ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

«Αναλυτική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στην Κρήτη και συγκριτική αξιολόγηση σχετικών λογισμικών προσομοίωσης»

"Detailed study of photovoltaics' installation in Crete and comparative evaluation of related simulation software"

Ροκαδάκη Μαρίνα
Α.Μ.: 2013019028

Επιβλέπων: **Παπαευθυμίου Σπυρίδων**
Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά, Ιούνιος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως αντικείμενο την ολοκληρωμένη μελέτη εγκατάστασης και την προσομοίωση λειτουργίας συνδυασμένων φωτοβολταϊκών πάρκων στην Κρήτη, για παραγωγή ενέργειας και απευθείας διανομή της, στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε πρώτη φάση, θα γίνει αναλυτική συγκριτική μελέτη, περιγραφή των χαρακτηριστικών και αξιολόγηση, εξειδικευμένων λογισμικών μελέτης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μέσα από τη διαδικασία αυτή, θα επιλεγεί το(τα) λογισμικό(ά) που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια της εργασίας. Κατόπιν, θα καθοριστούν συγκεκριμένες θέσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σταθμών και τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους. Τέλος, με χρήση των επιλεγμένων λογισμικών, θα πραγματοποιηθούν τα στάδια της προσομοίωσης, της διαστασιολόγησης, της οικονομικής ανάλυσης και της αποτίμησης της ενεργειακής παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων που θα εγκατασταθούν.

ABSTRACT

The aim of this Thesis is to carry out a complete study on the installation and simulation of operating combined photovoltaic plants on the island of Crete, in order to produce energy and feed it directly to the electricity grid. Initially, there will be a detailed comparative study of the characteristics and evaluation of professional design software for photovoltaic systems. Through this process, the software(s) to be used in the rest of the Thesis will be determined. Next, the specific sites of installation will be defined, as well as the individual characteristics of the photovoltaic plants. Finally, using the selected softwares, the stages of simulation, sizing, economic analysis and energy production evaluation of the installed photovoltaic systems will be carried out.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο **πρώτο κεφάλαιο** της παρούσας εργασίας, θα πραγματοποιηθεί μια εισαγωγή στην ενέργεια και τις κυριότερες πηγές της, στην εποχή μας. Θα εστιάσουμε στις Ανανεώσιμές Πηγές Ενέργειας και, ιδιαιτέρως, στην ηλιακή και θα παρουσιάσουμε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της, καθώς και, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της φωτοβολαϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, που αποτελεί και τον κύριο τρόπο αξιοποίησής της.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, θα παρουσιαστούν τα βασικά μέρη των φωτοβολταϊκών συστημάτων, δηλαδή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι αντιστροφείς και θα γίνει ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών τους.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, θα ασχοληθούμε με τα λογισμικά που υπάρχουν διαθέσιμα για προσομοίωση και μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αρχικά, θα διακρίνουμε τα λογισμικά σε επιμέρους κατηγορίες και, στη συνέχεια, θα γίνει λεπτομερής περιγραφή των χαρακτηριστικών του καθενός. Στο τέλος του κεφαλαίου, θα παρουσιαστεί αναλυτικός πίνακας αξιολόγησης των λογισμικών.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, θα υλοποιηθεί η μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού στην περιοχή της Αγιάς Χανίων, με χρήση επιλεγμένων λογισμικών του προηγούμενου κεφαλαίου και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ενεργειακής απόδοσης σε συγκεντρωτικό πίνακα. Μέσα από τη διαδικασία αυτή, θα επιλεγεί το επικρατέστερο λογισμικό, με χρήση του οποίου, θα πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία για τέσσερις ακόμα φωτοβολταϊκές μονάδες, στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, θα γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης της οικονομικής βιωσιμότητας των φωτοβολταϊκών σταθμών που εγκαταστάθηκαν στην Κρήτη. Για το σκοπό αυτό, αρχικά, θα περιγραφούν τα βασικά οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης μιας επένδυσης και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί αναλυτική οικονομική μελέτη ενός από τους εγκατεστημένους σταθμούς, με χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

Τέλος, στο **έκτο κεφάλαιο**, θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην μεταπτυχιακή, αυτή, διατριβή.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^{ο}–ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια

Η ενέργεια αποτελούσε και αποτελεί τον κινητήριο μοχλό για την πραγματοποίηση πολλών ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο άνθρωπος, από τη φύση του, στοχεύοντας στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσής του, χρησιμοποιούσε τους φυσικούς πόρους σε συνδυασμό με την εφευρετικότητά του.

Οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ήταν η ενέργεια από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, μια νέα μέθοδος παραγωγής ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια, εμφανίστηκε, δημιουργώντας ελπίδες για τη ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος. Δυστυχώς, όμως, σύντομα αποδείχτηκε πως η διασφάλιση της ελεγχόμενης παραγωγής της ήταν αδύνατη. Ταυτόχρονα, άρχισαν να γίνονται εμφανείς οι επιπτώσεις της λανθασμένης συμπεριφοράς του ανθρώπου απέναντι στο οικοσύστημα, με βασική αιτία την αλόγιστη χρήση των συμβατικών καυσίμων και άλλων τεχνολογικών προϊόντων.

Ήταν φανερό, ότι για την επιβίωση του ανθρώπινου είδους και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος, ήταν αναγκαία και επιβεβλημένη η αλλαγή νοοτροπίας σχετικά με την τεχνολογική ανάπτυξη. Έτσι, άρχισαν να εμφανίζονται νέες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας, οι οποίες βασίζονται στον ήλιο, τον άνεμο και άλλες πηγές που δεν επιβαρύνουν τη φύση.

1.2 Πηγές ενέργειας σήμερα

Οι πηγές ενέργειας, σήμερα, διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: Σε εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα εσωτερικά του φλοιού της γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και στις ονομαζόμενες, ήπιες μορφές ενέργειας. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο) και η πυρηνική ενέργεια, ενώ στη δεύτερη, εκείνες που έχουν ως βασική τους προέλευση τον ήλιο, τον άνεμο, το νερό κτλ..

Οι συμβατικές πηγές ενέργειας, αδιαμφισβήτητα, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας, της επιστήμης και έχουν συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών ζωής του ανθρώπου, όμως, συνδέονται με πολύ σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, ενισχύεται, σε παγκόσμιο επίπεδο, η άποψη για μερική, αρχικά, αντικατάστασή τους με άλλες μη ρυπογόνες πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.).

1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Εικόνα 1.1 Βασικές μορφές Α.Π.Ε.

Με τον όρο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.), ήπιες μορφές ενέργειας, νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια, αναφερόμαστε σε μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Οι μορφές ενέργειας αυτές, διαφέρουν από τις συμβατικές, καθώς είναι ανεξάντλητες στη φύση και επιβαρύνουν κατά πολύ λιγότερο το περιβάλλον.

Ο όρος «ανανεώσιμες», αναφέρεται στο γεγονός ότι οι μορφές αυτές ενέργειας υπάρχουν άφθονες στο φυσικό περιβάλλον και τα αποθέματά τους ανανεώνονται συνεχώς.

Ο όρος «ήπιες», αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως συνέβαινε με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά, απλώς, η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι Α.Π.Ε. θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ο όρος «νέες», επισημαίνει τη διαφορά από τις μέχρι σήμερα ευρέως χρησιμοποιούμενες μορφές ενέργειας, καθώς αναφέρεται σε κάτι το εναλλακτικό σε σχέση με τα καθιερωμένα δεδομένα.

Τέλος, ο όρος «πράσινη ενέργεια», αναφέρεται στο περιβάλλον, με την έννοια ότι οι Α.Π.Ε. αφήνουν πολύ λιγότερα κατάλοιπα από τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε αυτό.

1.3.1 Κατηγορίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι Α.Π.Ε. διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Ενέργεια από βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια των ωκεανών (ενέργεια από παλίρροιες και ενέργεια από κύματα)
- Αιολική ενέργεια

Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή, θα ασχοληθούμε με την απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

1.4 Η Ηλιακή ενέργεια

Εικόνα 1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Ο Ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Είναι, σχεδόν, μια τέλεια σφαίρα με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές περισσότερο από τη Γη) και η μάζα του, αποτελεί το 99.86% της μάζας του ηλιακού συστήματος. Ο Ήλιος είναι το κοντινότερο στη Γη άστρο, σε απόσταση 149,6 εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Η επιφανειακή του θερμοκρασία είναι περίπου 5.800 βαθμοί Κέλβιν. Η υψηλή θερμοκρασία του ηλίου 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 U=1,67x105 kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν, τόσο σαν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όσο και με σωματιδιακή μορφή.

1.4.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Η Γη, κατά την κίνησή της γύρω από τον ήλιο διαγράφει ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια των εστιών της, με μήκος μεγάλου ημιάξονα, α=149,6x106 km και εκκεντρότητα, e~ 0,01673. Η απόσταση γης-ήλιου μεταβάλλεται περιοδικά, κατά τη διάρκεια του έτους, μεταξύ της μεγίστης τιμής της (περί την 1η Ιουλίου), που ονομάζεται αφήλιο (~ 152,1 x 106 km) και της ελαχίστης (περί την 1η Ιανουαρίου), που ονομάζεται περιήλιο (147,1x106 km). Το μήκος του μεγάλου ημιάξονα, α, προσεγγιστικά 150.000.000 χιλιόμετρα, λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις, ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα και συμβολίζεται ως 1 AU (Astronomical Unit). Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των ~300.000 km/s, απαιτούνται ~8,5 min. Η ένταση J, της ακτινοβολίας του ήλιου, μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης.

$$J= P/(4\pi d^2) \qquad (1.1)$$

όπου:
P: η ολική ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε όλα τα μήκη κύματος, η εκπεμπόμενη από όλη την επιφάνεια του και
d: η απόσταση από τον ήλιο.

Σπουδαίας σημασίας είναι η εξάρτηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από το υψόμετρο της περιοχής που δέχεται την ακτινοβολία. Έχει μετρηθεί ότι ενώ στη στάθμη της θάλασσας η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας φτάνει μέχρι τα 900-1000 W/m^2, η τιμή της αυξάνεται κατά περίπου 7 W/m^2 για κάθε 100 m ύψους της τοποθεσίας, επειδή μειώνεται αντίστοιχα το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ακτινοβολία εντάθηκε, όταν, χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης μετατροπής της σε ηλεκτρική, με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων ή γεννητριών.

