην οποία περιέχονται πίνακες και διαγράμματα με τα αποτελέσματα του μεγαλύτερου και του μικρότερου σε παραγωγή μήνα του έτους που ήταν ο Ιούλιος και τα συνολικά ετήσια αποτελέσματα.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα αποτελέσματα από το λογισμικό pvgis για την συγκεκριμένη εγκατάσταση σε σύγκριση με τις πραγματικές τιμές της εγκατάστασης και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την εργασία.

Summary

The purpose of this work is to study the efficiency of an electrical interconnected with the central electricity grid of the PPC photovoltaic power station with an installed power of 80KW. This PV station is located in Ierapetra, Prefecture of Lassithi.

The first chapter introduces an introduction to photovoltaic technology, its advantages and disadvantages and information regarding the electromechanical equipment (PV frames, inverters, mounting system).

The second chapter describes the typical sizes of the frames and inverters, information on the calculated sizes for the final results for the study of the efficiency and the methodology followed for calculating these sizes.

In the third chapter are presented the PV station's details (project location, installed power, PV frames, frame's number, frame's dimensions, mounting system, number of Trackers, inverters, number of inverters), the technical characteristics of the frames and inverters and information on the PV station's mounting system.

In the fourth chapter is the analysis containing tables and diagrams with the results of the month with the largest and the smallest production (July), (January) and the total yearly results.

Finally, the fifth chapter presents the estimated results from the pvgis software for the specific PV station compared to the actual values of the station and the conclusions that resulted from the work.

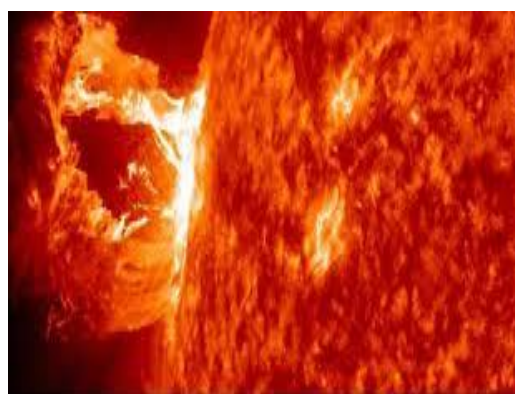
Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Ηλιακή Ακτινοβολία	5
Φωτοβολταϊκά Συστήματα	7
Τμήματα φωτοβολταϊκών διατάξεων	9
Τρόποι Στήριξης Ηλιακών Συλλεκτών.	14
Αντιστροφείς (Inverter).....	17
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΩΝ	21
Χαρακτηριστικά μεγέθη φωτοβολταϊκού στοιχείου ή πλαισίου :.....	21
Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα :	21
Μεθοδολογία υπολογισμών :	23
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	24
Στοιχεία εγκατάστασης 79,98KW :.....	24
Τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων της εγκατάστασης :	24
Τεχνικά χαρακτηριστικά των inverter της εγκατάστασης :.....	25
Το σύστημα στήριξης της εγκατάστασης:.....	26
ΑΝΑΛΥΣΗ	27
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ :	37
Βιβλιογραφία – Ηλεκτρονικές πηγές	42

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ηλιακή Ακτινοβολία

Ο **Ήλιος** είναι ένα αστέρι, μάζας 2×10^{30} kg, ακτίνας 700.000 km, ηλικίας 5×10^9 χρόνων και υπολογίζεται ότι του απομένουν περίπου άλλα 5 δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι 5.800 βαθμοί Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), ενώ η εσωτερική περίπου 15.000.000 βαθμούς.



Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο, εκλύεται ενέργεια ίση με $1,67 \times 10^5$ kWh.

Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν, κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή.



Η **ημερήσια ενεργειακή απολαβή** από τον ήλιο δηλαδή η ενέργεια (kWh) ανά μονάδα επιφάνειας (m^2) που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα, εξαρτάται από την ηλιοφάνεια, την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας, κατά την ημέρα εκείνη.

Επίσης η **ηλιοφάνεια** είναι ένα χαρακτηριστικό στοιχείο της περιοχής και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τη θέση και την διαμόρφωση της περιοχής.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά πιθανόν να ευνοούν την ανάπτυξη σκιάσεων και νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών.

Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας, στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3108 ώρες ετησίως) στην οποία βρίσκεται και το πάρκο που αναλύσαμε.



Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ανάμεσα στις άλλες τεχνολογίες, οι οποίες εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια είναι και η φωτοβολταϊκή τεχνολογία, η οποία κερδίζει ευρεία αποδοχή ως ένας τρόπος διατήρησης και βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον.

Όλο και περισσότερες εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανταποκρίνονται στις επιθυμίες των καταναλωτών συμπεριλαμβάνοντας τα φωτοβολταϊκά συστήματα στον παραγωγικό μηχανισμό.

Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια.

Διακρίνονται σε **διασυνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο** και **αυτόνομα** και χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση καταναλώσεων.



Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα πλεονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα:

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή
- Μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων.
- Αθόρυβη λειτουργία
- Υψηλή αξιοπιστία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Ελάχιστες απαιτήσεις επίβλεψης και συντήρησης.
- Αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες (Ισχυρούς ανέμους, ακραία χαλαζόπτωση, κλπ).
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 25 χρόνια)
- Σχετικά απλή μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες.
- Εύκολη επέκταση της υπάρχουσας εγκατάστασης.
- Δυνατότητα ανεξαρτησίας από τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής για απομακρυσμένες περιοχές (αυτόνομα φ/β συστήματα).
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών, όσον αφορά την ισχύ. Από μερικά Watt μέχρι μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μερικών MW.

Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων

Από την άλλη τα κύρια μειονεκτήματα είναι:

- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, το οποίο οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο υψηλό κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων και πολύ λιγότερο στο κόστος της υπόλοιπης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός).
- Σε εφαρμογές που απαιτείται η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα), αυτή γίνεται με μη αποδοτικό τρόπο, με περιορισμένες δυνατότητες, ενώ και το κόστος των συσσωρευτών είναι υψηλό.
- Λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών.
- Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, οι οποίες αποτελούν έναν απρόβλεπτο παράγοντα, επιτρέποντας μόνο εκτιμήσεις σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα (συνήθως ετήσια).

Τμήματα φωτοβολταϊκών διατάξεων

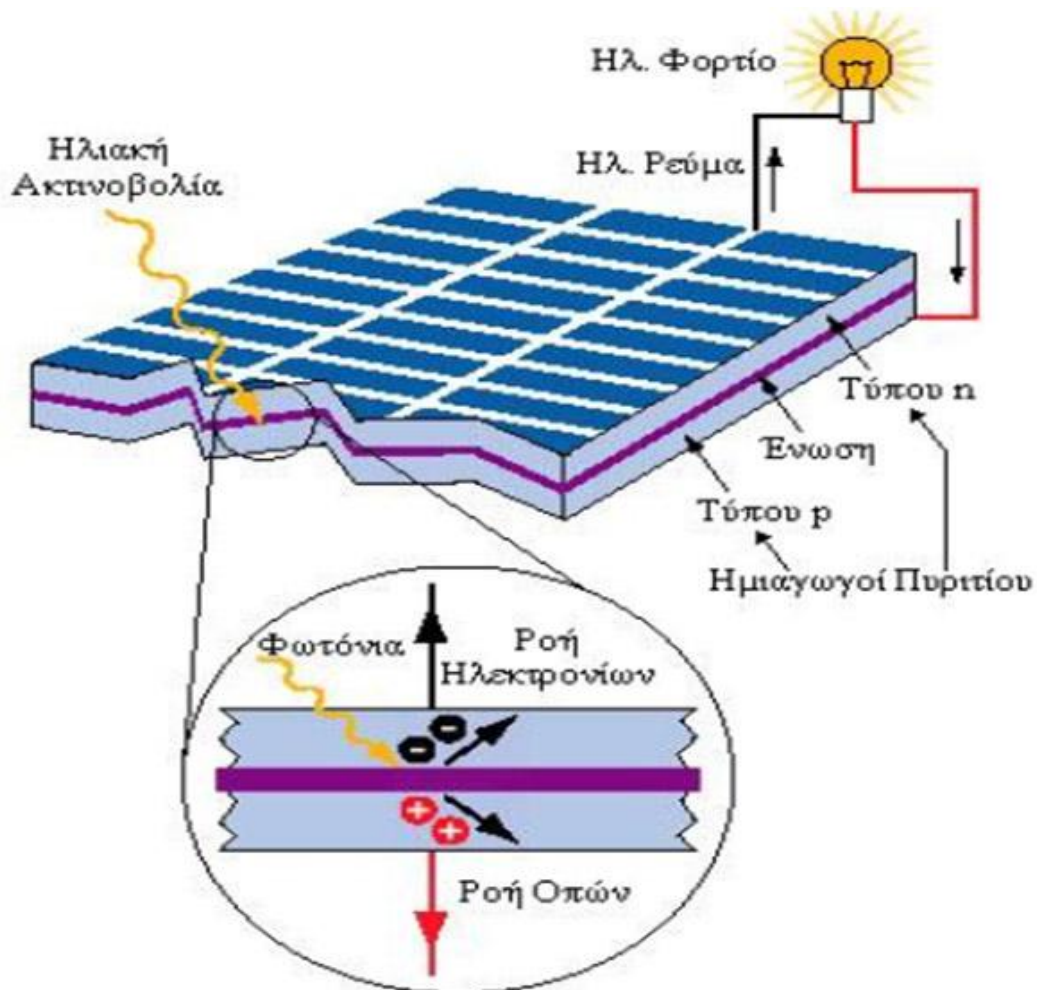
Φωτοβολταϊκά Πλαίσια (Συλλέκτες)

* **Φωτοβολταϊκά Πλαίσια** χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Συγκροτούνται από πολλά ΦΒ στοιχεία σε επίπεδη διάταξη (ηλεκτρονικά συνδεδεμένα) που έχουν ως βάση λειτουργίας το ΦΒ φαινόμενο, το οποίο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

* **Φωτοβολταϊκό στοιχείο** είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη. Η απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και η απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας υπό κατάλληλη γωνία, δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο από τους αντιστροφείς (inverters).



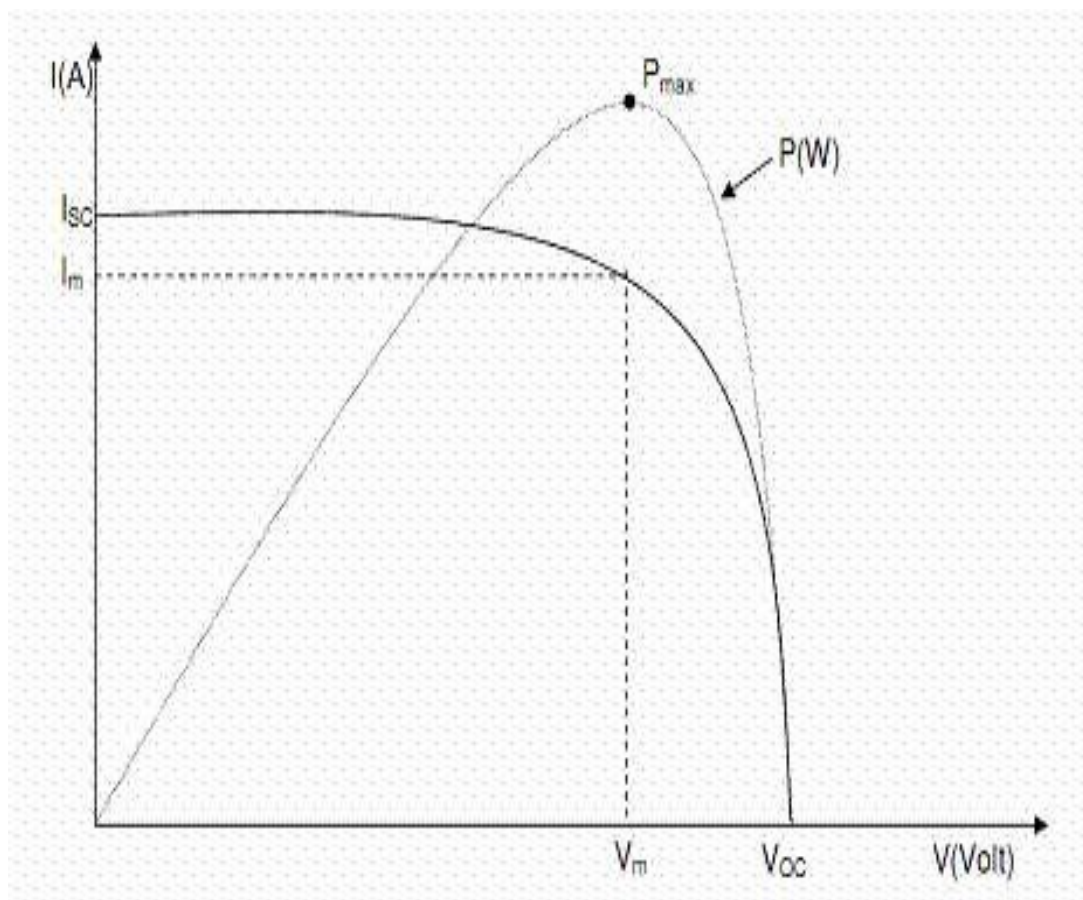
Επίσης το ΦΒ στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν σταθερή περίπου τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των ΦΒ στοιχείων μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, ακόμα και εάν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Η μεταβολή της τάσης V σε συνάρτηση με την ένταση I ενός ΦΒ στοιχείου ορίζει την καμπύλη I - V . Σε κατάσταση βραχυκύκλωσης του ΦΒ στοιχείου, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστή της τιμή I_{sc} , ενώ η τάση μηδενίζεται. Σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται, αλλά η τάση παίρνει τη μέγιστή της τιμή V_{oc} .

Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτού κυκλώματος κατάσταση, η ισχύς P του ΦΒ στοιχείου μηδενίζεται. Στο υπόλοιπο τμήμα της καμπύλης I - V , η ισχύς είναι μεγαλύτερη του μηδενός (αφού $I > 0$ και $V > 0$), επομένως υπάρχει ένα σημείο στη λειτουργία ενός ΦΒ στοιχείου στο οποίο η αποδιδόμενη ισχύς P μεγιστοποιείται.

Η μέγιστη ισχύς συμβολίζεται με P_m και αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m .

Είναι πολύ σημαντικό η λειτουργία ενός ΦΒ συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point – MPP) P_m , έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοσή του.



Υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των ΦΒ κυψελίδων, είναι το Πυρίτιο (Si). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής διακρίνονται σε έξι κατηγορίες.

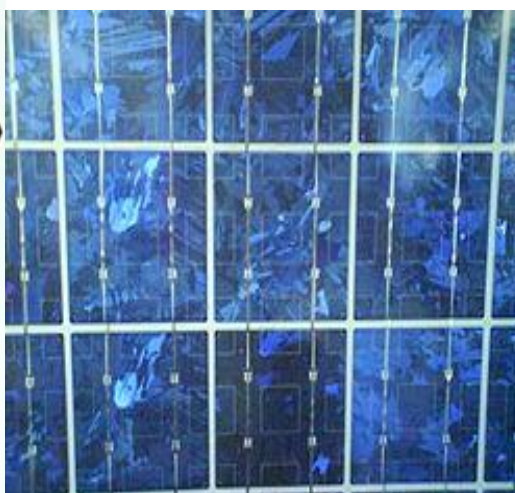
1) ΦΒ στοιχεία μόνο-κρυσταλλικού Πυριτίου

(Το βασικό υλικό είναι μόνο-κρυσταλλικό Πυρίτιο και το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο. Η απόδοσή τους, με τη μορφή των ΦΒ πλαισίων κυμαίνεται από 13% έως 18% ενώ χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε).



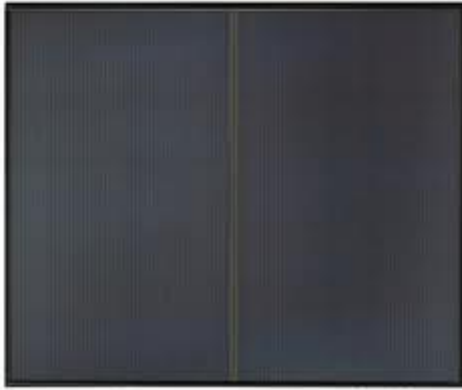
2) ΦΒ στοιχεία πολύ-κρυσταλλικού Πυριτίου

(Στην περίπτωση του πολύ-κρυσταλλικού πυριτίου υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Η απόδοσή του κυμαίνεται από 10% έως και 14%. Το πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα, το κόστος παρασκευής του είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μόνο-κρυσταλλικού πυριτίου, ενώ το χρώμα του είναι γαλάζιο).



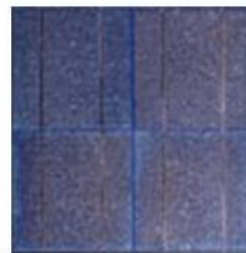
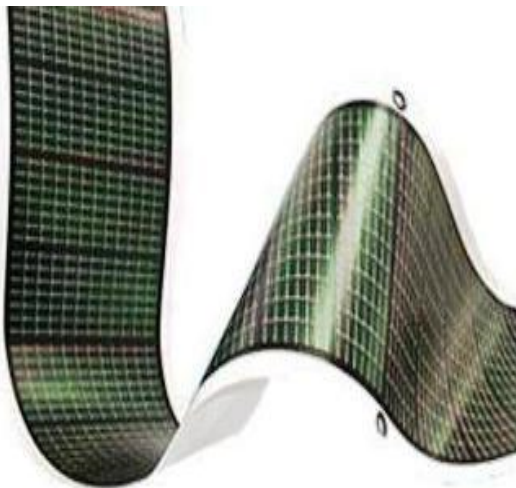
3) ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου

(Η τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films) είναι, θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Η απόδοση αυτών των ΦΒ στοιχείων είναι 6% έως 8%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών ΦΒ στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες ΦΒ πλαισίων.)



4) ΦΒ στοιχεία ταινίας

(Στα στοιχεία αυτά δημιουργείται λεπτή ταινία από τηγμένο υλικό. Χρησιμοποιώντας Πολύ-κρυσταλλικό Πυρίτιο, η απόδοση είναι περίπου 13%. Η μέθοδος αυτή είναι υψηλού κόστους και προς το παρόν, περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής).



5) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων

(Τα ΦΒ στοιχεία περιέχουν άλλα ημιαγώγιμα υλικά, κυρίως σε συνδυασμό μεταξύ τους. Ο συνδυασμός επιλέγεται έτσι ώστε να προκύπτει διάταξη με καλύτερη αξιοποίηση του ηλιακού φάσματος. Τα ΦΒ στοιχεία αυτά, παρά τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματά τους σε σχέση με το πυρίτιο εμφανίζουν περιορισμένη χρήση λόγω των δυσκολιών που συνδέονται με την πολυπλοκότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται)



Φωτοβολταϊκά στοιχεία Τελουριούχου Κάδμιου (CdTe)

6) Οργανικά Φωτοβολταϊκά στοιχεία:

(Η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια πραγματοποιείται σε οργανικά συστήματα (π.χ. φωτοσύνθεση). Κύριο μειονέκτημα των ΦΒ στοιχείων αυτών η ευπάθειά τους στο φως και η ταχεία γήρανση τους. Το βασικό πλεονέκτημα των ΦΒ στοιχείων αυτής της τεχνολογίας το εξαιρετικά χαμηλό κόστος παρασκευής τους γεγονός που επιτρέπει να θεωρούμε δυνατή την αξιοποίησή τους ακόμα και με το μειονέκτημα του πολύ μικρότερου χρόνου ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ΦΒ στοιχεία).

Οργανικό φωτοβολταϊκό film 3^{ης} γενιάς



Τελειώνοντας με τα τμήματα των φωτοβολταϊκών διατάξεων,

Το ***φωτοβολταϊκό πάνελ** (PV panel) περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

Τα ΦΒ πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τους επιδιωκόμενους σκοπούς. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη σύνδεση το ολικό ρεύμα.

Και η ***Φωτοβολταϊκή συστοιχία** είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια με ηλεκτρική σύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή **κατασκευή στήριξης**.

Τρόποι Στήριξης Ηλιακών Συλλεκτών.

Διακρίνουμε 4 κυρίως διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών:

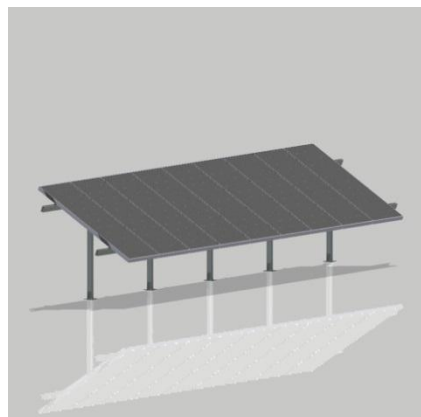
1) Σταθερής στήριξης

(Η απουσία κινητών μερών κατά τη στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι.

Κατά κανόνα επιλέγεται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για τη συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες στην περιοχή, μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των συνιστωσών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, σε διάφορες γωνίες κλίσης συλλέκτη. Συνήθως επειδή τέτοιες μετρήσεις δεν είναι διαθέσιμες, αρκούμαστε σε μετρήσεις σε οριζόντια τοποθετημένο αισθητήρα (πυρανόμετρο), για μια σειρά ετών, γι αυτή τη περιοχή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή τη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη πιθανή διαφοροποίηση της διάχυτης ανακλαστικότητας του εδάφους (albedo) του τόπου.

Με βάση τις μετρήσεις αυτές και με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, προσδιορίζεται η ολική ακτινοβολία σε συλλέκτη, για κάθε γωνία κλίσης του συλλέκτη απ' όπου προκύπτει, προσεγγιστικά, η βέλτιστη γωνία κλίσης του, για τη συγκεκριμένη περιοχή .

Τέλος, αν ο συλλέκτης πρέπει να εγκατασταθεί σε περιοχές με φυσικά εμπόδια, που τον σκιάζουν ορισμένη περίοδο της ημέρας, π.χ. δένδρα ή κτίρια, τότε ο συλλέκτης προσανατολίζεται έτσι ώστε να προκύπτει η βέλτιστη απόδοση).

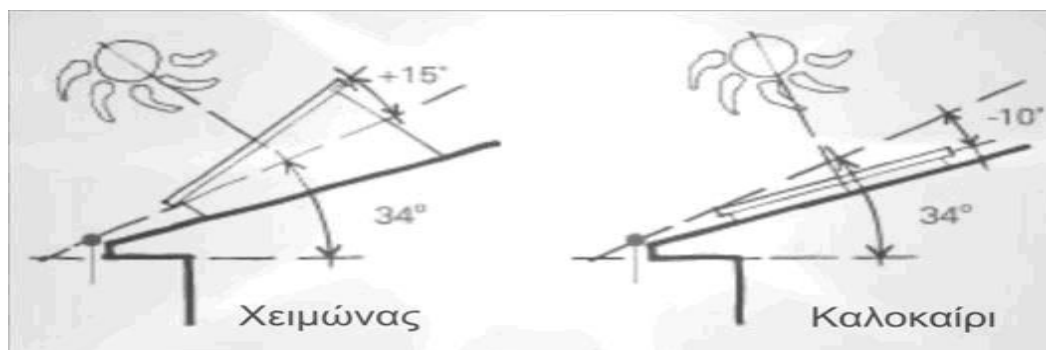


2) Εποχικά ρυθμιζόμενης στήριξης

(Οι τυπικές θέσεις του συλλέκτη είναι δύο:

Μια για το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου), με κλίση $\beta = \{\phi - (10^\circ \div 15^\circ)\}$ και μια για το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου), με κλίση $\beta = \{\phi + (10^\circ \div 15^\circ)\}$.

Όπως και στην περίπτωση συλλέκτη σταθερής κλίσης όλο το έτος, έτσι στην περίπτωση επιλογής χειμερινής και θερινής θέσης, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας για το συλλέκτη σε κάθε περίοδο, απαιτεί γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών (θερμοκρασίας-υγρασίας-ανέμου-ηλιοφάνειας) και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους, που καθορίζει την διάχυτη ανακλαστικότητα του (albedo)).



3) Συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου (Τράκερ ή Tracker) γύρω από ένα άξονα

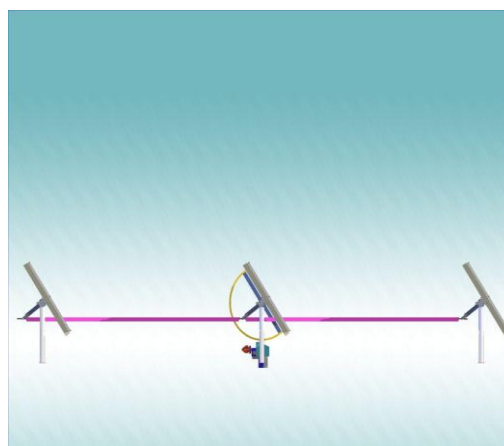
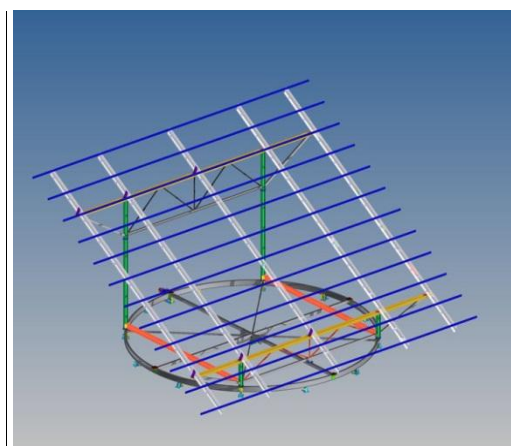
(Η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από ένα άξονα, στο τέλος δε της ημέρας, ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής, συνήθως στο νοτιά. Το πρωί με την ανατολή του ήλιου, στρέφεται, έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.

Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου γύρω από ένα άξονα :

Αξιμουθιακό τράκερ: Η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει την κάθετη στο συλλέκτη, του οποίου η γωνία κλίσης παραμένει σταθερή κατά την ημερήσια κίνηση του.

Τράκερ πολικού άξονα: Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω από άξονα $\chi\chi'$. Κατά τη διάρκεια του έτους, η γωνία μεταξύ των ακτίνων του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη, κυμαίνεται στο διάστημα $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$.

Ηλιοτρόπια οριζόντιου άξονα: Διακρίνονται σε αυτά με οριζόντιο άξονα κατά τη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης (E-W) και σε εκείνα με άξονα κατά τη διεύθυνση βορρά νότου (N-S). Στη δεύτερη περίπτωση, συνήθως δίδεται μια μικρή γωνία κλίσης στον άξονα $5^\circ - 10^\circ$, με το χαμηλότερο σημείο προς το νότο).



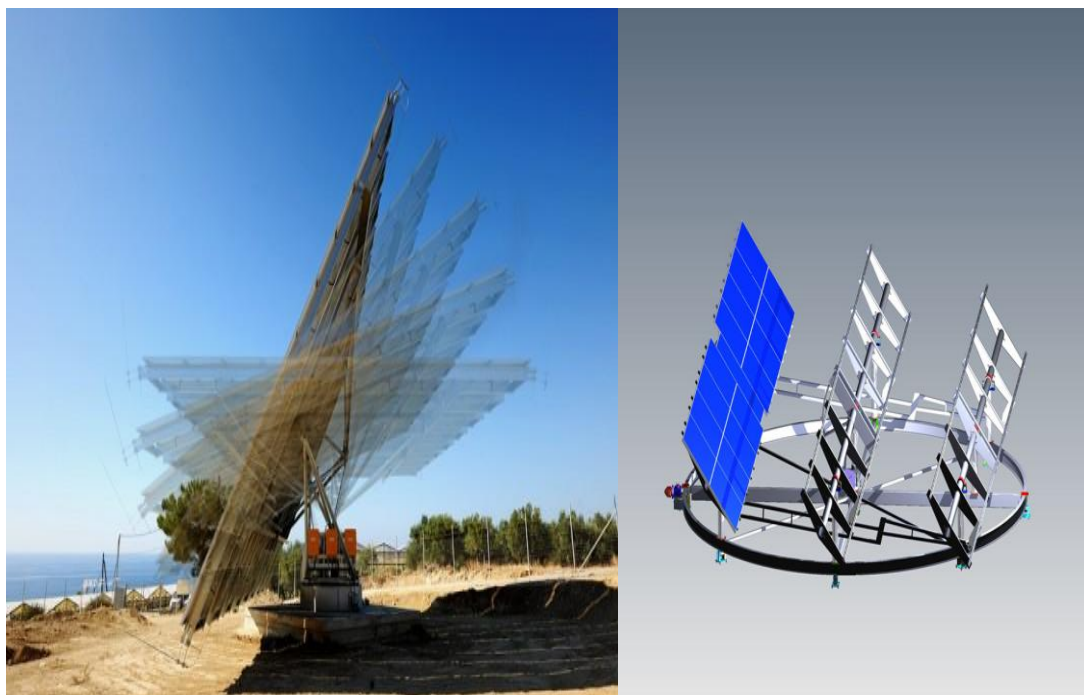
4)Συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου (Τράκερ ή Tracker) γύρω από δύο άξονες

Πρόκειται για τον τρόπο στήριξης της εγκατάστασης .