1.4.2 Αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με δυο τρόπους:
α) Μετατροπή της σε θερμική ενέργεια
β) Απευθείας μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια

α) Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική

Επιτυγχάνεται:

α) Σε επίπεδο καταναλωτών, με χρήση ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση χώρου ή νερού, με ένα συντελεστή απόδοσης που είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων, αλλά είναι της τάξης του 40–50%.

β) Σε επίπεδο ηλεκτρικών σταθμών, όπου η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από μια μεγάλη σχετικά επιφάνεια, τον ανακλαστήρα, όπου με φακούς ή κάτοπτρα συγκεντρώνεται για να απορροφηθεί από μια μικρότερη επιφάνεια, τον απορροφητή.

Για υψηλές θερμοκρασίες (μέχρι 1100 ^{o}C) χρησιμοποιείται μόνο ένας δέκτης (λέβητας στη κορυφή του πύργου), ενώ για χαμηλότερες θερμοκρασίες (μέχρι 400 ^{o}C), ο δέκτης είναι ένας σωλήνας στη θέση της γραμμικής εστίας (με νερό ή υγρό νάτριο), που τροφοδοτεί το λέβητα.

Υπάρχουν εννέα ηλεκτρικά εργοστάσια αυτού του τύπου, συνολικής ισχύος 345 MW, που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας, σε ποσοστό μέχρι 25% της συνολικής ετήσιας παραγωγής των εργοστασίων.

β) Απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική

Επιτυγχάνεται με τα ηλιακά κύτταρα, των οποίων η λειτουργία στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο πραγματοποιείται σε ένα λεπτό στρώμα κατάλληλου υλικού, π.χ. πυριτίου, όπου ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων δημιουργούνται από την πρόσπτωση ηλιακών φωτονίων, ενώ, η ασυνέχεια του δυναμικού του κυττάρου διαχωρίζει τις οπές από τα ηλεκτρόνια και δημιουργεί διαφορά δυναμικού. Παρόλο που η θεωρητική απόδοση είναι 25%, οι πρακτικές τιμές είναι περίπου 15%, αν και κοντά στο Tempe της Αριζόνα, κατασκευάστηκε φωτοβολταϊκός σταθμός 20 kW, με πρωτοποριακά ηλιακά κύτταρα από κρυσταλλικό πυρίτιο, στηριγμένα κάτω από ακρυλικούς συγκεντρωτικούς φακούς, απόδοσης 20%.

1.4.3 Ηλιακή σταθερά (Gsc)

Ως ηλιακή σταθερά, ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια, κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο, όριο της ατμόσφαιρας:

$$G_{sc}=1353 W/m^2 \qquad (1.2)$$

Καθώς η απόσταση ήλιου-γης μεταβάλλεται συνεχώς κατά την διάρκεια του έτους, για τον υπολογισμό της μεταβολής της ηλιακής σταθεράς χρησιμοποιείται η σχέση:

$$G_{on} = G_{sc}*[1+0.0033*\cos(360*n/365)] \qquad (1.3)$$

όπου:

n: οι ημέρες του έτους n=1,2,3,…,365 με αρχή την 1^{η} Ιανουαρίου και

Gon: η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

1.4.4 Γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ)

Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό και οι τιμές του κυμαίνονται ανάμεσα στα εξής όρια:

$$-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \qquad (1.4)$$

Η γνώση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου είναι πολύ σημαντική για την επιλογή της βέλτιστης κλίσης των ηλιακών συλλεκτών ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Υπάρχουν και εφαρμογές, όπου κρίνεται σκόπιμη η αναπροσαρμογή της κλίσης του συλλέκτη δύο ή περισσότερες φορές στη διάρκεια του έτους, ώστε να παρακολουθεί κάπως την πορεία του ήλιου.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται ενδεικτικές τιμές γωνιών κλίσης των ηλιακών συλλεκτών σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη .

Περιοχή τιμών γεωγραφικού πλάτους (φ) του τόπου	Ενδεικτικές τιμές γωνίας κλίσης συλλέκτη με νότιο προσανατολισμό για το βόρειο ημισφαίριο και αντιστοίχως βόρειο προσανατολισμό για το νότιο ημισφαίριο		
Μικρά γεωγραφικά πλάτη, γύρω απ'τον Ισημερινό, φ < 20°	Ουσιαστικά 0°. Στην πράξη συνιστάται μια μικρή γωνία κλίσης, 5°-10°, ώστε η ροή του νερού πλύσης ή της βροχής, να απομακρύνει τα σώματα που επικάθονται στην όψη του ΦΒ πλαισίου (σκόνη, φύλλα, περιττώματα πουλιών κ.ά. ι		
Μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, φ >20°	Σταθερή τοποθέτηση, απαίτηση για μέγιστη αποδοτικότητα ετησίως.		φ-(5°-10°)
	Σταθερή τοποθέτηση. Κύρια απαίτηση κατά τη χειμερινή περίοδο.		φ+ 10°
	Ρυθμιζόμενη κλίση δύο θέσεων ετησίως (§ 1.9.3.2.)	Θερινή	φ-(10<Μ5°)
		Χειμερινή	φ + (10°-15°)

Πίνακας 1.1 Κλίση ηλιακών συλλεκτών για διάφορα γεωγραφικά πλάτη.

Επιπλέον, μια πολύ χρήσιμη προσεγγιστική σχέση, που συνδέει τη βέλτιστη γωνία κλίσης των ηλιακών συλλεκτών με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου είναι η εξής:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi| \qquad (1.5)$$

όπου:

β_{opt}: η βέλτιστη γωνία κλίσης και

ϕ: το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

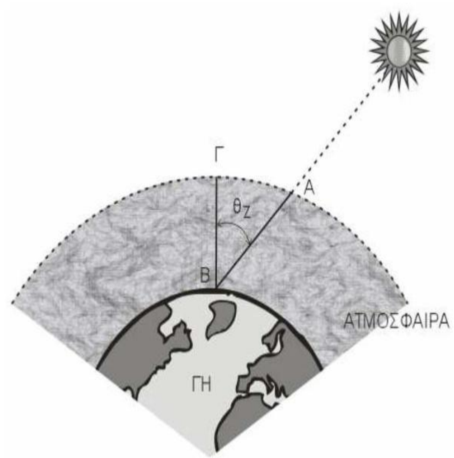
1.4.5 Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που διασχίζουν οι ηλιακές ακτίνες στην ατμόσφαιρα μέχρι να φτάσουν στο έδαφος, τόσο μικρότερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεγαλύτερη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας για να φθάσει στην επιφάνεια της γης είναι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα.

Προκειμένου να εκφραστεί η μείωση, αυτή, της ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται ο όρος της σχετικής μάζας του αέρα ή απλά όπως συνηθίζεται, μάζα του αέρα. Μάζα του αέρα (m), ορίζεται, ο λόγος της μάζας της αερίου στήλης της διαδρομής των ηλιακών ακτινών για ανέφελο ουρανό, προς την αντίστοιχη μάζα για κατακόρυφο ήλιο.

Όταν η ζενίθια γωνία του ήλιου δε έχει μεγάλες τιμές και αν δεν ληφθεί υπ’ όψιν η καμπυλότητα της γης και η διάθλαση, που επηρεάζει ελαφρά το μήκος της πλάγιας διαδρομής ΑΒ, τότε το τόξο ΑΒ μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο τμήμα και, κατά συνέπεια, το τρίγωνο ΑΒΓ ορθογώνιο. Οπότε, ο λόγος των αντίστοιχων μαζών θα είναι και ο λόγος των διαδρομών ΑΒ προς ΒΓ και, κατά συνέπεια, η μάζα του αέρα (m) θα εξαρτάται από τη ζενίθια γωνία του ήλιου θ_Z, οπότε:

$$m=1/\cos\theta_z \qquad (1.6)$$

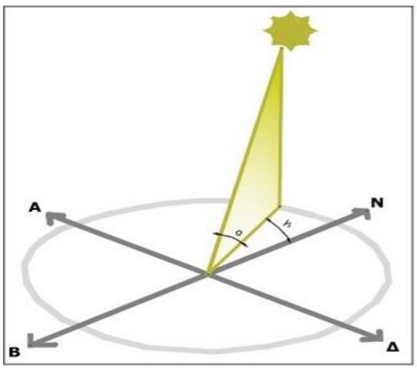


Εικόνα 1.3 Μάζα αέρα.

1.4.6 Ύψος και αζιμούθιο ηλίου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται, συνήθως, με δύο γωνίες :

- το ύψος του ήλιου (α)
- το αζιμούθιο του ήλιου (γ)



Εικόνα 1.4 Ύψος (α) και αζιμούθιο (γ) ηλίου.

Το ύψος του ήλιου (α), είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα.

Αζιμούθιο (γ), είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά–νότου και είναι:

- Για νότιο προσανατολισμό, γ=0.
- Για γωνίες δυτικά από το νότο, γ>0.
- Για γωνίες ανατολικά από το νότο, γ<0.

Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.

1.4.7 Ζενιθιακή γωνία του ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή, η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στη κατακόρυφο, η οποία ονομάζεται και ζενιθιακή απόσταση (ή γωνία) του ήλιου και συμβολίζεται με θ_z.

1.4.8 Ωριαία γωνία του ήλιου

Ως ωριαία γωνία του ήλιου (ω), ορίζεται η απόσταση του ήλιου από την ηλιακή μεσημβρία, λόγω περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της.

Στην ηλιακή μεσημβρία ω=0°, ενώ μεταβάλλεται κατά 15°/ώρα. Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+), ενώ, κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

Η τιμή της ωριαίας γωνίας του ήλιου δίνεται από τη σχέση:

$$\omega = +/-\ 0{,}25 * (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι}) \qquad (1.7)$$

1.4.9 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα. Αυτά είναι τα εξής:

- Ο ήλιος είναι ανανεώσιμη και ελεύθερη ενεργειακή πηγή.
- Η απόδοση μετατροπής είναι ικανοποιητική.
- Η κατασκευή των ηλιακών στοιχείων από Si, το οποίο είναι άφθονο και φθηνό υλικό, είναι μια εύκολη διαδικασία.
- Τα κύτταρα είναι αξιόπιστα και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (20–30 έτη).

- Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη, συνεπώς, είναι απαλλαγμένα από κάθε ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης (αρκεί μια επιθεώρηση το εξάμηνο). Σε περίπτωση βλάβης, η αποκατάσταση της λειτουργίας γίνεται εύκολα, χάρη στην σπονδυλωτή μορφή της φωτοβολταϊκής διάταξης.
- Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί μόλυνση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο ή άλλη ενόχληση και δε δημιουργεί απόβλητα ή άλλα παραπροϊόντα.
- Υπάρχει η δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής.
- Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί.
- Τα φωτοβολταϊκα πάνελ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε απομονωμένες περιοχές, σε φάρους στη θάλασσα, ακόμα και σε διαστημικές εφαρμογές.
- Τα κύτταρα που κατασκευάζονται εξετάζονται διαρκώς, με αποτέλεσμα να αναμένεται βελτίωση της απόδοσής τους.
- Τα φωτοβολταικά στοιχεία είναι ιδανικά για την τροφοδότηση με ισχύ μικρών καταναλωτών όπως: φακοί , υπολογιστές τσέπης και κινητά τηλέφωνα.

Εκτός από τα πλεονεκτήματά της, όμως, η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, τα βασικότερα από τα οποία είναι:

- Το κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων είναι υψηλό, αφού δεν υπάρχει ευρεία παραγωγή τους σε εμπορικό επίπεδο.
- Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται αποθήκευση σε μπαταρίες, της ενέργειας που συλλέγεται εξαιτίας της διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων φωτοβολταϊκών επιφανειών, λόγω της μικρής πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (1353 W/m^2).
- Απαιτούνται τεράστιες εκτάσεις για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ.
- Οι εξωτερικές γυάλινες προστατευτικές επιφάνειες είναι ευαίσθητες σε χαμηλές θερμοκρασίες και πολλές φορές σπάζουν, με αποτέλεσμα πιθανή καταστροφή της ηλιακής κυψέλης.
- Τα ηλιακά πάνελ χρειάζονται αλλαγή της κλίσης που είναι τοποθετημένα σε κάθε αλλαγή εποχής (χειμώνα – καλοκαίρι).
- Η εφαρμογή τους δεν είναι τόσο αποδοτική σε περιοχές με χαμηλή ηλιοφάνεια και στις περιπτώσεις αυτές χρειάζονται κύτταρα που στοιχίζουν ακριβά και το κέρδος δεν είναι ανάλογο του κόστους.
- Κάποιες φορές τα ηλιακά πλαίσια χρειάζονται τεχνητό αερισμό, κάτι που σημαίνει αύξηση του κόστους.
  Η επικάθιση σκόνης στους συλλέκτες περιορίζει την απόδοσή τους και κατά συνέπεια απαιτεί συχνό καθαρισμό ειδικά σε περιοχές με σκόνη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^{ο}–ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (συλλέκτες)

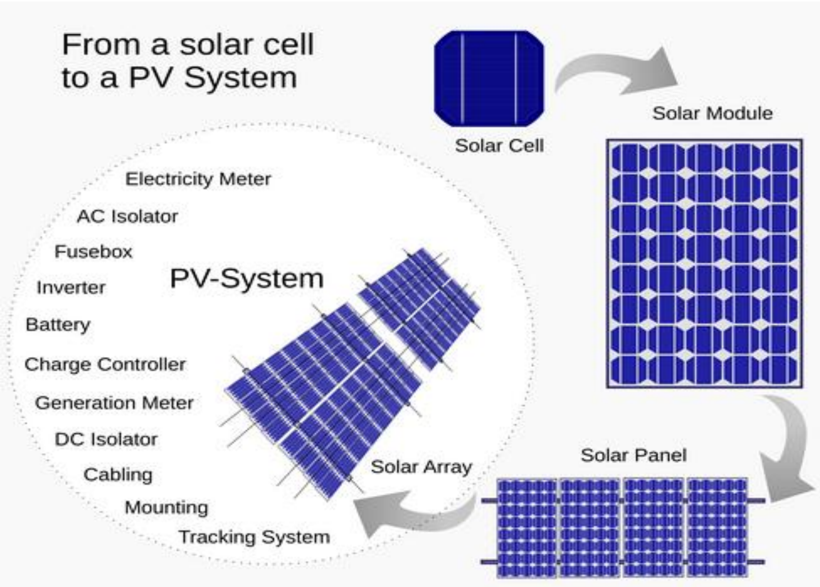
2.1.1 Γενικά

Φωτοβολταϊκά πλαίσια (pv modules), καλούνται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ουσιαστικά, είναι ηλεκτρογεννήτριες που αποτελούνται από πολλά φωτοβολταϊκα στοιχεία, ηλεκτρονικά συνδεδεμένα σε επίπεδη διάταξη.

Φωτοβολταϊκό στοιχείο (pv cell), είναι η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Καλείται, ακόμα, φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.

Το φωτοβολταϊκό πανέλο (pv panel), περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για εγκατάσταση. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία (pv array), είναι μια ομάδα από πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

Στην εικόνα 2.1, απεικονίζονται όλα τα παραπάνω στοιχεία, προκειμένου να καταστεί ξεκάθαρη η διαφοροποίησή τους.



Εικόνα 2.1 Από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στην φωτοβολταϊκη συστοιχία, 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).

2.1.2 Φωτοβολταϊκα στοιχεία πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο, ενώ σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πολύ εύκολα στην φύση, καθώς είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης, αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Ακόμα, το πυρίτιο είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί, εύκολα, να λιώσει και να μορφοποιηθεί, ενώ, είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125 ^oC, κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ).

2.1.2.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου

Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται και διακρίνονται σε: φωτοβολταϊκά στοιχεία «μεγάλου πάχους», φωτοβολταικά υλικά λεπτών επιστρώσεων (thin film) και υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

2.1.2.1.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si).

Έχουν πάχος γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση των πλαισίων μονοκρυσταλλικού πυριτίου στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18%, όμως στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταικά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Μειονεκτούν, όμως έναντι των πολυκρυσταλλικών, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους.

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si).

Έχουν, επίσης, πάχος περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως χαμηλότερη. Οπτικά, μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση των πλαισίων. Παρόλο που σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%, τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια που διατίθενται στο εμπόριο έχουν αποδόσεις από 13 έως και 15%.

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon).

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων, η οποία προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις «παραδοσιακές τεχνικές» κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών. Η απόδοσή τους έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13%, ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%. Το πάχος τους είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.

2.1.2.1.2 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων (thin film)

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός ($CuInSe_2$ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS).

Ο δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως, αλλά παρόλα αυτά, η απόδοσή των πλαισίων με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8%, η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου, η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο βρίσκεται σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση.

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si).

Τα στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι, και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται, η τιμή τους είναι, γενικότερα, αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο, προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Η απόδοσή των πλαισίων κυμαίνεται από 6 έως 8%, ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si, είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσής του σε σχέση με τα κρυσταλλικά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια, χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταικά στοιχεία. Επίσης, υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά στην διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων, μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά, οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά, ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe).

Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV (πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα), κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα, όπως, την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας, σε αυτό, ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές, όμως, μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η αντίστοιχη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φθάσει το 16%. Τροχοπέδη για την χρήση του, αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο, σύμφωνα με κάποιες έρευνες, είναι καρκινογόνο, με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης, προβληματίζει ή έλλειψη του τελλουρίου.

4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων, όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το αρσενικό δεν είναι σπάνιο, άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του, στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction), είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που επιβάλλει, σχεδόν, την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Γι αυτό, αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσής τους, ενδείκνυνται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

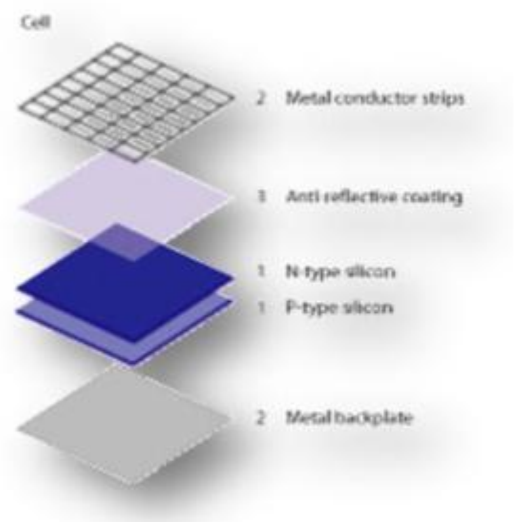
2.1.2.1.3 Υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

➢ HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα ποιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω), ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου, ο οποίος φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2%, που σημαίνει ότι για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ απαιτείται μικρότερη επιφάνεια. Τα αντίστοιχα εργαστηριακά φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής, είναι η υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και στη διαχεόμενη ακτινοβολία. Το μειονέκτημα του υβριδικού φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι το μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

2.1.3 Τα βασικά μέρη ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πλαισίου



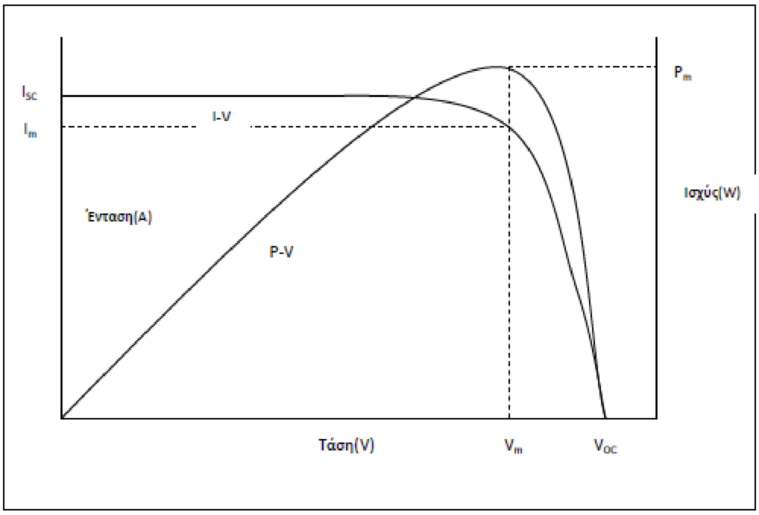
Εικόνα 2.2 Βασικά μέρη φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από:

• Υλικό EVA για την ενθυλάκωση των στοιχείων
• Το ειδικό γυαλί στο εμπρόσθιο μέρος
• Το ειδικό φύλλο προστασίας στο πίσω μέρος (συνήθως TPT Tedlar)
• Το πλαίσιο αλουμινίου
• Το κουτί σύνδεσης

2.1.4 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V και P-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, διαφέρει σημαντικά από τις περισσότερες ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν σταθερή περίπου την τάση τους στην περιοχή κανονικής λειτουργίας. Η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που παρέχουν στο κύκλωμα, ακόμα και εάν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή. Η καμπύλη I-V απεικονίζει τη μεταβολή της τάσης, V, σε συνάρτηση με την ένταση, I, ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται μια τυπική καμπύλη I-V για ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου, καθώς και η αντίστοιχη καμπύλη P-V που προκύπτει (όπου P είναι η ισχύς που αποδίδεται). Σε κατάσταση βραχυκύκλωσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστή τιμή της, I_{sc}, ενώ η τάση μηδενίζεται. Σε κατάσταση ανοιχτοκύκλωσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται, αλλά η τάση παίρνει τη μέγιστή τιμή της, V_{oc}. Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και στην ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση η ισχύς P 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 φωτοβολταϊκού στοιχείου, στο οποίο η αποδιδόμενη ισχύς P μεγιστοποιείται. Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς συμβολίζεται με P_m και αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης, V_m και έντασης, I_m, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην εικόνα 2.3. Είναι πολύ σημαντικό, η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος να βρίσκεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point–MPP), P_m, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοσή του.