Η παρακολούθηση του ήλιου 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 στροφών για τον προσανατολισμό του επιπέδου κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Ο προσδιορισμός των κατάλληλων γωνιών στροφής γίνεται με ειδικές διατάξεις (κωδικοποιητών), η λειτουργία των οποίων βασίζεται, είτε σε οπτική διάταξη καταμέτρησης οπών, είτε σε ηλεκτρικό ροοστάτη περιστροφικής λειτουργίας. Όμοιο μηχανικό σύστημα, σε πολύ μικρότερες διαστάσεις, χρησιμοποιείται για τη στροφή του πυρηλιομέτρου, οπτικού οργάνου παρακολούθησης του ηλίου και καταγραφής της πυκνότητας ισχύος της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η διάταξη που περιγράψαμε, ονομάζεται τράκερ (tracker) δύο αξόνων και χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνειά του. Η διάταξη, με τη δύση του ήλιου επιστρέφει σε θέση αναφοράς που χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και μικρή γωνία κλίσης προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανό ισχυρό άνεμο μέχρι την ανατολή. Λίγο πριν την ανατολή του ήλιου, ο μηχανισμός στρέφει τον συλλέκτη έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες τότε 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 ακτίνων, χωρίς αυτό να είναι εξαιρετικά κρίσιμο. Μια γωνία 10° μεταξύ των ακτίνων 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 από τη συστοιχία, ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια.

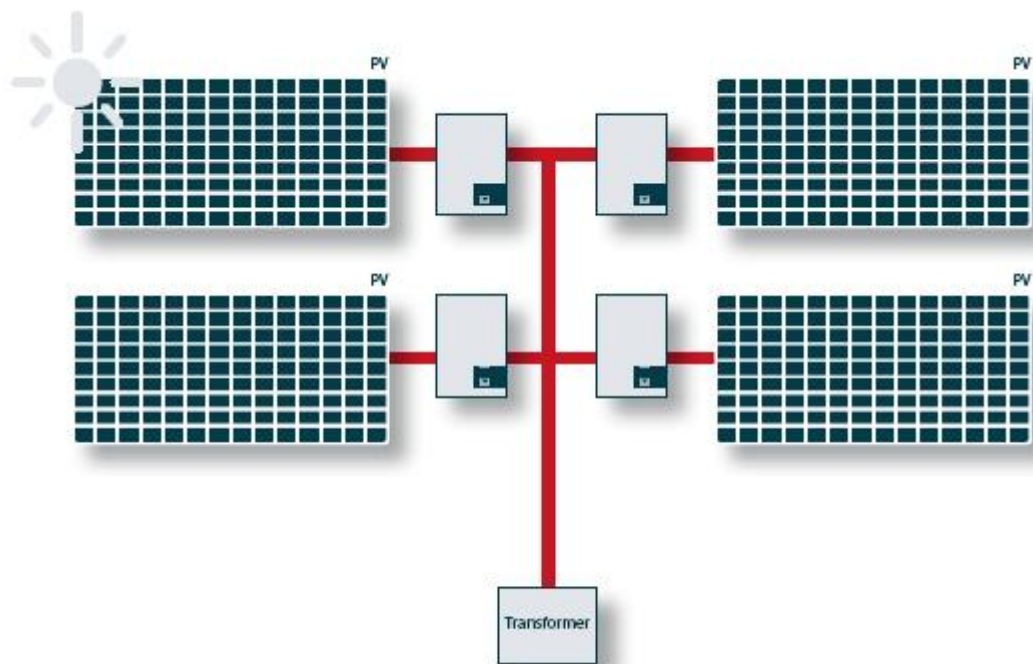
Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ήλιου, δύο αξόνων είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της καθώς και ο κίνδυνος καταστροφής λόγω ισχυρών ανέμων. Για το λόγω αυτό σε συστήματα με μηχανική κίνηση για τον προσανατολισμό των συλλεκτών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



Αντιστροφείς (Inverter).

Ο αντιστροφέας είναι το πιο σημαντικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μετά από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Σκοπός του είναι να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από την ηλιακή κυψέλη σε εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 50 Hz προσαρμοσμένο στο δίκτυο.

Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς που προορίζονται μόνο για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτοί που προορίζονται για παράλληλη λειτουργία πρέπει να ανταποκρίνονται τόσο στα χαρακτηριστικά του δικτύου όσο και στην απόδοση της ηλιακής γεννήτριας. Καθώς το ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά πάνελ ρέει μέσα από τον αντιστροφέα, τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν ουσιαστικά την συμπεριφορά και την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εκτός από την αποτελεσματική μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα περιλαμβάνουν επίσης στοιχεία υπεύθυνα για το τύπο της καθημερινής λειτουργίας. Αυτά εξασφαλίζουν ότι η λειτουργία ξεκινάει την κατάλληλη χρονική στιγμή της ημέρας μόλις οι ηλιακές κυψέλες δώσουν αρκετή ισχύ.

Αποτυχημένη προσπάθεια εκκίνησης απαιτεί ισχύ από το δίκτυο και θα πρέπει να αποφεύγεται.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας πάνω στην I-V χαρακτηριστική καμπύλη μετακινείται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των πάνελ.

Έξυπνος έλεγχος από τον αντιστροφέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μεγίστης ισχύος και συνεχή αναπροσαρμογή στο επιθυμητό σημείο λειτουργίας.

Επίσης στον αντιστροφέα είναι ενσωματωμένες συσκευές προστασίας και αυτομάτως αποσυνδέεται από το σύστημα εάν προκύψουν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Κριτήρια επιλογής αντιστροφέα :

-Αυτόματη έναρξη λειτουργίας το πρωί.

Μετά την ανατολή, ο αντιστροφέας πρέπει να αναγνωρίζει πότε η ισχύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι αρκετά υψηλή ώστε να εξασφαλίζει σύνδεση και ηλεκτρική παροχή στο δίκτυο.

- Υψηλή απόδοση υπό φορτίο μικρότερο του ονομαστικού.

Η ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς είναι πολύτιμη και δαπανηρή πρέπει να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα στον αντιστροφέα με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες.

Επειδή ο καιρός δεν είναι πάντοτε ηλιόλουστος, το σύστημα συχνά λειτουργεί με μερικό φορτίο έτσι η εσωτερική κατανάλωση του αντιστροφέα έχει σημαντική επίδραση στην καμπύλη απόδοσης.

Στους καλούς Αντιστροφείς η εσωτερική κατανάλωση είναι μικρότερη από το 1% της ισχύος.

- Λειτουργία ορισμένης υπερφόρτισης

Όταν η ισχύς ξεπεράσει το όριο της στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος, πρέπει να ληφθούν μέτρα που να εξασφαλίζουν ότι ο αντιστροφέας δεν θα απενεργοποιείται και θα παραμένει ανενεργός μέχρι το επόμενο πρωί.

Θα είναι προτιμότερο εάν ο αντιστροφέας μπορεί να διατηρεί τη λειτουργία του διαθέτοντας ένα όριο ισχύος.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μετακινώντας το σημείο λειτουργίας μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος προς τις υψηλότερες τιμές τάσης.

- Λειτουργία στο σημείο μέγιστης ισχύος από τη πλευρά της ηλιακής γεννήτριας.

Οι ηλιακές κυψέλες έχουν μια χαρακτηριστική καμπύλη με ένα προφανές μέγιστο.

Για τα κρυσταλλικά πάνελ το καλύτερο σημείο λειτουργίας είναι συνήθως σε μια τάση λειτουργίας, η οποία είναι περίπου 20% χαμηλότερη από τη τάση ανοιχτού κυκλώματος.

Καθώς η πυκνότητα της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή, η τάση της ηλιακής γεννήτριας που αντιστοιχεί στο μέγιστο σημείο ισχύος (VMPP) εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία της ηλιακής κυψέλης.

Η τάση VMPP πέφτει περίπου 0.4% για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας σε °K.

Καθώς η θερμική χρονική σταθερά για το ηλιακό πάνελ είναι εννιά με δέκα λεπτά, η προσαρμογή στο σημείο μέγιστης λειτουργίας δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνεται πολύ συχνά, περίπου κάθε τρία λεπτά.

- Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος των ηλεκτρονικών εσωτερικού ελέγχου από τη πλευρά της ηλιακής γεννήτριας.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αντιστροφέας δεν πρέπει να καταναλώνει οποιοδήποτε ποσό ισχύος από το δίκτυο.

Τα ηλεκτρονικά ισχύος ελέγχου δεν πρέπει να θέτονται σε λειτουργία έως ότου η τάση της ηλιακής γεννήτριας να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο το πρωί.

- Αντοχή του αντιστροφέα σε συνθήκες βραχυκύκλωσης και ανοιχτοκύκλωσης.

Ο αντιστροφέας δεν πρέπει να καταστρέφεται εάν το δίκτυο αποσυνδεθεί ενώ υφίσταται η τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

Το αίτημα αυτό είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί, επειδή όταν το δίκτυο ξαφνικά αποσυνδεθεί, η αποθηκευμένη ενέργεια στα πηνία και τις χωρητικότητες δεν μπορεί πλέον να διαχυθεί στο δίκτυο αλλά να διασκορπιστεί εσωτερικώς.

Αυτή η κατάσταση δύναται να συμβεί εάν ο διακόπτης κλείσει αμέσως στον αντιστροφέα κατά την διάρκεια λειτουργίας πλήρους φορτίου.

-Διηλεκτρική αντοχή

Τόσο η είσοδος όσο και η έξοδος του αντιστροφέα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικές στην υπέρταση.

-Ακουστικός θόρυβος

Ο ακουστικός θόρυβος πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

- Αυτόματη αποσύνδεση από το δίκτυο σε απόκλιση τάσης ή συχνότητας.

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα πρέπει να αναγνωρίζουν τα σφάλματα του δικτύου. Εάν υπάρχουν αποκλίσεις από τη συχνότητα ή την τάση του δικτύου, ή διακοπή της μιας φάσης, ο αντιστροφέας πρέπει να αποκόπτεται από το δίκτυο εντός ενός δεδομένου χρονικού πλαισίου.

Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του εναλλασσόμενου δικτύου.

- Συντελεστής ισχύος $\cos \varphi > 0.9$

Ο συντελεστής ισχύος του συστήματος του πελάτη πρέπει να είναι κοντά στη μονάδα.

Αυτό εμποδίζει να απορροφάται από το δίκτυο μεγάλη ποσότητα άεργου ισχύος.

Αντιστροφείς με αυτόματη διαμόρφωση πλάτους έχουν συντελεστή ισχύος, $\cos \varphi = 1$.

- Χαμηλό αρμονικό περιεχόμενο στην παροχή εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο.

Σε έναν ιδανικό αντιστροφέα, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο θα συνίσταται μόνο από τη θεμελιώδη συχνότητα των 50 Hz.

Στους πραγματικούς αντιστροφείς, η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια διαθέτει ένα δεδομένο περιεχόμενων αρμονικών, παρόλα αυτά, οι ηλεκτρονικές συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης πρέπει να συμμορφώνονται με τους γενικούς κανονισμούς για τις αρμονικές.

- Σήματα χρονισμού

Οι διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο Αντιστροφείς δεν πρέπει να ενοχλούνται από χαμηλής συχνότητας σήματα χρονισμού.

Τα σήματα συγχρονισμού επιβάλλονται από την τάση του δικτύου των 50Hz και δεν πρέπει να προκαλούν καμία σημαντική διακοπή του αντιστροφέα.

Αντιθέτως, οι Αντιστροφείς δεν πρέπει να μειώνουν τα σήματα συγχρονισμού πάρα πολύ έντονα, π.χ. με εσωτερικά φίλτρα.

- Επαρκής πληροφόρηση, απλός χειρισμός από το χρήστη

Ο χειριστής του διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να μπορεί να αποφαίνεται αν το σύστημα λειτουργεί σωστά με μια γρήγορη ματιά.

Η επίδειξη των ακολούθων τιμών είναι χρήσιμη για το σκοπό αυτό.

- τάση της ηλιακής γεννήτριας

- ένταση της ηλιακής γεννήτριας

- ένταση του δικτύου

- κατάσταση μόνωσης της ηλιακής γεννήτριας- πληροφορίες κατάστασης λειτουργίας

Κατηγορίες αντιστροφέων :

Οι Αντιστροφείς χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό φάσεων που εμπλέκουν αλλά και τον τύπο διαμόρφωσης της συνεχούς τάσης προς εναλλασσόμενη που δέχονται.

1) Τετραγωνικού παλμού

Είναι οι πιο απλοί αλλά η έξοδός τους έχει πολλές αρμονικές επιβλαβείς για τις συσκευές μας. Έτσι χρησιμοποιούνται σε πολύ απλές κατασκευές για μικρή ισχύ όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης κάποιο μικρό θερμικό φορτίο κλπ.

2) Μόνο-φασικούς

3) ή **τρι-φασικούς**, ανάλογα με τον αριθμό φάσεων.

Τετραγωνικού παλμού



Μονοφασικός



Τριφασικός



Τέλος, αντιστροφείς στις ΑΠΕ χρησιμοποιούνται σε: ΦΒ συστήματα, Κυψέλες Καυσίμου, μικρές Α/Γ, μεγάλες Α/Γ σε κατάλληλους μετατροπείς για τη ρύθμιση της ισχύος μέσω μετατροπέων δικτύου για φιλικότερη λειτουργία, διατάξεις μπαταριών για την παροχή της αποθηκευμένης ενέργειας προς το δίκτυο. Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή τους απόδοση (ακόμα και σε χαμηλή ισχύ εισόδου), το μεγάλο εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας (-25°C έως +60°C), και ο υψηλός βαθμός προστασίας τους από σκόνη και υγρασία.

Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (93%-97%) η οποία όμως εξαρτάται από την στιγμιαία ισχύ και υπάρχει η απαίτηση ο μετατροπέας να έχει μεγάλη απόδοση και για μικρή ισχύ, συγκεκριμένα 90% για 10% της ονομαστικής ισχύος.

Ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εξόδου (AC) προς την ισχύ εισόδου (DC) του αντιστροφέα. (Απόδοση = (Ρεξόδου / Ρ εισόδου) × 100%).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΓΕΘΩΝ

Χαρακτηριστικά μεγέθη φωτοβολταϊκού στοιχείου ή πλαισίου :

-Πρότυπες Συνθήκες (STC Standard Test Conditions):

(Η ακτινοβολία που προσπίπτει κάθετα στο συλλέκτη έχει πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας 1 kW/m^2 , φάσμα AM 1,5 και θερμοκρασία πλαισίου $25 \text{ }^\circ\text{C}$).

-Ισχύς αιχμής P_p :

(Είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC).

-Ονομαστική Θερμοκρασία Λειτουργίας ΦΒ κυψελίδας

(Σε κάθε πλαίσιο μπορεί να αναγράφεται επιπλέον και η θερμοκρασία την οποία αποκτά το πλαίσιο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος που προσεγγίζουν μια μέση πραγματική κατάσταση. Αντιπροσωπευτικές τιμές αυτής της θερμοκρασίας μπορεί να είναι 45°C - 50°C).

-Συνθήκες λειτουργίας της φβ κυψελίδας κάτω από τις οποίες η θερμοκρασία της ισούται με την ονομαστική τιμή της:

Το φβ πλαίσιο σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος.

-Πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας $G(\text{NOCT})=800 \text{ W/m}^2$.

-Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα $\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

-Μέση ταχύτητα ανέμου 1 m/sec .

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετατροπέα :

Πλευρά εισόδου του μετατροπέα.

(Πρόκειται για την πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται με την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, η οποία παρέχει ισχύ υπό συνεχή DC τάση και ρεύμα).

-Κατάσταση λειτουργίας

Ο μετατροπέας έχει ενσωματωμένες στην είσοδο του ηλεκτρονικές διατάξεις που επεξεργάζονται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φβ συστοιχίας ώστε για κάθε χρονική στιγμή να απορροφάμε τη μέγιστη ισχύ από τη συστοιχία.

Η παραγωγή και άρα απορρόφηση μέγιστης ισχύος αντιστοιχεί στο MPP σημείο λειτουργίας.

Με τη χρήση τέτοιων διατάξεων το σημείο λειτουργίας διατηρείται σταθερά στο MPP, για τις εκάστοτε συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Η κατάσταση λειτουργίας του μετατροπέα λαμβάνεται να αντιστοιχεί πάντα στο MPP.

-Ελάχιστη και μέγιστη MPP τάση

Οι δύο αυτές χαρακτηριστικές τιμές της τάσης ορίζουν ένα «παράθυρο τάσης», άνω και κάτω όριο τάσης, μέσα στο οποίο ο inverter δύναται να αναζητήσει το MPP.

Όταν καθορίζουμε την τάση MPP εξόδου της συστοιχίας αυτή θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στο «παράθυρο τάσης» του μετατροπέα.

-Κατώφλι ισχύος

Είναι η ελάχιστη ισχύς εισόδου που χρειάζεται ο inverter για να λειτουργήσει.

Μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ισχύς που καταναλώνει ο ίδιος ο inverter για τη λειτουργία του.

-Μέγιστη τάση

Είναι η απόλυτη μέγιστη DC τάση κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες που μπορεί να δεχθεί στην είσοδό του ο μετατροπέας.

Η μέγιστη τάση εξόδου της συστοιχίας δεν πρέπει να υπερβαίνει αυτή την τιμή.

Πρέπει λοιπόν να εξετάζουμε αν η Voc της συστοιχίας είναι μικρότερη από το συγκεκριμένο όριο τάσης.

Για να είμαστε στην ασφαλή πλευρά η ακτινοβολία λαμβάνεται 1000 W/m^2 ενώ για τη θερμοκρασία μια καλή προσέγγιση είναι $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ για την Ευρώπη.

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες η Voc ελαττώνεται.

-Μέγιστο φωτοβολταϊκό ρεύμα (I_{pvmax})

Είναι το μέγιστο αποδεκτό ρεύμα στην είσοδο του inverter.

Πλευρά εξόδου του μετατροπέα.

(Εννοείται η πλευρά του μετατροπέα που συνδέεται στο δίκτυο ή εν γένει στο φορτίο που τροφοδοτεί. Στην πλευρά εξόδου έχουμε εναλλασσόμενη (AC) τάση και ρεύμα).

-Ονομαστική ισχύς

Η ονομαστική ισχύς είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη για τους μετατροπείς.

Εννοείται ως η ισχύς που μπορεί να παρέχει διαρκώς στο δίκτυο.

Όταν έχουμε υπέρβαση των ορίων, δηλαδή σε ακραίες περιπτώσεις υπερπαραγωγής ισχύος στο MPP, εφαρμόζεται κάποια μέθοδος περιορισμού, πχ μετατόπιση του σημείου λειτουργίας της I-V χαρακτηριστικής καμπύλης.

Η ονομαστική ισχύς είναι το μόνο από τα μεγέθη που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης.

-Μέγιστη AC ισχύς

Η σημασία της δεν είναι σαφώς ορισμένη αν και μερικές φορές παρέχεται από τους κατασκευαστές.

Μπορεί να εννοηθεί ως η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει ο μετατροπέας στην έξοδο του για ένα χρονικό διάστημα μετά την υπέρβαση του οποίου επέρχεται η υπερθέρμανση της συσκευής οπότε και πρέπει να σταματήσει η λειτουργία της στο σημείο αυτό.

-Ονομαστική AC τάση

Είναι η τάση υπό την οποία παρέχει την ονομαστική ισχύ του ο μετατροπέας στην έξοδό του και εξαρτάται από την τάση του δικτύου για την οποία είναι σχεδιασμένος να συνδέεται ο μετατροπέας.

-Ονομαστικό AC ρεύμα

Είναι το ρεύμα που δίνει στην έξοδο του ο μετατροπέας για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας.

-Μονοφασική ή τριφασική σύνδεση

Αναφέρεται στον τρόπο σύνδεσης του μετατροπέα στην έξοδο του.

Συνήθως έχουμε μονοφασική σύνδεση για μετατροπείς μικρότερους των 3kW ενώ τριφασική σύνδεση για μεγαλύτερους μετατροπείς.

-Συχνότητα δικτύου

Οι περισσότεροι μετατροπείς μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυο με συχνότητα 50 Hz και 60Hz. Για την Ελλάδα λαμβάνουμε 50 Hz.

Πληροφορίες σχετικά με τα μεγέθη που αφορούν τα τελικά αποτελέσματα για το σύστημα, για την μελέτη της αποδοτικότητας του.

Y_a : Ορίζεται ως το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δια της ισχύος αιχμής της συστοιχίας. Έτσι έχουμε: $Y_a = E_{array} / P_p$ με μονάδες kWh/kWp. Εκφράζει την ενέργεια που αποδίδει κάθε εγκατεστημένο kWp στην έξοδο της συστοιχίας.

Y_f : Είναι το πηλίκο της ηλεκτρικής ενέργειας στην έξοδο του μετατροπέα δια την ισχύ αιχμής. Έτσι έχουμε: $Y_f = E_{outsyst} / P_p$ με μονάδες kWh/kWp. Εκφράζει την ενέργεια που παίρνουμε στην έξοδο του συστήματος από κάθε εγκατεστημένο kWp.

Y_R : Είναι το πηλίκο της ενεργειακής απολαβής H_t δια την πυκνότητα ισχύος στις πρότυπες συνθήκες. Έτσι έχουμε $Y_R = H_t / G_{stc}$ σε μονάδες kWh/kW.

PR : Είναι το πηλίκο Y_f / Y_r

Με βάση τα παραπάνω ορίζονται και τα ακόλουθα μεγέθη:

L_c := Collection Loss = $Y_r - Y_a$. Εκφράζει το σύνολο των απωλειών της συστοιχίας.

L_s := System Loss = $Y_a - Y_f$ εκφράζει τις απώλειες του μετατροπέα.

Μεθοδολογία υπολογισμών :

Για τον υπολογισμό των παραπάνω ποσοτήτων οι οποίες αφορούν στα τελικά αποτελέσματα για το σύστημα, για την μελέτη της αποδοτικότητας του, ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία :

Χρησιμοποιώντας το Excel υπολογίστηκε για κάθε αντιστροφέα οι στιγμιαίες τιμές:

η απόδοση **n(%)** = P_{ac} / P_{dc} ,

όπου $P_{ac}(W)$ ήταν δεδομένο και $P_{dc}(W) = V * I$,

όπου $V(V)$ και $I(A)$ ήταν δεδομένα,

η θεωρητική ισχύ **P_m(W)** = $P_p * (G_t / G_{stc}) * (1 + \gamma_{mp} * (\theta - \theta_{stc}))$,

ο λόγος επίδοσης **PR** = $P(t) / (P_p * (G_t / G_{stc}))$,

η %διαφορά **P_m-P_{πειρ}** = $((P_m - P_{πειρ}) / P_{πειρ}) * 100$,

και σε τιμές ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες :

η ενεργειακή απολαβή **H_t (kWh/m²)** = $\Sigma G_t * (5/60) * (1/1000)$,

οι ενέργειες :

E_{ac}(kWh) = $\Sigma P_{ac} * (5/60) * (1/1000)$,

E_{dc}(kWh) = $\Sigma P_{dc} * (5/60) * (1/1000)$,

E_m(kWh) = $\Sigma P_m * (5/60) * (1/1000)$,

η %διαφορά **E(θ)-E_{πειρ}** = $((E_m - E_{πειρ}) / E_{πειρ}) * 100$,

η απόδοση **n(%)** = E_{ac} / E_{dc} ,

ο λόγος επίδοσης **PR** = $E_{ac} / (P_p * (H_t / G_{stc}))$,

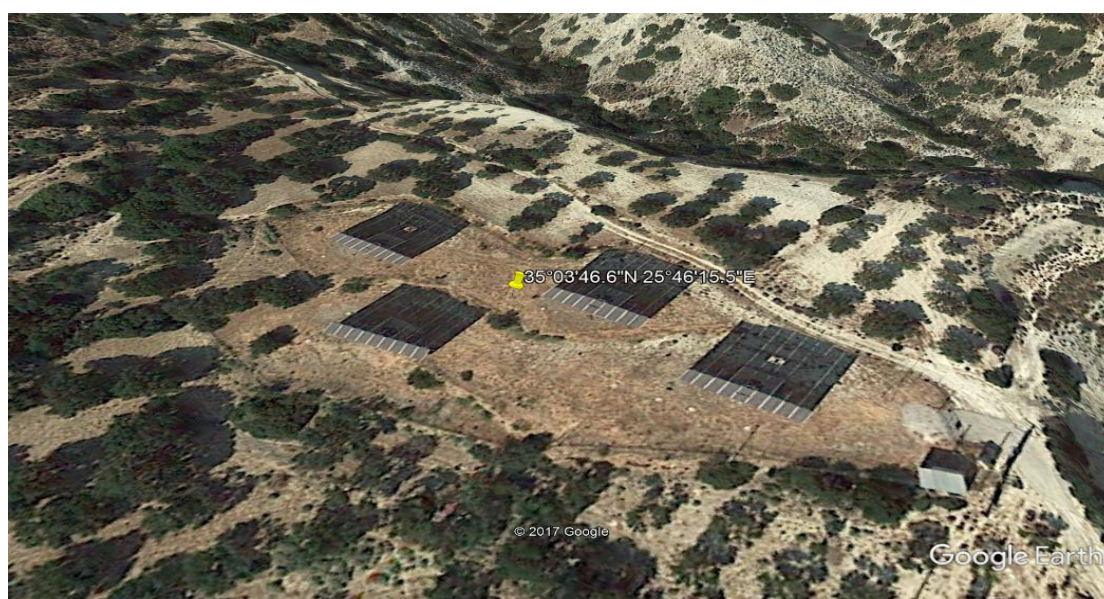
καθώς και οι ποσότητες : **Y_f = E_{ac} / P_{stc}** , **Y_R = H_t / G_{stc}** ,

PR = Y_f / Y_R , **Y_a = E_{pv} / P_{stc}** , **L_c = Y_R - Y_a** , **L_s = Y_a - Y_f**

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία εγκατάστασης 79,98KW :

Θέση έργου :	Ιεράπετρα
Φ/Β πλαίσια :	Conergy Power Plus 215
Σύνολο πλαισίων :	372
Διαστάσεις πλαισίων :	1651x986x46 (mm)
Σύστημα στήριξης :	MECHATRON ATLAS T150
Αριθμός Tracker	4
Invertes :	SMA Sunny Mini Central 7000TL
Αριθμός inverter :	12



Τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων της εγκατάστασης :

Conergy PowerPlus 215P

Ονομαστική ισχύ στις συνθήκες STC	215Wr
Ανοχή ισχύος	+2,5 %
Απόδοση ΦΒ γεννήτριας	13,21%
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος V (MPP)	28,80 V
Ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος I(MPP)	7,54 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος V(oc)	36 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I(sc)	8,04 A
Συντελεστής θερμοκρασίας -στο P(Mpp)	-0,45 %/°C
-στην (Voc) απολύτως	0,122 V/°C
-στην Voc ποσοστιαίος	-0,34 %/°C
-ρεύματος βραχυκύκλωσης I(sc) απολύτως	4 mA/°C
-Και I(sc) ποσοστιαίος	0,05 %/°C

Τεχνικά χαρακτηριστικά των inverter της εγκατάστασης :

Sunny Mini Central 7000TL

Είσοδος DC

Μέγιστη ισχύς DC σε $\cos \varphi = 1$ PDC	7.200W
Μέγιστη τάση DC * UDC Max	700V
Εύρος τάσης MPP UPV	333V...500V
Ονομαστική τάση DC UDC	350V
Ελάχιστη τάση DC UDC Min	330V
Αρχική τάση, ρυθμιζόμενη UPV Start	400V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου IPV Max	22A
Αριθμός ανιχνευτών σημείου μέγιστης ισχύος (MPP-Tracker)	1
Μέγιστο παράλληλο πλήθος στοιχειοσειρών	4
Διακύμανση της τάσης εισόδου	<10%
Ιδιοκατανάλωση κατά την λειτουργία	<10W

Έξοδος AC

Ονομαστική ισχύς AC στα 230 V, 50 Hz PAC	7.000W
Μέγιστη φαινομενική ισχύς AC SAC Max	7.000 VA
Ονομαστικό ρεύμα AC IAC	31A
Μέγιστο ρεύμα εξόδου IAC Max	31A
Μέγιστη ασφάλεια	50A
Ονομαστική τάση AC UAC	220V/230V/240V
Περιοχή τάσης AC UAC	180V...260V
Ονομαστική συχνότητα AC fAC	50 Hz / 60 Hz
Περιοχή λειτουργίας σε συχνότητα δικτύου AC fAC 50Hz:	45,5Hz ... 54,5Hz 60Hz: 55,5Hz ... 64,5Hz
Φάσεις τροφοδοσίας	1
Φάσεις σύνδεσης	1
Κατηγορία υπέρτασης κατά AUS/NZS 60950.1:	2003 II
Κατηγορία υπέρτασης κατά EN 50178:	1998III
Τάση ελέγχου DC	2,15kV
Κρουστική τάση ελέγχου	4kV
Κρουστική τάση ελέγχου με σειριακή θύρα	6kV
Ιδιοκατανάλωση κατά τη νυχτερινή λειτουργία	0,25W
Μέγιστος βαθμός απόδοσης η_{max}	98%
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης η_{euro}	97,7%

Το σύστημα στήριξης της εγκατάστασης:

Mechatron Atlas T150

Το σύστημα ATLAS T150 είναι το πιο επιτυχημένο διαξονικό σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου στην απαιτητική ελληνική αγορά.