Εικόνα 2.3 Τυπική καμπύλη I-V για ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που ελέγχονται σε ένα εργαστηριακά παρασκευασμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο, καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό προϊόν, είναι:

- η ενεργειακή απόδοση, η,
- ο παράγων πλήρωσης, FF,
- το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} και
- η τάση ανοιχτού κυκλώματος, V_{oc}

σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας του στοιχείου.

Για τον έλεγχο της αποδοτικότητας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, απαιτείται η γνώση των παραπάνω μεγεθών κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, που να αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκαν διεθνώς οι ακόλουθες πρότυπες συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ή πλαισίου (Standard Test Conditions, STC), οι οποίες είναι :

- ✓ Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δέσμης παραλλήλων ακτινών (beam), πυκνότητας ισχύος E_{STC}=1kW/m^2 και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με ΑΜ1,5.
- ✓ Κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας στην όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου.
- ✓ Θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου: $\theta_{STC}=25^oC \pm 2^oC$

Μπορούμε, τώρα, να εισάγουμε την έννοια της ισχύος αιχμής, P_p (Peak Power), ως χαρακτηριστικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου, που ορίζεται ως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που μπορεί αυτό να αποδώσει, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου.

Ακόμα, σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αναγράφεται η θερμοκρασία που αποκτά, ευρισκόμενο σε καθορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες που ανταποκρίνονται σε μια μέση πραγματική κατάσταση. Χαρακτηρίζεται ως ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας φωτοβολταϊκής κυψελίδας (Nominal Operating Cell Temperature, NOCT), και προσδιορίζεται κάτω από τις επόμενες συνθήκες:

- ✓ Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο βρίσκεται σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος.
- ✓ Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ίση με 800 W/m^2 .
- ✓ Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα $\theta_\alpha=20^oC$.
- ✓ Μέση ταχύτητα ανέμου ίση με 1 m/s.

Χαμηλή ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας φωτοβολταϊκής κυψελίδας, αποτελεί ένδειξη ταχύτερης αποβολής προς το περιβάλλον του μέρους εκείνου της ηλιακής ακτινοβολίας που συμβάλει ουσιαστικά στην αύξηση της θερμοκρασίας του. Συνεπώς, όσο μικρότερη η τιμή της για ένα πλαίσιο, τόσο μικρότερη η μείωση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος σε σχέση με άλλο, ίδιας ισχύος αιχμής, του οποίου όμως, η θερμοκρασία NOCT είναι μεγαλύτερη.

Η πραγματική αποδοτικότητα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης υπολογίζεται μέσω του ετήσιου συντελεστή χρησιμοποίησης (ΣΧ), που ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση σε ένα χρόνο, προς την ενέργεια που θα παρήγαγε θεωρητικά, εάν λειτουργούσε στην ισχύ αιχμής για όλες τις ώρες του έτους. Ο συντελεστής χρησιμοποίησης είναι αδιάστατος αριθμός και εξαρτάται από το ηλιακό δυναμικό της τοποθεσίας και από τον τύπο και τρόπο στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

2.1.5 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών συλλεκτών

Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, τα πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα.

Τα πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους και κάθε κλάδος αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεμένα σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση, ενώ η παράλληλη σύνδεση το ολικό ρεύμα.

Τα πλαίσια σε μια συστοιχία συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση μέσα στα επιτρεπτά όρια (600V). Προκειμένου να προσαρμοστεί η τάση της συστοιχίας στην τάση του δικτύου, απαιτούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις που ονομάζονται μετατροπείς (inverters).

Ένα συνεργαζόμενο σύνολο συστοιχιών αποτελεί ένα φωτοβολταϊκό συγκρότημα ή φωτοβολταϊκό πάρκο, το οποίο, μαζί με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, τον έλεγχο της φόρτισης των συσσωρευτών (αν υπάρχουν), για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος επαρκούς για την τροφοδοσία οικίας, οικισμών ή χωριών, αποτελούν το φωτοβολταϊκό σταθμό (PV station).

2.1.6 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Σημαντικό ρόλο, στην αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας από ένα συλλέκτη, παίζει ο προσανατολισμός του ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου.

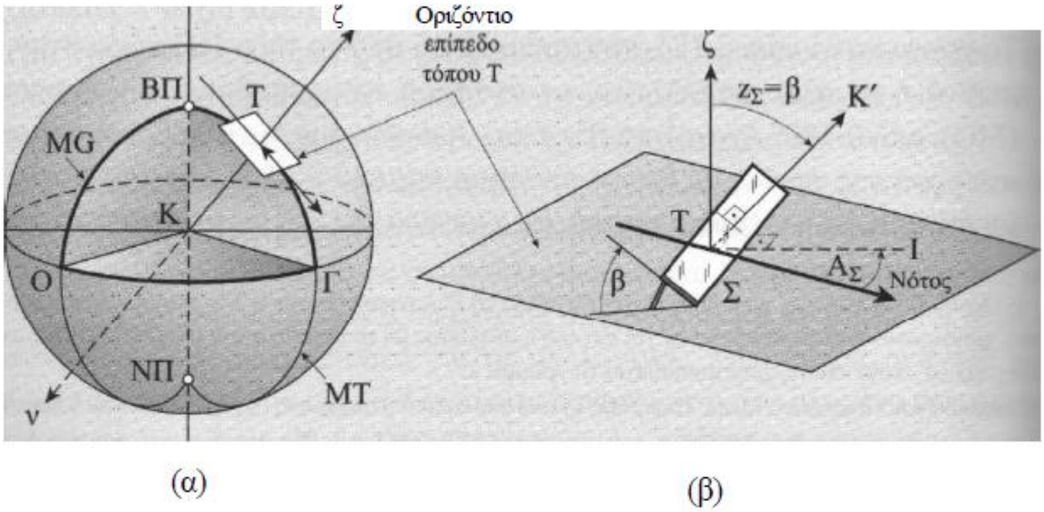
2.1.6.1 Στοιχεία προσδιορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη

Κάθε τόπος, πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του:

- Το γεωγραφικό μήκος, (L), που καθορίζεται από το τόξο, πάνω στον Ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich (MG). Οι τιμές που λαμβάνει είναι από 0-180^o ανατολικά (σε αλγεβρική μορφή με θετικό πρόσημο) και από 0-180^o δυτικά (σε αλγεβρική μορφή με αρνητικό πρόσημο).
- Το γεωγραφικό πλάτος, (φ), που καθορίζεται από το τόξο πάνω στον μεσημβρινό του τόπου ΜΤ, με αναφορά τον Ισημερινό. Οι τιμές που λαμβάνει είναι 0-90^o βόρεια (σε αλγεβρική μορφή με θετικό πρόσημο) και 0-90^o νότια (σε αλγεβρική μορφή με αρνητικό πρόσημο).

Στην εικόνα 2.4(β), παρουσιάζεται ένας επίπεδος συλλέκτης Σ, τοποθετημένος, έτσι ώστε το επίπεδο του να σχηματίζει γωνία β ως προς τον ορίζοντα. Η γωνία κλίσης του συλλέκτη β ισούται με τη ζενιθία γωνία $z_Σ$ της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη (ΤΚ'), η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 0^o (ζενίθ) έως 180^o (ναδίρ).

Η γωνία $Α_{Σ,}$ μεταξύ της κατακόρυφης προβολής ΤΙ, της καθέτου στο συλλέκτη ΤΚ', πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, με τη διεύθυνση του νότου ονομάζεται αζιμούθιο ή αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη και παίρνει τιμές από +180^o μέχρι -180^o, με τις ακόλουθες χαρακτηριστικές τιμές: +180^o (βορράς), +90^o (ανατολή), 0^o (νότος), -90^o (δύση) και -180^o (βορράς). Όταν ο συλλέκτης στραφεί ώστε οι ακτίνες του ήλιου (απευθείας ακτινοβολία), να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνειά του, τότε το ύψος του ήλιου EL και η γωνία κλίσης β, του συλλέκτη δίδουν άθροισμα 90^o.

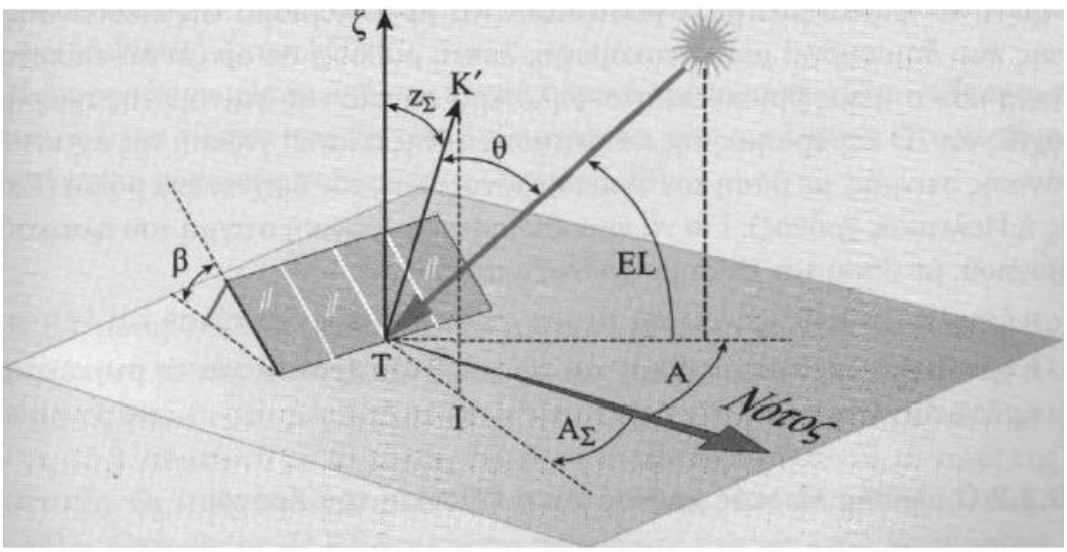


Εικόνα 2.4 (α) Ο τόπος Τ, πάνω στην επιφάνεια της γης,
(β) $A_Σ$ και β, αζιμούθιο και γωνία κλίσης του συλλέκτη Σ.

Η στροφή του συλλέκτη, ώστε αυτός να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τον ήλιο, γίνεται με μηχανισμούς οι οποίοι οδηγούνται από κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις, με βάση τις εξισώσεις κίνησης του ηλίου στην ουράνια σφαίρα. Η γωνία θ, που σχηματίζουν μια δεδομένη χρονική στιγμή οι ηλιακές ακτίνες (απευθείας ακτινοβολία), με την κάθετη σ' ένα επίπεδο συλλέκτη (εικόνα 2.5), γωνίας κλίσης β και αζιμουθιακής γωνίας $A_Σ$, δίδεται από τη σχέση:

$$συνθ = συνEL*ημβ*συν(A-A_Σ) + ημEL*συνβ \qquad (2.1)$$

όπου:
Α: η αζιμούθια γωνία και
EL: το ύψος του ηλίου την ίδια χρονική στιγμή.



Εικόνα 2.5 Η γωνία θ, η γωνία κλίσης β, η αζιμουθιακή γωνία $A_Σ$ και το ύψος του ηλίου EL.

2.1.6.2 Προσανατολισμός συλλέκτη ως προς τον αληθή νότο

Βασικά στοιχεία καθορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη, είναι η γωνία κλίσης και το αζιμούθιό του, μετρούμενο ως προς την κατεύθυνση του νότου. Η κατεύθυνση αυτή χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη τιμή της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας.

Ο προσδιορισμός της αληθούς διεύθυνσης βορρά-νότου μπορεί να γίνει είτε με τη βοήθεια σχετικών οργάνων, όπως είναι η μαγνητική και η γυροσκοπική πυξίδα, είτε με προσδιορισμό της χρονικής στιγμής του ηλιακού μεσημεριού, με τη μέθοδο που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Η χρησιμοποίηση της πυξίδας προϋποθέτει τη γνώση της μαγνητικής απόκλισης για τον δεδομένο τόπο, με βάση στοιχεία από σχετικούς πίνακες ή χάρτες. Για τον ακριβή προσδιορισμό των γωνιών χρησιμοποιούνται γωνιομετρικά όργανα ακριβείας, όπως ο θεοδόλιχος ή το ταχύμετρο, σε συνδυασμό με την πυξίδα.

Η μέθοδος προσδιορισμού της κατεύθυνσης του αληθούς νότου σ’ ένα τόπο με βάση το ηλιακό μεσημέρι, βασίζεται στον προσδιορισμό της διεύθυνσης της σκιάς που δημιουργεί μια κατακόρυφη, λεπτή ράβδος, σε οριζόντιο επίπεδο, τη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο της φαινόμενης ημερήσιας τροχιάς του. Ο καθορισμός της κατάστασης αυτής απαιτεί γνώση, της αντίστοιχης χρονικής στιγμής, με βάση τον τοπικό χρόνο, όπως τον δείχνει ένα ρολόι (επίσημος ή πολιτικός χρόνος). Για να προσδιοριστεί η χρονική στιγμή του ηλιακού μεσημεριού, με βάση τον επίσημο χρόνο, απαιτούνται:

- Η ζώνη πολιτικού χρόνου και το γεωγραφικό μήκος του τόπου,
- Η χρονική διόρθωση με βάση την εξίσωση του χρόνου, για τη συγκεκριμένη ημέρα του έτους.

2.1.7 Απόσταση μεταξύ διαδοχικών συστοιχιών φωτοβολταϊκού συγκροτήματος (οριζόντιο επίπεδο)

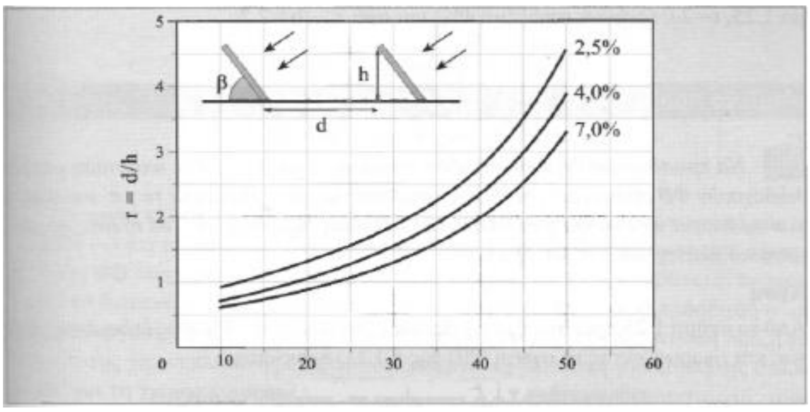
Προκειμένου να τοποθετηθούν οι συστοιχίες ενός φωτοβολταϊκού πάρκου η μία πίσω από την άλλη, λαμβάνεται υπόψη κατά κύριο λόγο τη σκίαση που θα προκαλέσει η νοτιότερη στην αμέσως επόμενη , αν η απόσταση μεταξύ τους γίνει μικρότερη μιας χαρακτηριστικής. Η σκίαση μέρους της χαμηλότερης σειράς πλαισίων της συστοιχίας μηδενίζει την ενεργειακή της απόδοση, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν δίοδοι παράκαμψης σε κάθε πλαίσιο. Άρα απαιτείται ο προσεκτικός σχεδιασμός της χωροθέτησης των συστοιχιών, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το φωτοβολταϊκό συγκρότημα για όλο το έτος, ενώ, ταυτόχρονα, το σύνολο των συστοιχιών να καταλαμβάνει την κατά το δυνατόν μικρότερη έκταση.

Για να προσδιοριστεί, κατά γενικό τρόπο, η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών, διερευνάται στη συνέχεια, ποια είναι η κατάλληλη τιμή της απόστασης αυτής ώστε παρότι κάποιο χρονικό διάστημα η πίσω συστοιχία σκιάζεται από την αμέσως νοτιότερη, το ποσοστό μείωσης της ημερήσιας ενεργειακής απολαβής της ηλιακής ακτινοβολίας ή της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ημερησίως να μην ξεπερνάει μια δεδομένη τιμή, π.χ. 5%-10%. Η τοποθέτηση των διαδοχικών συστοιχιών σε απόσταση, τη μια με την άλλη, ίση με το μήκος της μακρύτερης μεσημεριανής σκιάς μέσα στο έτος (22 Δεκεμβρίου) δεν είναι η ενδεδειγμένη. Η λύση αυτή είναι ενεργειακά ασύμφορη, διότι, πριν και μετά το μεσημέρι αυτό και για πολλές μέρες πριν και μετά τη μέρα αυτή, η σκιά μιας συστοιχίας καλύπτει μέρος της επόμενης, περιορίζοντας σημαντικά την αποδοτικότητά της (οριζόντια επιφάνεια).

Μετά το θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου), το ύψος του ήλιου μειώνεται και άρα στις ίδιες ώρες, κάθε επόμενη μέρα, το μήκος της σκιάς πίσω από αντικείμενα είναι μεγαλύτερο. Αν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε κάθε πανέλο συστοιχίας είναι συνδεμένα σε σειρά, η σκίαση του χαμηλότερου από αυτά από τις νοτιότερες συστοιχίες κατά τις πρώτες πρωινές ώρες και τις τελευταίες απογεματινές ώρες της ημέρας, κατά το χειμώνα, προκαλεί διακοπή της λειτουργίας όλου του πανέλου και πιθανόν όλης της συστοιχίας.

Προκειμένου να περιοριστεί το αποτέλεσμα αυτό, συνδέεται σε καθένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο της συστοιχίας μια δίοδος παράκαμψης, η οποία, συνήθως περιλαμβάνεται στο ηλεκτρολογικό κιβώτιο του πλαισίου. Με αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιείται το ετήσιο ποσοστό μείωσης της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Γενικά, η παρουσία εμποδίων κοντά στο χώρο εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων μειώνει την αποδοτικότητά τους, εξαιτίας της σκίασης που προκαλούν. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι λεπτομέρειες της χωροθέτησης διαδοχικών συστοιχιών, οι οποίες θεωρούνται απείρου μήκους, εξετάζεται το αποτέλεσμα της σκίασης μιας συστοιχίας από την αμέσως νοτιότερή της. Το αποτέλεσμα της σκίασης συναρτάται με το λόγο r=d/h, της απόστασης d μεταξύ των συστοιχιών, ως προς το ύψος τους h. Με βάση αναλυτικό μαθηματικό μοντέλο, προσδιορίζεται για αίθριες μέρες και για όλο το έτος, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς από διαδοχικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, τοποθετημένα επί της κεκλιμένης συστοιχίας, κατά τη διεύθυνση βορρά-νότου. Όπως είναι αναμενόμενο, το αποτέλεσμα της σκίασης είναι εντονότερο στο χαμηλότερο πλαίσιο και μειώνεται προς το πιο ψηλά τοποθετημένο. Διερευνάται η εξάρτηση του λόγου r από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, υπό δεδομένη μέγιστη απώλεια λόγω σκίασης, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο. Τέλος, υπολογίζεται η αντίστοιχη με το λόγο r, μέση ετησίως ποσοστιαία ενεργειακή απώλεια. Όπως προκύπτει από τη μελέτη αυτή, αυξανόμενου του γεωγραφικού πλάτους φ, ο λόγος r αυξάνει έντονα, και συνακόλουθα, μειώνεται και το πλήθος των συστοιχιών που μπορούν να τοποθετηθούν ανά μονάδα μήκους, κατά τη διεύθυνση βορρά-νότου στον αντίστοιχο τόπο. Το διάγραμμα που ακολουθεί δίνει τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε, για κάθε τόπο, τον κατάλληλο λόγο r, με βάση το μέσο ετήσιο ποσοστό ενεργειακών απωλειών λόγω σκίασης, που λαμβάνεται υπόψη στα πλαίσια της μελέτης διαστασιολόγησης του συστήματος.