Η Mechatron, έχει μέχρι στιγμής προμηθεύσει με το σύστημα Atlas Solar Tracker T150 διαξονικής παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, φέρουσας ικανότητας ισχύος άνω των 20KWp, Φ/Β πάρκα που ήδη βρίσκονται σε λειτουργία συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 14MW.

Ο ηλιοστάτης Atlas είναι αποτέλεσμα πολλών ετών έρευνας και ανάπτυξης από την ομάδα ειδικών της Mechatron σε θέματα Μηχανικής, Ηλεκτρονικής και ηλιακής ενέργειας και ενσωματώνει τεχνολογία αιχμής και καινοτομίες που επιτρέπουν την αύξηση της παραγωγής ηλιακής ενέργειας έως και 40% σε σύγκριση με τις σταθερές βάσεις.

Ταυτόχρονα, η στιβαρότητα, η αξιοπιστία καθώς επίσης και η ποιότητα κατασκευής που το χαρακτηρίζουν (η μοναδική διάταξη που πληρεί, στην κάθετη θέση τις προδιαγραφές που ορίζονται από του Ευρωκώδικες 1&3), κατατάσσουν το σύστημα πρώτο μεταξύ των διαξονικών συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου που υπάρχουν στην αγορά.

Mechatron Atlas T150



ΑΝΑΛΥΣΗ

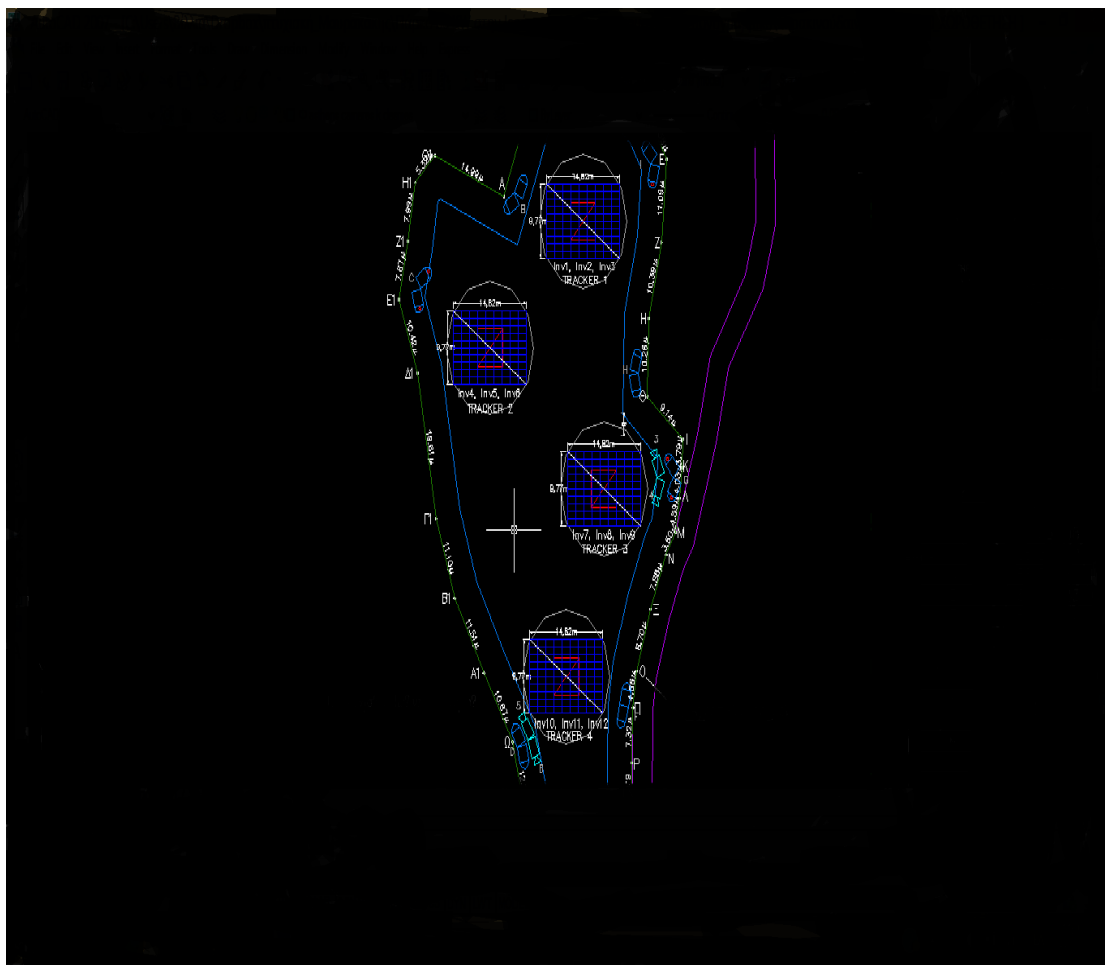
Η συνδεσμολογία δηλαδή πόσα πλαίσια σε σειρά και πόσα παράλληλα ανά inverter αναγράφεται στο **μονογραμμικό της εγκατάστασης**.



Είναι 2X15 στους αντιστροφεείς 1,4,5,6,8,12 και 2X16 στους αντιστροφεείς 2,3,7,9,10,11 και με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων και των inverter, ελέγχθηκαν τα παρακάτω κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται από την συνδεσμολογία τα οποία ικανοποιούνται.

$I_{\text{σειράς}} < I_{\text{max}} \text{ αντιστροφέα} \Rightarrow I_{\text{σειράς}} < 22A \Rightarrow 7,63A < 22A$
 $V_{\text{min,mppt}} < V_{\text{σειράς}} < V_{\text{max,mppt}} \text{ αντιστροφέα} \Rightarrow$
 $333 < V_{\text{σειράς}} < 500V \Rightarrow 333V < 456,8V \text{ και } 428,25 < 500V$
 $V_{\text{σειράς}} < V_{\text{max}} \text{ αντιστροφέα σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος} \Rightarrow$
 $V_{\text{σειράς}} < 700V \Rightarrow 456,8V \text{ και } 428,25 < 700V$

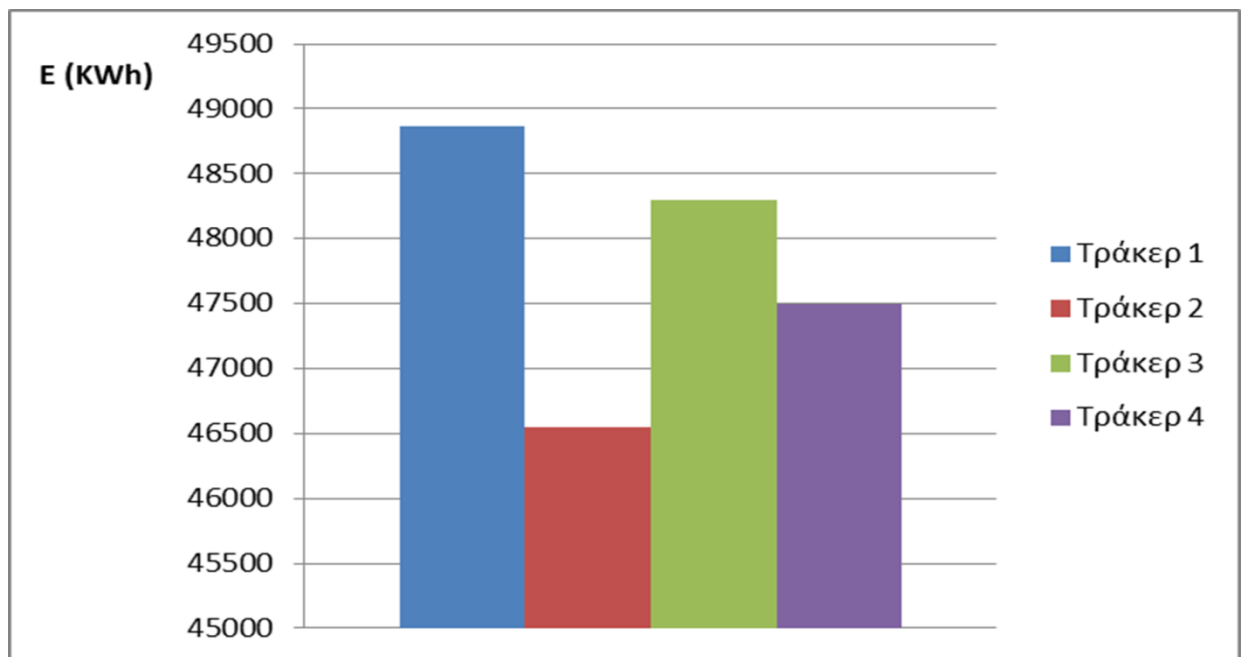
Στο **σχέδιο της χωροθέτησης** φαίνεται ποιοι inverter αντιστοιχούν στους 4 Τράκερ ώστε στην ανάλυση να βρίσκεται η παραγωγή από κάθε Τράκερ.



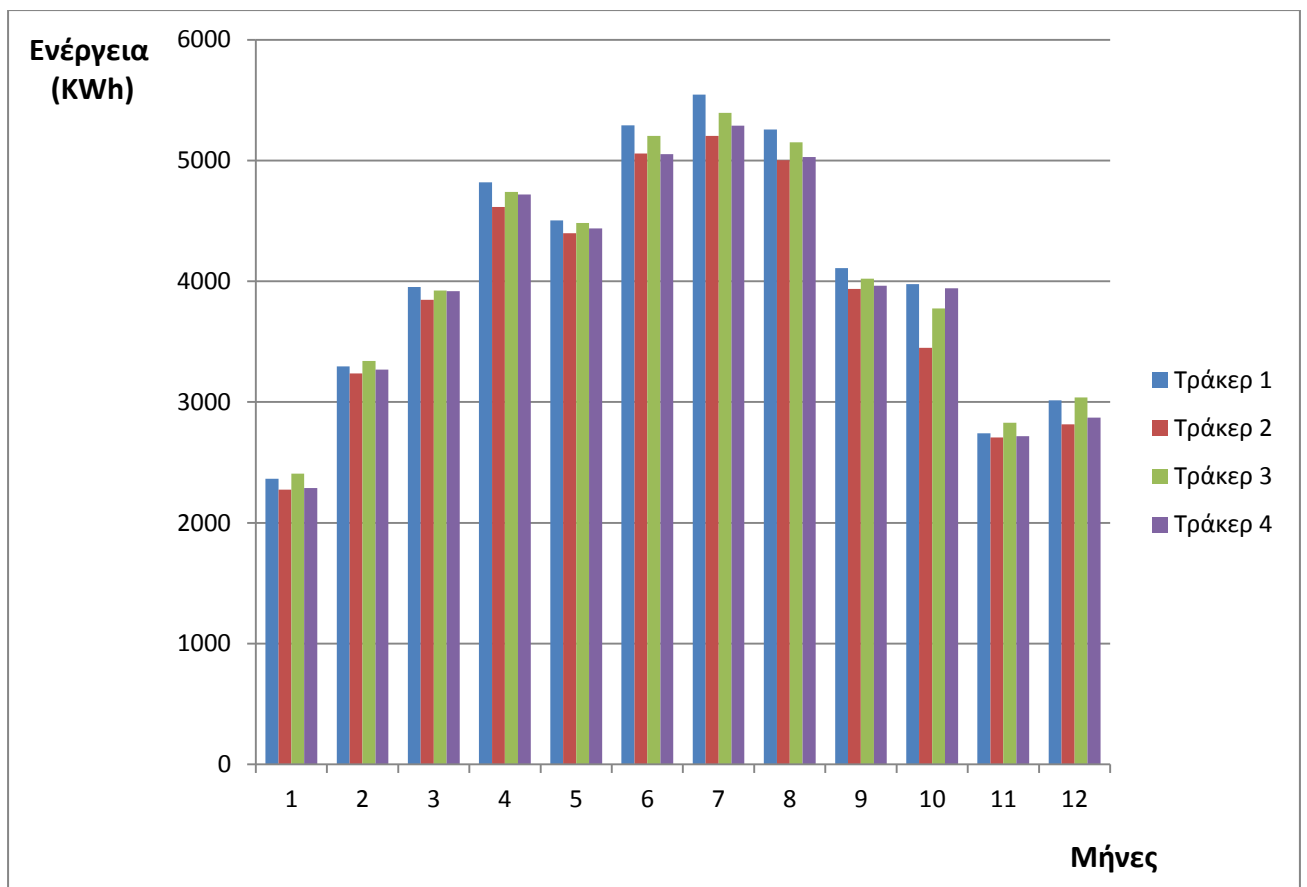
Στον πίνακα που ακολουθεί βρίσκονται οι inverter στους τράκερ που ανήκουν με την **ετήσια** παραγωγή τους το έτος 2016.

TRACKERS	INVERTERS	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (KWh)	ΣΥΝΟΛΟ ΤΡΑΚΕΡ (KWh)
	Αντιστροφέας 1	16758	
ΤΡΑΚΕΡ 1	Αντιστροφέας 2	16784	48869
	Αντιστροφέας 3	15327	
	Αντιστροφέας 4	16062	
ΤΡΑΚΕΡ 2	Αντιστροφέας 5	15381	46547
	Αντιστροφέας 6	15104	
	Αντιστροφέας 7	15863	
ΤΡΑΚΕΡ 3	Αντιστροφέας 8	15867	48302
	Αντιστροφέας 9	16572	
	Αντιστροφέας 10	15327	
ΤΡΑΚΕΡ 4	Αντιστροφέας 11	15619	47493
	Αντιστροφέας 12	16547	

Διάγραμμα με τις ετήσιες παραγωγές των τράκερ

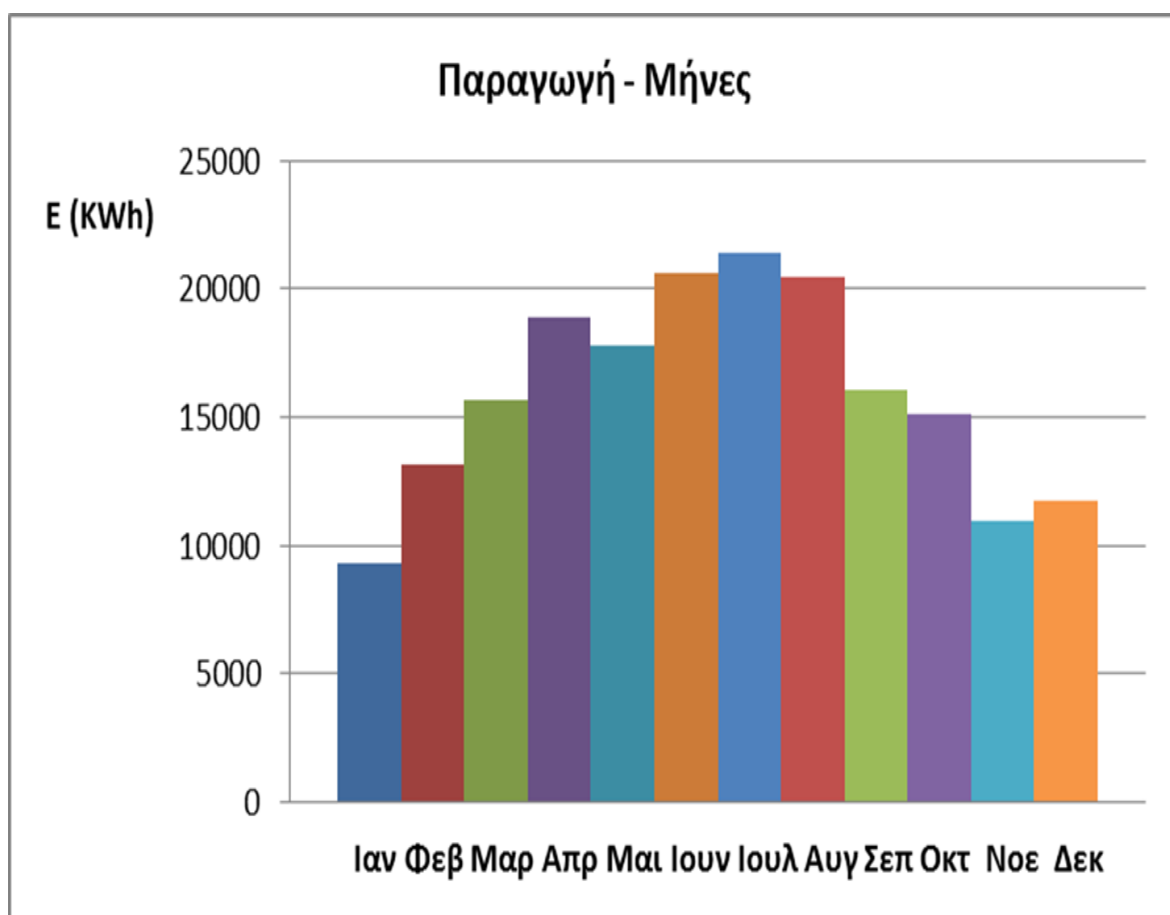


Διάγραμμα παραγωγής ανά τράκερ μέσα στους μήνες του έτους 2016.



Παρακάτω βρίσκονται οι μηνιαίες παραγωγές της εγκατάστασης και το σχετικό διάγραμμα.

Μήνας	Παραγωγή (kWh)
Ιανουάριος	9336
Φεβρουάριος	13143
Μάρτιος	15640
Απρίλιος	18894
Μάιος	17823
Ιούνιος	20603
Ιούλιος	21430
Αύγουστος	20437
Σεπτέμβριος	16030
Οκτώβριος	15143
Νοέμβριος	10993
Δεκέμβριος	11738



Ακολουθούν τα αποτελέσματα του μεγαλύτερου σε παραγωγή μήνα που ήταν ο Ιούλιος σε σύγκριση με του μικρότερου σε παραγωγή μήνα που ήταν ο Ιανουάριος.

Με πορτοκαλί χρώμα είναι η ημερήσια ενεργειακή απολαβή, με γαλάζιο η DC Ενέργεια στην είσοδο του μετατροπέα, με μπλέ σκούρο η AC Ενέργεια στην έξοδο, με πράσινο οι συνολικές παραγωγές και τα υπόλοιπα χρώματα αφορούν στις τελικές παραμέτρους.

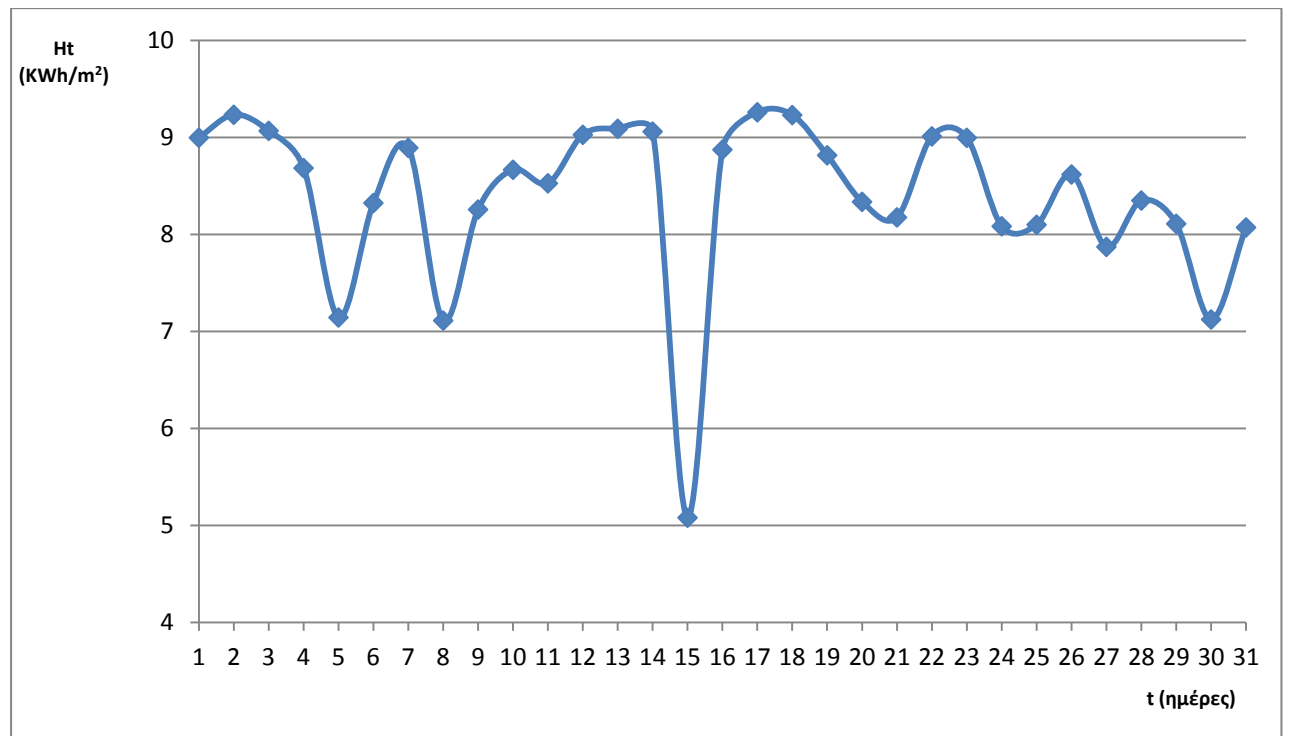
Ιούλιος

Ιανουάριος

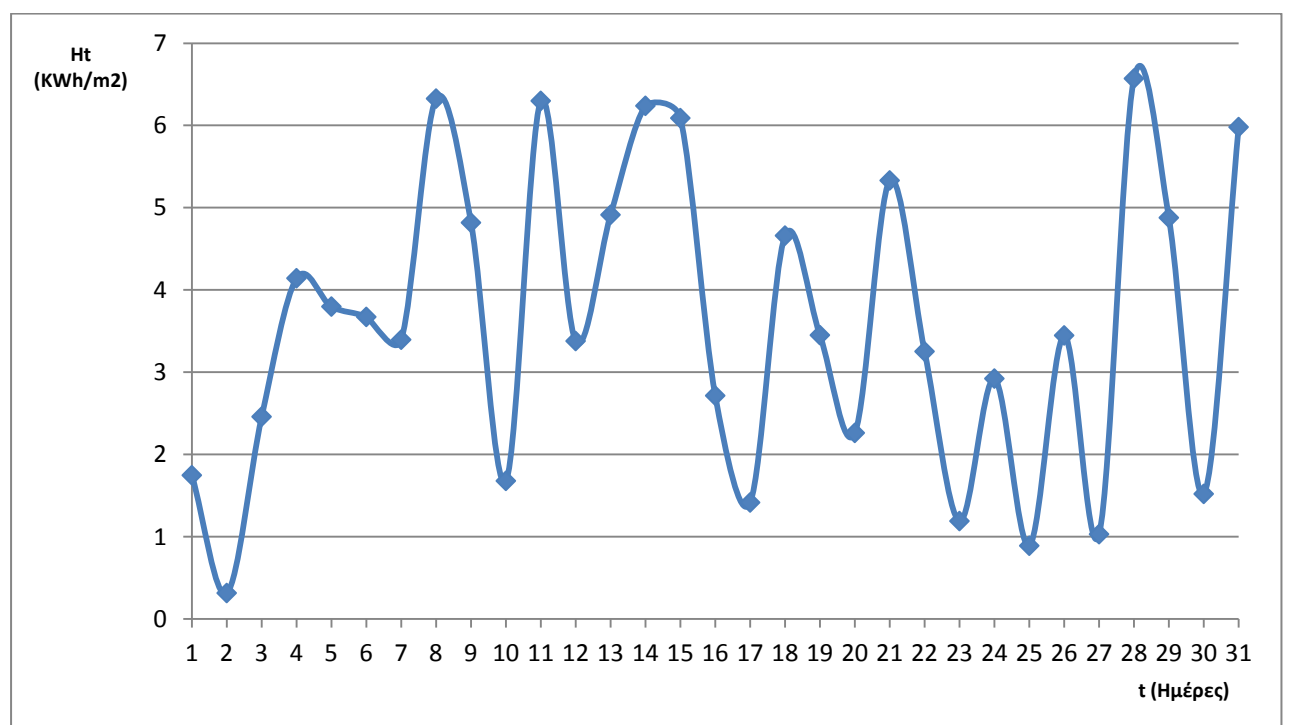
Συνολική ενεργειακή απολαβή όλου του μήνα	260	KWh/m2	Συνολική ενεργειακή απολαβή όλου του μήνα	111	KWh/m2
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 1	1938	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 1	852	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 1	1880	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 1	823	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 2	1952	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 2	849	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 2	1893	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 2	821	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 3	1824	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 3	744	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 3	1772	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 3	721	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 4	1841	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 4	830	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 4	1787	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 4	803	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 5	1785	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 5	741	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 5	1736	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 5	719	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 6	1729	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 6	777	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 6	1681	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 6	754	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 7	1853	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 7	809	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 7	1799	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 7	783	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 8	1797	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 8	817	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 8	1746	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 8	793	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 9	1907	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 9	860	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 9	1850	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 9	831	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 10	1742	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 10	746	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 10	1693	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 10	723	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 11	1762	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 11	804	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 11	1712	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 11	780	Kwh
Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 12	1940	Kwh	Συνολική ενέργεια DC Αντιστροφή 12	812	Kwh
Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 12	1882	Kwh	Συνολική ενέργεια AC Αντιστροφή 12	784	Kwh
Συνολική DC Ενέργεια για όλο τον μήνα	22166	Kwh	Συνολική DC Ενέργεια για όλο τον μήνα	9623	Kwh
Συνολική AC Ενέργεια για όλο τον μήνα	21431	Kwh	Συνολική AC Ενέργεια για όλο τον μήνα	9336	Kwh
Υφ μηνιαίο	268	KWh/KW	Υφ μηνιαίο	117	KWh/m2
Υα μηνιαίο	277	KWh/KW	Υα μηνιαίο	120	KWh/m2

Επίσης, παρουσιάζονται παρακάτω τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις στιγμιαίες και τις ημερήσιες τιμές του Ιουλίου σε σύγκριση με του Ιανουαρίου.

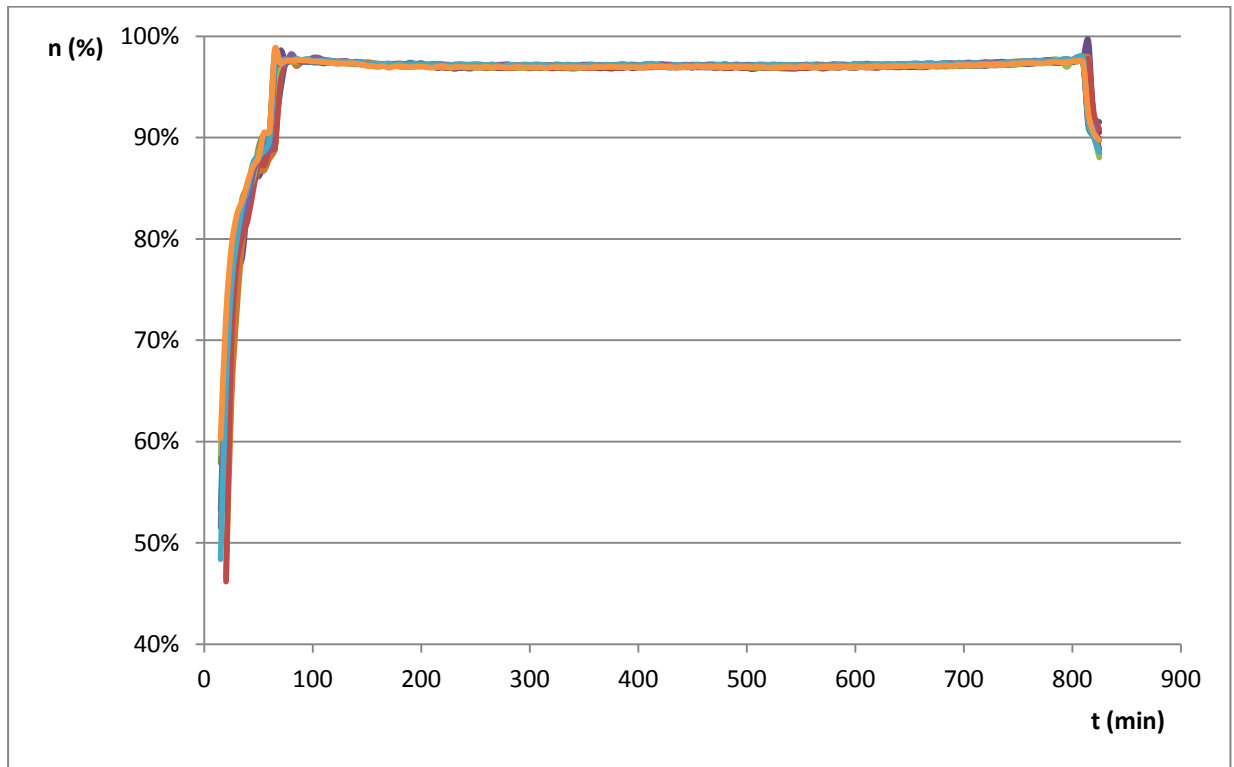
Διάγραμμα ημερήσιας ενεργειακής απολαβής σε συνάρτηση με τον χρόνο για τον Μήνα Ιούλιο