Εικόνα 2.6 Γραφική παράσταση του λόγου r σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Με καθορισμένο το λόγο r για το συγκεκριμένο τόπο, η οριζόντια απόσταση $s_{οε}$ (οριζόντιο έδαφος) που αποτελεί την επαναλαμβανόμενη απόσταση τοποθέτησης των συστοιχιών απείρου μήκους δίνεται:

$$s_{οε} = d + b*συνβ \qquad (2.2) \quad ή$$

$$s_{οε} = r*h + b*συνβ \qquad (2.3) \quad ή$$

$$s_{οε}/b = r*ημβ + συνβ \qquad (2.4)$$

όπου:
d: το διάκενο μεταξύ των συστοιχιών,
b: το πλάτος της συστοιχίας και
β: η γωνία κλίσης της.

2.1.8 Τρόποι στήριξης ηλιακών συλλεκτών (βάσεις)

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών:

- Σταθερής στήριξης.
- Εποχικά ρυθμιζόμενης στήριξης.
- Συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο (tracker).

2.1.8.1 Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης

Κατά τη στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, λόγω της απουσίας κινητών μερών, προσδίδεται στη διάταξη επαρκής μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται, επίσης, ενσωματωμένες σε κτίρια.

Η πιο απλή περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ’ όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγεται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για τη συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Όταν η γωνία κλίσης ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος, φ, του τόπου, οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δυο φορές το χρόνο. Το μέγιστο ύψος του ήλιου, που συμβαίνει το ηλιακό μεσημέρι, ELM, μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{ελ}=(90^o-φ)-23{,}5^o$ (22 Δεκεμβρίου), μέχρι την μέγιστη $ELM_{μεγ}=(90^o-φ)+23{,}5^o$ (21 Ιουνίου) και στη συνέχεια ελαττώνεται επανερχόμενο στη τιμή της $22^{ας}$ Δεκεμβρίου. Αντίστοιχα, η γωνία των ακτινών του ήλιου κατά τη μεσουράνησή του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από -23,5^o έως +23,5^o.

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, της απευθείας, της διάχυτης και της ανακλαστικότητας του εδάφους (albedo). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, επιβάλλεται να καταγραφούν στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς, σε διάφορες γωνίες κλίσης. 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 στον συλλέκτη, για κάθε γωνία κλίσης, απ' όπου προκύπτει, προσεγγιστικά, η βέλτιστη γωνία κλίσης του, για τη συγκεκριμένη περιοχή.

Αν δεν διατίθενται μετεωρολογικά δεδομένα για τον τόπο εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος, ο οποίος έστω ότι δεν σκιάζεται από εμπόδια κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ιδανικότερο είναι να επιλέξουμε γωνία κλίσης συλλέκτη ίση με $\beta = \varphi - (5^o \div 10^o)$. Πιθανότατα, θα προσεγγίζει τη θέση καλύτερης δυνατής εκμετάλλευσης της ημερήσιας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως.

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 προσανατολίζεται έτσι ώστε να προκύπτει η βέλτιστη απόδοση. Κατά τη σύνταξη της σχετικής μελέτης, λαμβάνεται υπόψη, αφενός το τμήμα του ουρανού που αποκόπτεται από τα εμπόδια, αφετέρου το μικροκλίμα της περιοχής.

2.1.8.2 Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης του συλλέκτη

Οι τυπικές θέσεις του συλλέκτη είναι δύο:

- Μια για το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου), με κλίση:

$$\beta_\theta = \varphi - (10^o \div 15^o) \tag{2.5}$$ και

- μια για το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου), με κλίση:

$$\beta_\chi = \varphi + (10^o \div 15^o). \tag{2.6}$$

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 ανακλαστικότητά του (albedo).

2.1.8.3 Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από ένα ή δύο άξονες

2.1.8.3.1 Στροφή γύρω από ένα άξονα

Στην περίπτωση αυτή, η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από ένα άξονα και στο τέλος της ημέρας, ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής, συνήθως στο νοτιά. Το πρωί, με την ανατολή του ηλίου, στρέφεται, έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας. Διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

α) Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο: 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.

β) Ηλιοτρόπιο πολικού άξονα: Η συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω από άξονα χχ’, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Κατά τη διάρκεια του έτους, η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της κάθετης στο συλλέκτη κυμαίνεται στο διάστημα -23,5^o έως +23,5^o.

γ) 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^o-10^o, με το χαμηλότερο σημείο προς το νότο.

Η περιστροφή του συλλέκτη μπορεί να βασίζεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, με ή χωρίς τη χρήση ηλεκτρικών κινητήρων. Στην πρώτη περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπτικό σύστημα ανίχνευσης της θέσης του ήλιου, το οποίο όμως απαιτεί πρόσθετο έλεγχο και οδήγηση, προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία του. Στη δεύτερη περίπτωση, η κίνηση προκύπτει ως τροποποίηση της ισορροπίας πνευματικού συστήματος, εξαιτίας διαφορικής θέρμανσής του από τον ήλιο. Το σύστημα ενισχύεται από αποσβεστήρες δονήσεων προκειμένου να αντιμετωπίζεται η δράση ισχυρού ανέμου.

2.1.8.3.2 Στροφή γύρω από δυο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο άξονες, επιτυγχάνεται μέσω δύο διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη με ηλεκτρικούς κινητήρες, είτε βηματικής 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.

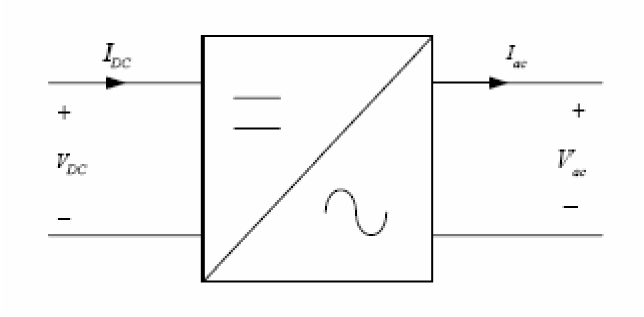
Η διάταξη που περιγράψαμε, ονομάζεται ηλιοτρόπιο (tracker) δύο αξόνων και χαρακτηρίζεται από την ιδιότητα ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνειά του. Η διάταξη, με τη δύση του ήλιου επιστρέφει σε θέση αναφοράς που χαρακτηρίζεται 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 ακτινών, χωρίς αυτό να είναι εξαιρετικά κρίσιμο. Μια γωνία 10^{o}, μεταξύ των ακτινών και της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη, προκαλεί μείωση περίπου 1,5% στην πυκνότητα ισχύος της απευθείας συνιστώσας της ακτινοβολίας, στο επίπεδο του συλλέκτη. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κίνησης της διάταξης προέρχεται από την παραγόμενη από τη συστοιχία, ηλεκτρική ενέργεια.

Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ήλιου, δύο αξόνων, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κναιατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της, καθώς και ο κίνδυνος καταστροφής, εξαιτίας ισχυρών ανέμων. Για το λόγο 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.

2.2 Αντιστροφείς (Inverters)

2.2.1 Γενικά

Το βασικό στοιχείο κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ο φωτοβολταϊκός αντιστροφέας (inverter), το σύμβολο του οποίου φαίνεται στην εικόνα 2.7, ενώ στην εικόνα 2.8 παρουσιάζεται η μορφή των αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται τόσο σε αυτόνομα, όσο και σε διασυνδεδεμένα με το δίκτυο, φωτοβολταϊκά συστήματα. Πρόκειται για μια ηλεκτρονική συσκευή με κύρια λειτουργία τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (Direct Current-DC), που παράγεται από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, σε εναλλασσόμενο ρεύμα (Alternative Current-AC), που παρέχει ισχύ στο δίκτυο. Οι αντιστροφείς μπορεί να είναι μικροί (string inverters) ή κεντρικοί, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Στην τεχνολογία στοιχειοσειρών (string), η φωτοβολταϊκή γεννήτρια χωρίζεται σε επιμέρους επιφάνειες μονάδας και σε κάθε μία από τις επιμέρους "στοιχειοσειρές" αντιστοιχίζεται ένας ξεχωριστός μετατροπέας. Έτσι, μειώνονται τα έξοδα του συστήματος, η εγκατάσταση απλοποιείται σημαντικά και αυξάνεται η ενεργειακή απόδοσή της. Οι κεντρικοί μετατροπείς ενδείκνυνται, ιδιαίτερα, για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με ομοιογενή δομή (πλαίσια του ίδιου τύπου με ταυτόσημο προσανατολισμό και κλίση). Χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις άνω των 100 kW_p και έχουν σχεδιαστεί για εξωτερική χρήση.



Εικόνα 2.7 Σύμβολο αντιστροφέα.

Εικόνα 2.8 Αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται σε αυτόνομα και σε διασυνδεδεμένα με φωτοβολταϊκά συστήματα.

Μέσα στην συσκευασία του αντιστροφέα, μπορεί να περιέχεται και μετασχηματιστής, ο οποίος στόχο έχει την προσαρμογή της τάσης στα επίπεδα του εναλλασσομένου ρεύματος που επιθυμούμε, π.χ. 400V. Επιπλέον, είναι δυνατόν να περιλαμβάνεται διάταξη ανίχνευσης της μέγιστης παραγωγής από την πηγή (Maximum Power Point Tracker (MPPT).

Βασικά χαρακτηριστικά των αντιστροφέων 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 (τυπική τιμή: IP65). Κατά την τοποθέτηση τους, είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται ο επαρκής αερισμός τους. Συγκεκριμένα, γύρω από τη συσκευή πρέπει να υπάρχουν αποστάσεις 300mm–500mm και, αν απαιτείται, χρήση τεχνητού εξαερισμού.