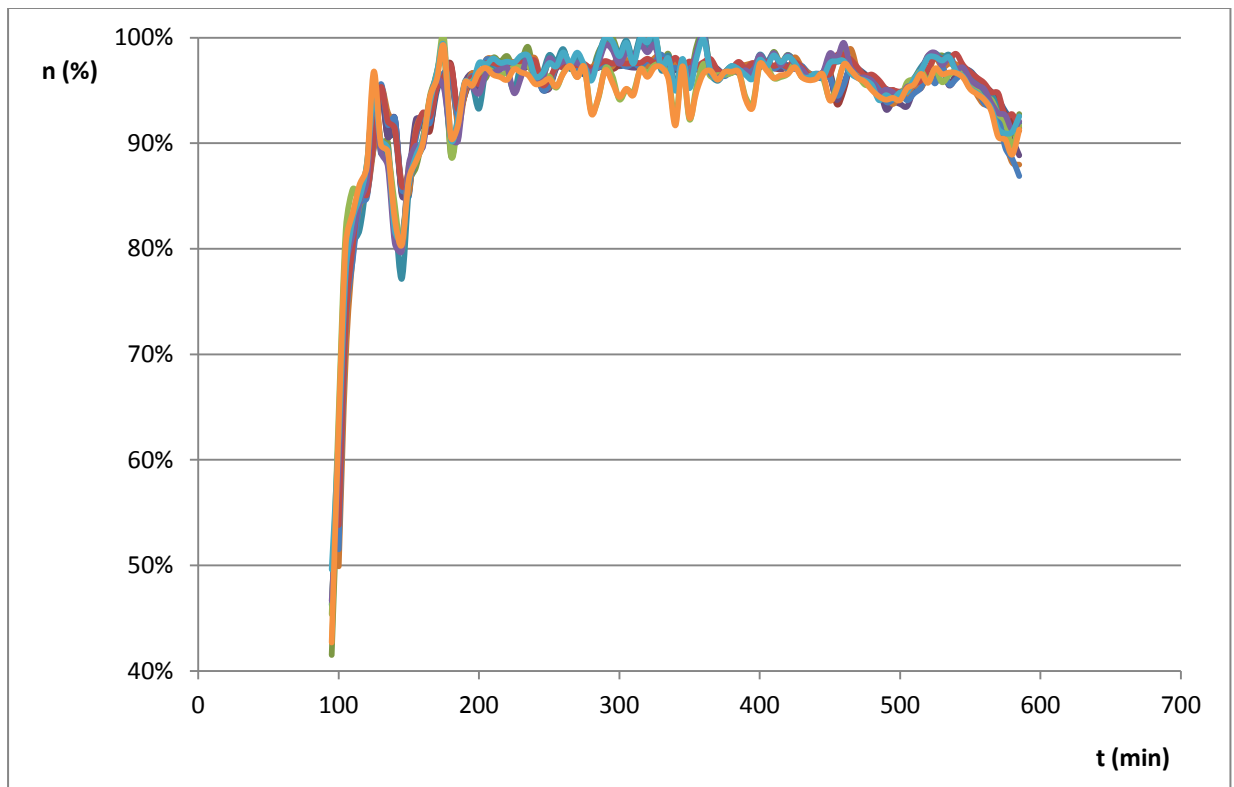
Διάγραμμα ημερήσιας ενεργειακής απολαβής σε συνάρτηση με τον χρόνο για τον Μήνα Ιανουάριο.



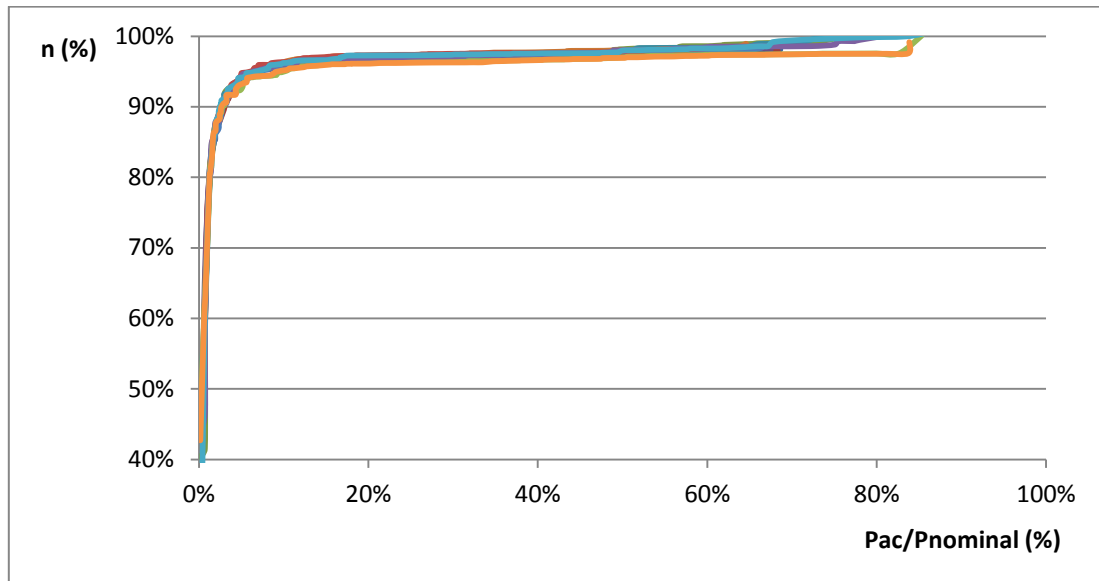
Ακολουθεί το διάγραμμα απόδοσης των αντιστροφένων σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα σε μία ημέρα του Ιουλίου



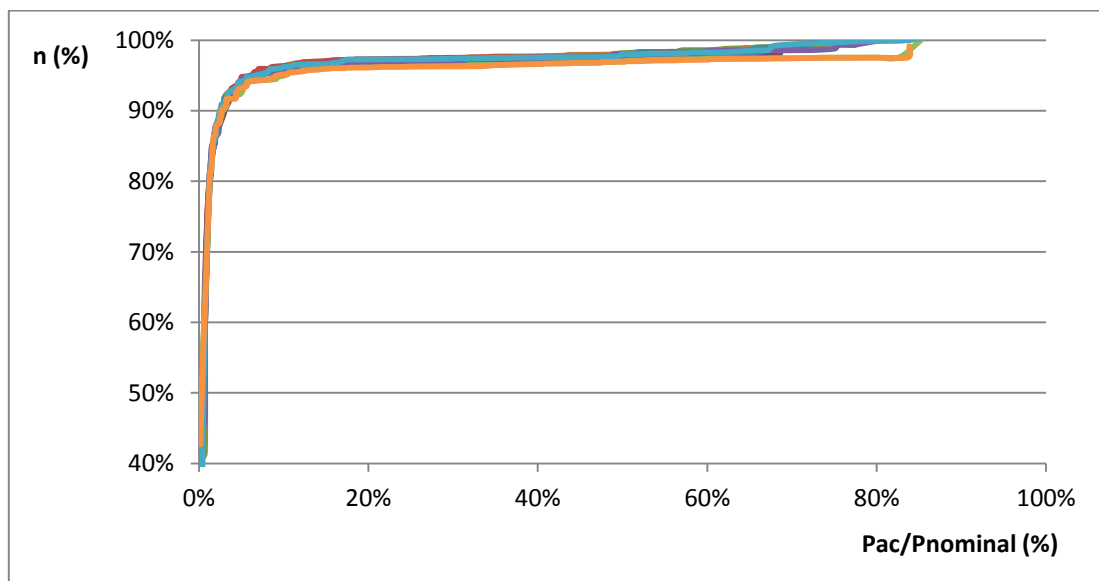
Διάγραμμα απόδοσης των αντιστροφένων σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα σε μία ημέρα του Ιανουαρίου.



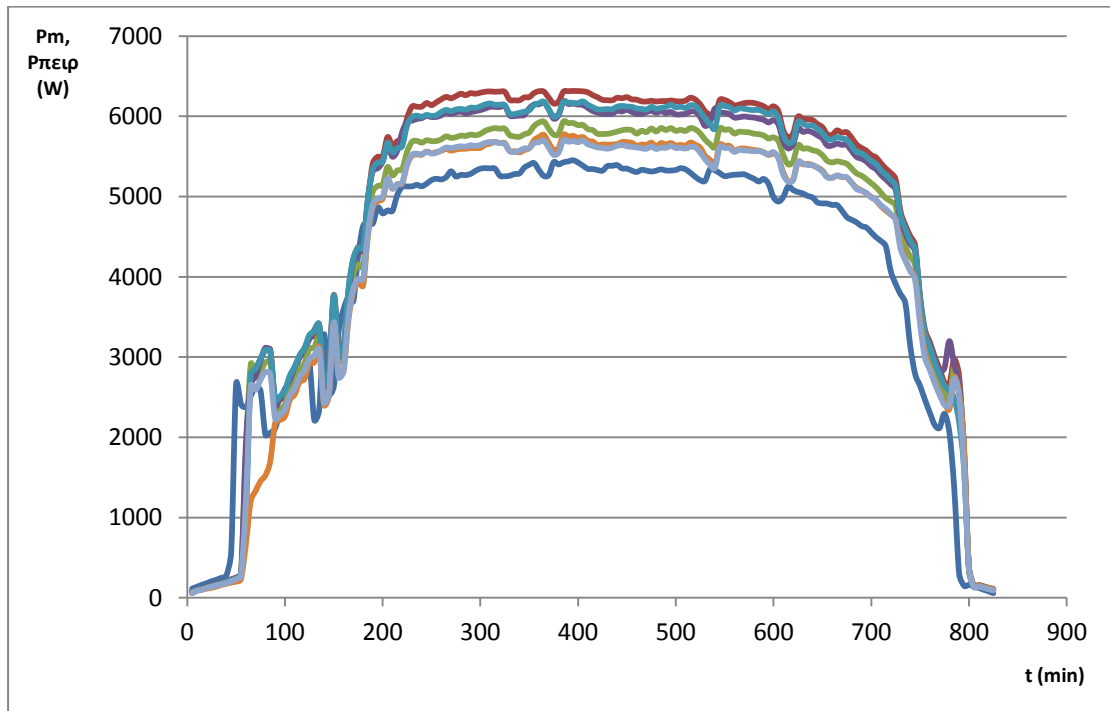
Διάγραμμα απόδοσης των αντιστροφών για μία μέρα του Ιουλίου σε συνάρτηση με τον λόγο $P_{ac}/P_{nominal}$.



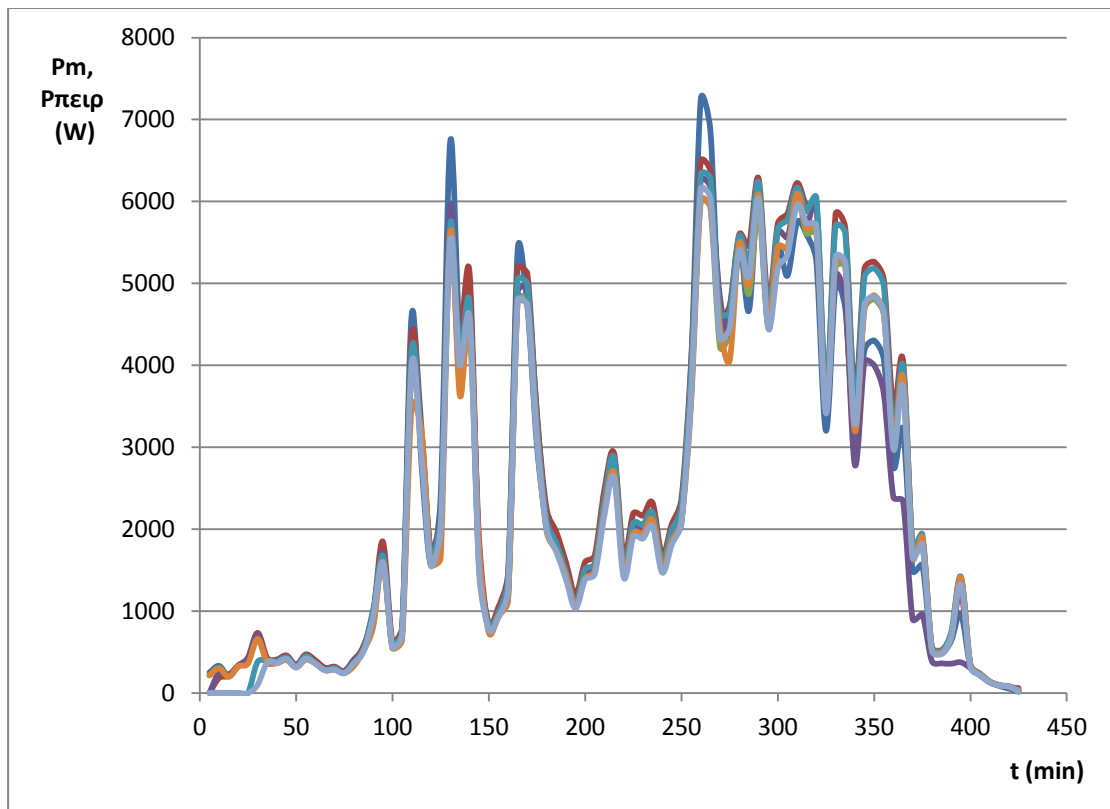
Διάγραμμα απόδοσης των αντιστροφών για μία μέρα του Ιανουαρίου σε συνάρτηση με τον λόγο $P_{ac}/P_{nominal}$.



Ακόμα, όπως εκτιμήθηκε η θεωρητική ισχύς P_m , προέκυψαν τα διαγράμματα P_m και $P_{πειρ}$ των αντιστροφών σε συνάρτηση με το χρόνο μέσα σε μία ημέρα του Ιουλίου



και μία ημέρα του Ιανουαρίου.



Στον πίνακα που ακολουθεί βρίσκονται οι ετήσιες τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν τελικά για το έτος 2016, από όλους τους μήνες και όλους τους Αντιστροφείς.

Ετήσια DC Ενέργεια	196.873 KWh
Ετήσια AC Ενέργεια	191.210 KWh
Ετήσια απόδοση	97 %
Ετήσιο Υf (KWh/KW)	2390
Ετήσιο Υa (KWh/KW)	2461

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ :

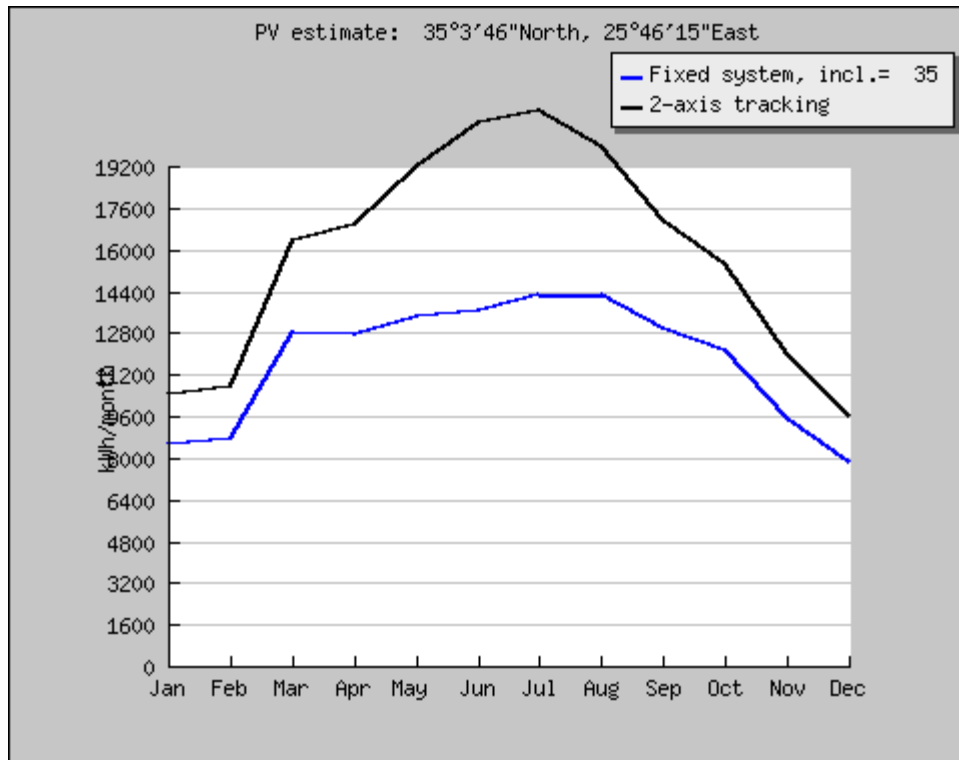
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών, θα συγκριθούν με τα εκτιμώμενα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το λογισμικό PVGIS. Βάζοντας στο λογισμικό τις ακριβείς συντεταγμένες και τα στοιχεία της εγκατάστασης, έδωσε σε μέσες μηνιαίες τιμές την εκτιμώμενη παραγωγή. Ακολουθεί ο σχετικός πίνακας:

Μήνας	Παραγωγή της εγκατάστασης (kWh)	Εκτιμώμενη παραγωγή από το λογισμικό (kwh)
Ιανουάριος	9336	10400
Φεβρουάριος	13143	10800
Μάρτιος	15640	16400
Απρίλιος	18894	16900
Μάιος	17823	19200
Ιούνιος	20603	20900
Ιούλιος	21430	21300
Αύγουστος	20437	20000
Σεπτέμβριος	16030	17100
Οκτώβριος	15143	15400
Νοέμβριος	10993	12000
Δεκέμβριος	11738	9610
Συνολική Ετήσια Παραγωγή (KWh)	191210	190000

Η κίτρινη στήλη είναι οι εκτιμώμενες τιμές που προέκυψαν από το λογισμικό για την επιλογή 2-axis tracking system(στήριξη 2 αξόνων) που αφορά στην στήριξη της εγκατάστασης.

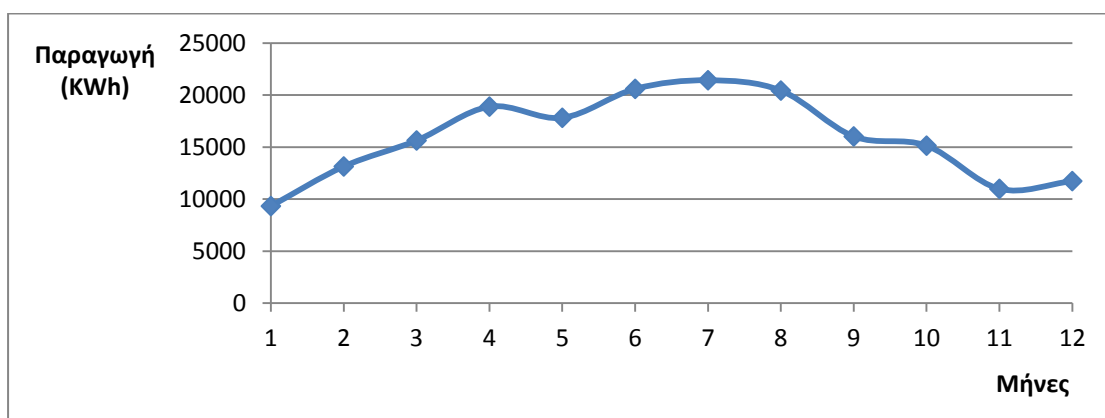
Στη επόμενη σελίδα ακολουθεί το διάγραμμα των τιμών αυτών μαζί με τις τιμές του fixed system (σταθερό σύστημα), για να συγκριθεί η διαφορά με στήριξη και χωρίς, καθώς και το διάγραμμα των πραγματικών τιμών.

Διάγραμμα μέσης μηνιαίας παραγωγής όπως προέκυψε από το λογισμικό για 2 axis tracking-system και για fixed system.



Παρατηρείται ότι μεταξύ του σταθερού συστήματος και του συστήματος 2 αξόνων υπάρχει διαφορά περίπου 35% ετησίως. Άρα με το σύστημα στήριξης 2 αξόνων παράχθηκε 35% περισσότερη ενέργεια. Συγκεκριμένα 190.000 KWh (2 άξονες)- 141.000 KWh (σταθερό) = περίπου 50.000 KWh Ετησίως.

Διάγραμμα μέσης μηνιαίας παραγωγής της εγκατάστασης.



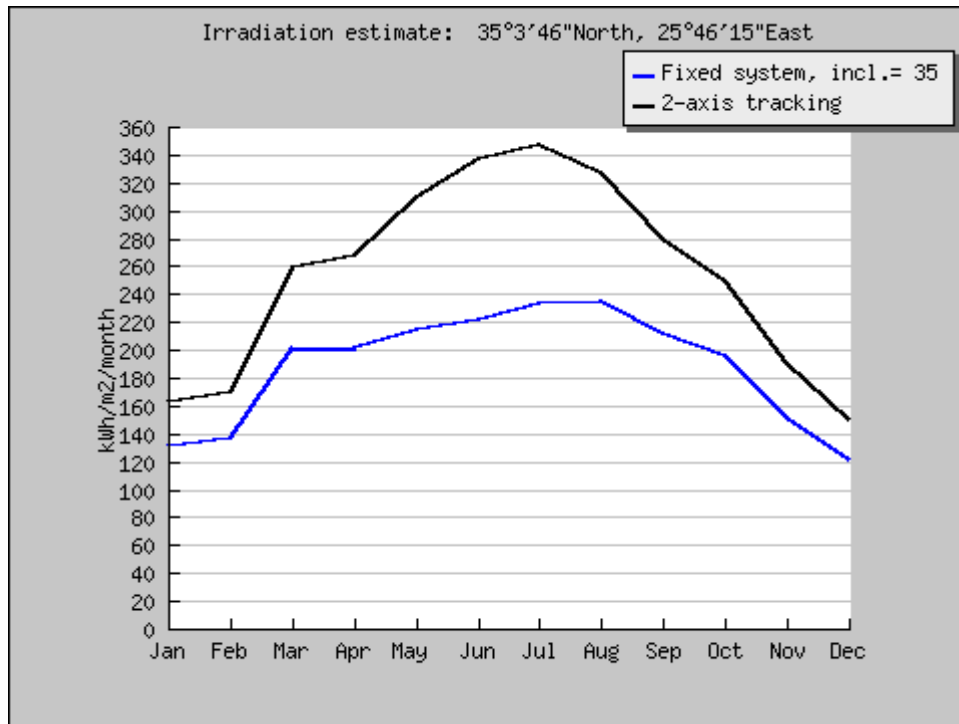
Το διάγραμμα με τις μηνιαίες παραγωγές συμφωνεί με το διάγραμμα του λογισμικού για την στήριξη με 2 άξονες.

Επίσης το λογισμικό έδωσε σε μέσες μηνιαίες τιμές και την εκτιμώμενη Ενεργειακή απολαβή (Ht). Ακολουθεί ο πίνακας με τις τιμές της εγκατάστασης και των τιμών που έδωσε το λογισμικό.

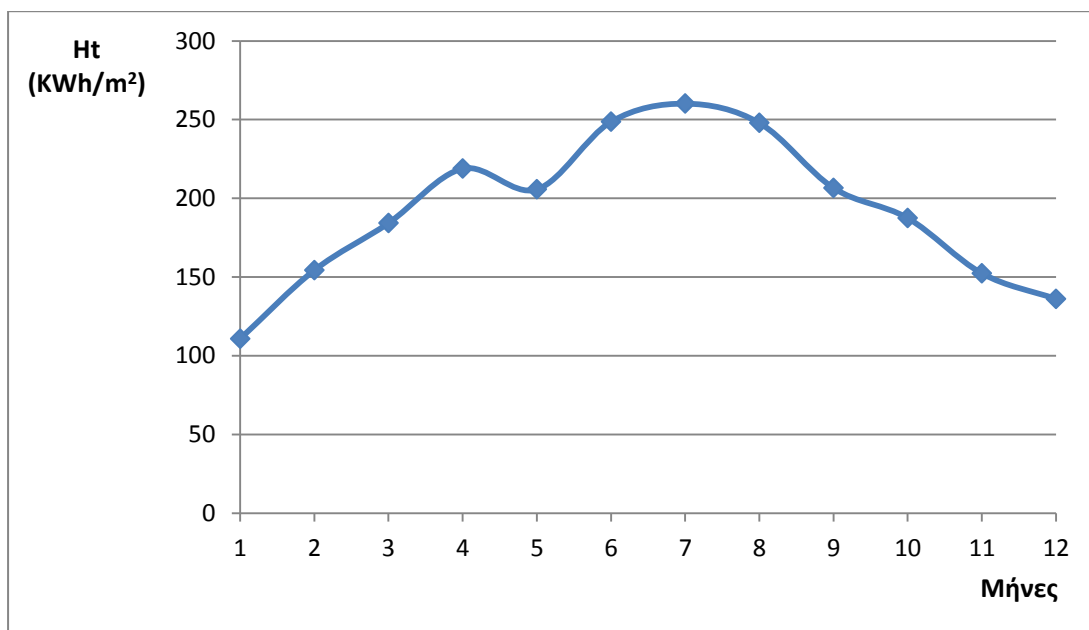
Μήνας	Μηνιαία Ενεργειακή απολαβή Ht (kWh/m ²)	Εκτιμώμενη Μηνιαία Ενεργειακή απολαβή Ht από το λογισμικό (kWh/m ²)
Ιανουάριος	111	163
Φεβρουάριος	154	169
Μάρτιος	184	259
Απρίλιος	219	268
Μάιος	206	309
Ιούνιος	249	337
Ιούλιος	260	348
Αύγουστος	248	327
Σεπτέμβριος	207	279
Οκτώβριος	187	249
Νοέμβριος	152	190
Δεκέμβριος	136	150
Συνολική Ετήσια Ενεργειακή απολαβή (kWh/m ²)	2313	3050

Η κίτρινη στήλη είναι οι εκτιμώμενες τιμές που προέκυψαν από το λογισμικό για την επιλογή 2-axis tracking system(στήριξη 2 αξόνων) που αφορά στην στήριξη της εγκατάστασης. Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί το διάγραμμα των τιμών αυτών μαζί με τις τιμές του fixed system (σταθερό σύστημα) όπως πριν, και το διάγραμμα των τιμών της εγκατάστασης.

Διάγραμμα μέσης μηνιαίας Ενεργειακής απολαβής όπως προέκυψε από το λογισμικό για 2 axis tracking-system και για fixed system.



Διάγραμμα μέσης μηνιαίας ενεργειακής απολαβής της εγκατάστασης.



Οι τιμές της Ενεργειακής απολαβής Ht είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες που έδωσε το λογισμικό.

Τέλος ακολουθεί ο πίνακας με τις ετήσιες παραγωγές και αποδόσεις των αντιστροφέων.

Ετήσια ενεργειακή απολαβή	2313	KWh/m ²
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 1	17287	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 1	16758	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 1	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 2	17175	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 2	16784	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 2	98%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 3	15778	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 3	15327	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 3	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 4	16556	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 4	16062	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 4	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 5	15833	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 5	15381	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 5	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 6	15546	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 6	15104	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 6	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 7	16349	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 7	15863	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 7	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 8	16333	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 8	15867	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 8	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 9	17092	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 9	16572	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 9	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 10	15778	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 10	15327	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 10	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 11	16078	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 11	15619	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 11	97%	%
Ετήσια ενέργεια DC Αντιστροφέα 12	17067	Kwh
Ετήσια ενέργεια AC Αντιστροφέα 12	16547	Kwh
Ετήσια απόδοση Αντιστροφέα 12	97%	%
Συνολική Ετήσια DC Ενέργεια	196873	Kwh
Συνολική Ετήσια AC Ενέργεια	191210	Kwh
Συνολική Ετήσια απόδοση	97%	%
Υφ ετήσιο	2391	kWh/kW
Υα ετήσιο	2462	kWh/kW

Στον παραπάνω πίνακα και στις τιμές με πράσινο πεδίο φαίνεται ότι η Ετήσια απόδοση όλων των αντιστροφέων είναι περίπου 97% έως 98%. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι οι αποδόσεις των αντιστροφέων ήταν υψηλές (97 % και 98 %) σε όλους τους μήνες και συμφωνούν με τις τιμές που αναγράφονται στα χαρακτηριστικά των αντιστροφέων (Μέγιστος βαθμός απόδοσης 98 % , Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης 97,7 %). Επίσης οι αποδόσεις ήταν το ίδιο υψηλές και στους χειμερινούς μήνες, έτσι συμπεραίνουμε ότι οι μετατροπείς έχουν μεγάλη απόδοση και για μικρή ισχύ.

Βιβλιογραφία – Ηλεκτρονικές πηγές :

1. **Ι. Ε. Φραγκιαδάκη, Φωτοβολταϊκά συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, 2007**
2. **Σημειώσεις μαθήματος Ηλιακά Συστήματα**
3. **Πτυχιακές εργασίες από το διαδίκτυο**
4. **Διπλωματικές εργασίες από το διαδίκτυο**
5. **Λογισμικό pngis**
6. **Google**
7. **Wikipedia**