Στις μέρες μας, η συμβολή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλή, όμως λόγω των συνεχώς μειούμενων τιμών των φωτοβολταϊκών συστημάτων η τεχνολογία αυτή κερδίζει έδαφος, καθιστώντας τη φωτοβολταϊκή βιομηχανία όλο και πιο επικρατή και αναπτυσσόμενη. Προκειμένου η φωτοβολταϊκή τεχνολογία να καθιερωθεί και να αποτελέσει σημαντική πηγή ενέργειας στο μέλλον, είναι πολύ σημαντικό να επιτευχθεί μείωση του κόστους δημιουργίας των συστημάτων και παράλληλη αύξηση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας τους. Γνωρίζοντας ότι το κόστος των αντιστροφέων αποτελεί περίπου το 15-25% του συνολικού κόστους ενός συστήματος και ότι η λειτουργία τους είναι ένας πολύ σημαντικός γνώμονας για την αξιοπιστία του, είναι προφανές ότι οποιεσδήποτε βελτιώσεις στα χαρακτηριστικά τους, αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την εξέλιξη και το μέλλον των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

2.2.2 Κατηγορίες αντιστροφέων

Οι αντιστροφείς διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με τον αριθμό φάσεων που εμπλέκουν αλλά και τον τύπο διαμόρφωσης της συνεχούς τάσης προς την εναλλασσόμενη. Οι τετραγωνικού παλμού είναι οι πιο απλοί αλλά η έξοδός τους έχει πολλές αρμονικές, επιβλαβείς για τις συσκευές. Έτσι, χρησιμοποιούνται σε πολύ απλές κατασκευές, για μικρή ισχύ και για φορτία όπως οι λαμπτήρες πυράκτωσης ή κάποιο μικρό θερμικό φορτίο κλπ. Ανάλογα με τον αριθμό φάσεων, οι αντιστροφείς διακρίνονται σε μόνοφασικούς ή τριφασικούς.

2.2.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αντιστροφέων

Θα αναφερθούμε σε ορισμένα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός αντιστροφέα που κρίνονται απαραίτητα, κυρίως, για τη διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος και την εκτίμηση της απόδοσής του.

2.2.3.1 Πλευρά εισόδου του αντιστροφέα (input side)

Πρόκειται για την πλευρά του αντιστροφέα που συνδέεται με την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, η οποία παρέχει ισχύ υπό DC τάση και ρεύμα. Έτσι λοιπόν, τα μεγέθη που θα παραθέσουμε σε αυτήν την ενότητα αναφέρονται στην DC πλευρά της συσκευής, δηλαδή σε συνεχές ρεύμα και τάση.

2.2.3.2 Κατάσταση λειτουργίας

Ο αντιστροφέας έχει ενσωματωμένες στην είσοδό του ηλεκτρονικές διατάξεις που επεξεργάζονται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ώστε για κάθε χρονική στιγμή να απορροφάται η μέγιστη ισχύς της. Η παραγωγή και κατά συνέπεια η απορρόφηση μέγιστης ισχύος, όπως είδαμε, αντιστοιχεί στο MPP (Maximum Power Point) 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 αντιστροφέα, επομένως, λαμβάνεται να αντιστοιχεί πάντα στο MPP.

2.2.3.3 Ελάχιστη και μέγιστη MPP τάση

Οι δύο αυτές χαρακτηριστικές τιμές της τάσης ορίζουν ένα «παράθυρο τάσης», με άνω και κάτω όριο, μέσα στο οποίο ο αντιστροφέας δύναται να αναζητήσει το MPP. Όταν καθορίζουμε την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, αυτή θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στο «παράθυρο τάσης» του μετατροπέα.

Το MPP όπως είδαμε καθορίζεται από το ρεύμα I_{MPP} και την τάση V_{MPP}. Τα μεγέθη αυτά παρέχονται από τους κατασκευαστές των πλαισίων, αλλά αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, όπου η θερμοκρασία λειτουργίας των κυττάρων λαμβάνεται 25 ^oC. Στις πραγματικές συνθήκες όμως, η θερμοκρασία λειτουργίας είναι συνήθως αρκετά μεγαλύτερη και το MPP μετατοπίζεται. Έτσι μια καλή προσέγγιση για τον υπολογισμό του MPP της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ώστε να εξεταστεί αν αυτό βρίσκεται μέσα στο παράθυρο τάσης του αντιστροφέα, είναι να λαμβάνεται η θερμοκρασία λειτουργίας τουλάχιστον 50 ^oC με 60 ^oC.

2.2.3.4 Μέγιστη τάση λειτουργίας

Είναι η απόλυτη μέγιστη DC τάση, κάτω από οποιεσδήποτε 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 εξετάζεται εάν η V_{oc} της συστοιχίας είναι μικρότερη από το συγκεκριμένο όριο τάσης.

2.2.3.5 Κατώφλι ισχύος (power threshold)

Είναι η ελάχιστη ισχύς εισόδου που χρειάζεται ο αντιστροφέας για να λειτουργήσει. Μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι η ισχύς που καταναλώνει ο ίδιος για τη λειτουργία του.

2.2.3.6 Μέγιστο φωτοβολταϊκό ρεύμα (I_{PVmax})

Είναι το απόλυτο μέγιστο αποδεκτό ρεύμα στην είσοδο του αντιστροφέα. Για τη διαστασιολόγηση του συστήματος υπάρχει η απαίτηση το I_{MPP} της συστοιχίας να είναι μικρότερο από την παραπάνω τιμή.

2.2.3.7 Πλευρά εξόδου του αντιστροφέα (output side)

Είναι η πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο ή εν γένει στο φορτίο που τροφοδοτεί. Προφανώς στην πλευρά εξόδου έχουμε AC τάση και ρεύμα. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη, επομένως, που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα αναφέρονται στην AC πλευρά του μετατροπέα.

2.2.3.8 Ονομαστική ισχύς

Η ονομαστική ισχύς είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μεγέθη ενός αντιστροφέα και ορίζεται ως η ισχύς που μπορεί αυτός να παρέχει διαρκώς στο δίκτυο.

2.2.3.9 Ονομαστική AC τάση

Είναι η τάση υπό την οποία παρέχει την ονομαστική ισχύ στην έξοδό του. Εξαρτάται από την τάση του δικτύου για την οποία ο αντιστροφέας έχει σχεδιαστεί.

2.2.3.10 Ονομαστικό AC ρεύμα

Είναι το ρεύμα που δίνει στην έξοδό του ο αντιστροφέας, για ονομαστική ισχύ.

2.2.3.11 Μονοφασική ή τριφασική σύνδεση

Αναφέρεται στον τρόπο σύνδεσης του μετατροπέα στην έξοδο του. Συνήθως έχουμε μονοφασική σύνδεση για μετατροπείς μικρότερους των 3 kW, ενώ τριφασική σύνδεση για μεγαλύτερους μετατροπείς.

2.2.3.12 Λόγος ισχύος αντιστροφέα–φωτοβολταϊκού πάρκου (ΛΙ)

Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εισόδου του αντιστροφέα προς την ονομαστική ισχύ του φωτοβολταϊκού. Για εγκαταστάσεις με βέλτιστη κλίση, το εύρος του ΛΙ είναι συνήθως 95%-115% (οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε συστήματα με trackers).

2.2.3.13 Απόδοση του αντιστροφέα

Είναι ο λόγος της ισχύος στην έξοδο του αντιστροφέα (AC) προς την ισχύ στην είσοδό του (DC). Γενικά, οι αντιστροφείς χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση (93%-98%), η οποία, όμως, εξαρτάται από την στιγμιαία ισχύ. ενώ, υπάρχει η απαίτηση, ένας αντιστροφέας να έχει μεγάλη απόδοση ακόμα και για χαμηλή ισχύ λειτουργίας. Σημειώνεται ότι, οι κατασκευαστές δίνουν την «ευρωπαϊκή απόδοση», η οποία περιγράφει την απόδοση της συσκευής για τη μέση παραγωγή ισχύος σε συνθήκες λειτουργίας ενός έτους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο}-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Η ευρεία χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη εργαλείων για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της παραγόμενης, από αυτά, ενέργειας και μοντέλα βασισμένα στην παραμετρική ανάλυση έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για το σκοπό αυτό, κυρίως λόγω της απλότητάς τους.

Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας των χαρακτηριστικών που μπορεί να έχουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, της αύξησης των συστοιχιών που αντιμετωπίζουν προβλήματα σκίασης και των διάφορων τρόπων εγκατάστασης, μια λεπτομερής και ολοκληρωμένη ανάλυση των παραμέτρων σχεδιασμού που υπεισέρχονται στην ανάλυση, είναι απαραίτητη. Ως εκ τούτου, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων (λογισμικών), που είναι σε θέση να προσδιορίσουν τα πιθανά χαρακτηριστικά της παραγόμενης ενέργειας και της λειτουργικής συμπεριφοράς των φωτοβολταϊκών συστημάτων υπό αυτές τις περίπλοκες συνθήκες.

Τα λογισμικά στον τομέα των φωτοβολταϊκών μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε σαν εργαλεία σχεδιασμού, είτε σαν εργαλεία παρακολούθησης. Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει παρουσίαση των λογισμικών που υπάρχουν διαθέσιμα αυτή τη στιγμή για το σχεδιασμό και τη μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και ανάλυση και αξιολόγηση των δυνατοτήτων που το καθένα προσφέρει στον χρήστη.

3.2 Κατηγορίες λογισμικών

Τα διαθέσιμα λογισμικά σχεδιασμού και μελέτης φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Λογισμικά που διατίθενται στο διαδίκτυο σε δοκιμαστικές εκδόσεις προκειμένου να εγκατασταθούν στον υπολογιστή, αλλά για να καταστούν πλήρως λειτουργικά, πρέπει να αγοραστούν.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα: Polysun, Archelios PRO, EasySolar, PV F-CHART, PVscout, PV*SOL, PVsyst, PLAN4SOLAR PV, Solar Pro, PV-Design-PRO, HELIOS 3D, HOMER, PV Designer, HelioScope, SOLergo, BlueSol, INSEL, Skelion.

2. Λογισμικά, τα οποία ο χρήστης μπορεί να κατεβάσει δωρεάν και να εγκαταστήσει στον υπολογιστή του.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα: SAM (System Advisor Model), RETScreen, Solarius PV Free UPP.

3. Λογισμικά, στα οποία η μελέτη μπορεί να πραγματοποιηθεί on-line, δεν απαιτούν δηλαδή εγκατάσταση στον υπολογιστή. Προκειμένου όμως να καταστούν πλήρως λειτουργικά, ο χρήστης χρειάζεται να πληρώσει κάποια συνδρομή.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα: pvPlanner, SOLARDESIGNTOOL, PVANALYTICS-PVA, SOLARMODEL.

4. Λογισμικά, στα οποία ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει τη μελέτη του on-line και είναι πλήρως λειτουργικά δωρεάν.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα: PV-GIS, Easy-PV, PVWatts , DIAFEM.

5. Λογισμικά που παρέχουν οι κατασκευάστριες εταιρίες φωτοβολταϊκών μετατροπέων. Τα λογισμικά αυτά είναι δωρεάν, αλλά προφανώς, η βάση δεδομένων μετατροπέων του καθενός, είναι περιορισμένη στους μετατροπείς του κατασκευαστή. Επιπλέον, η ποιότητα και η ακρίβεια των υπολογισμών δεν είναι εγγυημένη και τα χαρακτηριστικά των λογισμικών είναι περιορισμένα.

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα: SMA Sunny Design (για διασυνδεδεμένα συστήματα), SMA OFF-GRID CONFIGURATOR (για αυτόνομα συστήματα), MASTERVOLT, ABB (Power one), KACO, FRONIUS, Ingeteam (Ingecon Sun planner), SAMIL POWER, SUNGRO POWER, Omnik-solar - Solar Design sSoft, GOODWE EZDESIGNER, SATCON Configurator.

3.2.1 Λογισμικά της κατηγορίας 1

3.2.1.1 Polysun

Το Polysun, είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης, που αναπτύχθηκε από την εταιρία vela solaris και αποτελεί ιδανικό εργαλείο πωλήσεων και σχεδιασμού. Παρέχει βέλτιστη υποστήριξη στο σχεδιασμό θερμικών ηλιακών, αντλιών θερμότητας και φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς και συνδυασμένων συστημάτων και δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής επαγγελματικών εκθέσεων, βασισμένων σε γεγονότα.

Η τελευταία έκδοση του λογισμικού είναι το Polysun 8.2 και είναι διαθέσιμο σε 13 γλώσσες (Γερμανικά, Αγγλικά, Γαλλικά, Ιταλικά, Ισπανικά, Κινέζικα, Πορτογαλικά, Τσεχικά, Πολωνικά, Ελληνικά, Ρουμανικά, Σουηδικά και Αραβικά), ενώ είναι κατάλληλο για όλες τις εκδόσεις των λειτουργικών συστημάτων Windows και Mac.

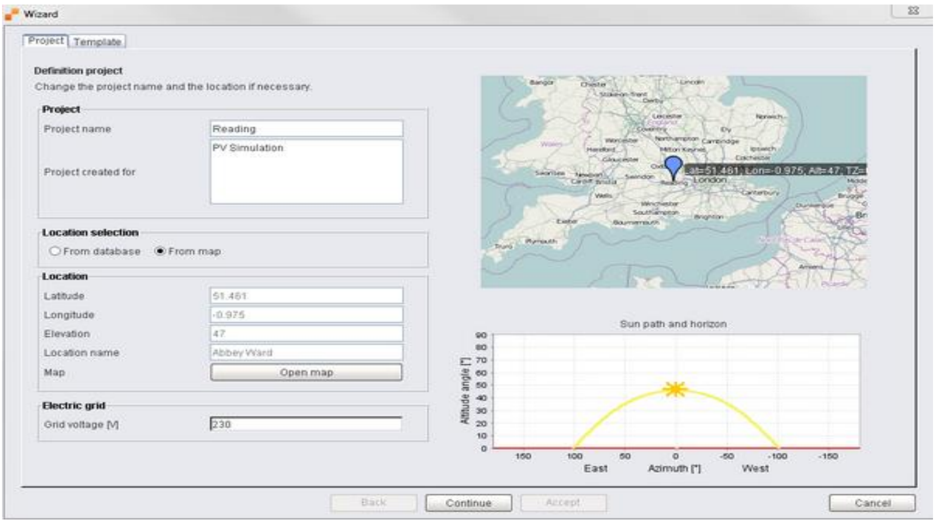
Υπάρχουν δυο εκδοχές του λογισμικού:

- Η Polysun Designer, ιδανική για σχεδιαστές συστημάτων, συμβούλους ενέργειας, μηχανικούς ανάπτυξης και
- Η Polysun Professional, ιδανική για πωλητές και εγκαταστάτες.

Η πλήρης έκδοση Polysun Designer, που μας ενδιαφέρει, κοστίζει 3.299 ευρώ. Υπάρχει και η έκδοση Polysun Designer Premium, με επιπλέον υπηρεσίες, και κόστος 6.900 ευρώ, ενώ η αντίστοιχη εκπαιδευτική έκδοση κοστίζει 189 ευρώ. Τέλος, διατίθεται δωρεάν δοκιμαστική έκδοση για ένα μήνα, με το μειονέκτημα, ότι μπορούν να γίνουν προσομοιώσεις μόνο για την περιοχή Rapperswil της Ελβετίας.

Όσον αφορά στα φωτοβολταϊκά συστήματα, το λογισμικό είναι κατάλληλο για αυτόνομα ή διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα, με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης (υποστηρίζεται μέχρι ένα πεδίο φωτοβολταϊκών πλαισίων με μπαταρία).

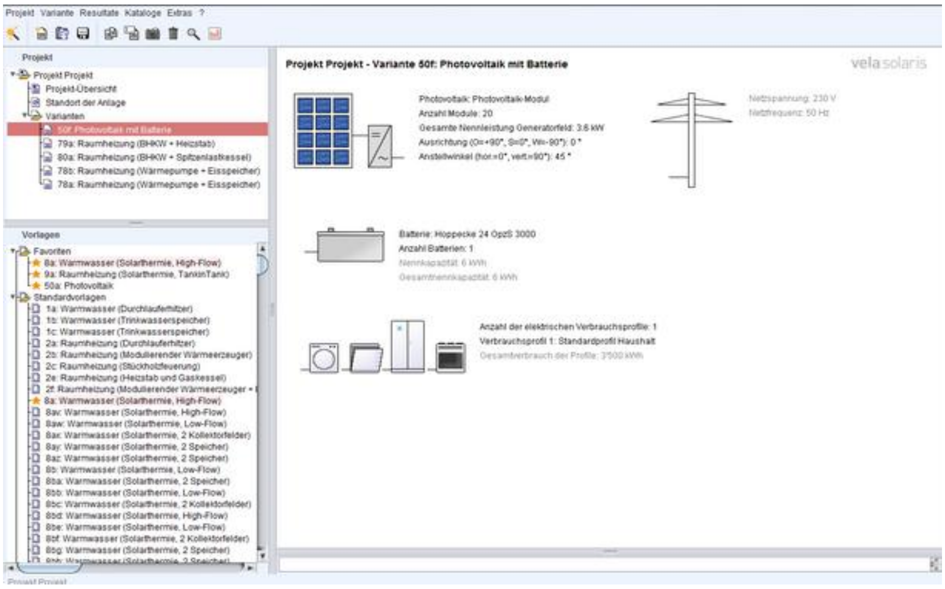
Ο χρήστης επιλέγει τη θέση εγκατάστασης του συστήματος, εύκολα, μέσα από το χάρτη που διαθέτει το πρόγραμμα. Σε ό, τι αφορά στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, υπάρχει βάση δεδομένων, ενώ τα προφίλ ορίζοντα μπορούν να εισαχθούν από άλλα εργαλεία (Suneye, Spice, Precegio, Pathfinder, Meteotest on-line). Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας της ταχύτητας του ανέμου γύρω από τη περιοχή του πεδίου των φωτοβολταϊκών μονάδων.



Εικόνα 3.1 Επιλογή θέσης εγκατάστασης στο Polysun.

Μέσα από μια πλήρως ενημερωμένη βάση δεδομένων με χιλιάδες δοκιμασμένα και πιστοποιημένα πλαίσια και εκατοντάδες μετατροπείς, ο χρήστης επιλέγει τα καταλληλότερα, βάσει των απαιτήσεων του σχεδιασμού, ενώ μπορεί να δημιουργήσει και τα δικά του στοιχεία και να τα αποθηκεύσει στη βάση δεδομένων. Επιπλέον, υπάρχει βάση δεδομένων ηλεκτρικών εξαρτημάτων (καλώδια, μπαταρίες).

Το Polysun χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό κάθε μεγέθους συστημάτων, από φωτοβολταϊκές στέγες, μέχρι μεγάλα πάρκα (υποστηρίζει μέχρι 30 πεδία πλαισίων με διαφορετικούς προσανατολισμούς). Όσον αφορά στον τρόπο εγκατάστασης, είναι κατάλληλο για συστήματα σταθερής κλίσης, καθώς και για πεδία πλαισίων με παρακολούθηση ηλίου, ενώ υπάρχει δυνατότητα καθορισμού του προσανατολισμού των φωτοβολταϊκών μονάδων (αζιμούθιο). Ακόμα, έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει πεδία που αποτελούνται μέχρι 10.000 πλαίσια και ονομαστική ισχύ μέχρι ένα εκατομμύριο kW.



Εικόνα 3.2 Επιλογή κατάλληλου προδιαμορφωμένου συστήματος, βάσει του τύπου έργου και των απαιτήσεων σχεδιασμού.

Όσον αφορά στη διαμόρφωση του μετατροπέα, το πρόγραμμα διαθέτει οδηγό διάταξης μετατροπέα που υποστηρίζει το χρήστη στον ορισμό του συστήματος (αριθμός των μετατροπέων, αριθμός strings, αριθμός των μονάδων ανά string), ενώ, υποστηρίζει και multi-string μετατροπείς και σύνθετες διατάξεις μετατροπέων (μέχρι τρία διαφορετικά είδη).

Σε ότι αφορά τις απώλειες, είναι εφικτός υπολογισμός απωλειών σκίασης, από τη μία σειρά πλαισίων στην προηγούμενη, καθώς, και από κοντινά αντικείμενα, απωλειών λόγω ρύπανσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων, καλωδιακών απωλειών, απωλειών λόγω mismatching των πλαισίων, καθώς και της αέργου ισχύος που παράγεται.

Επιπλέον, παρέχεται δυνατότητα βελτιστοποίησης του συστήματος μέσω σύγκρισης αποτελεσμάτων με ένα σύστημα αναφοράς. Το λογισμικό τρέχει την προσομοίωση των δύο διαφορετικών συστημάτων και συγκρίνει τα αποτελέσματα σε ένα ενιαίο ραβδόγραμμα.

Τέλος, το Polysun, πραγματοποιεί οικονομικό απολογισμό της επένδυσης, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στην τελική αναφορά, μαζί με τον ενεργειακό απολογισμό, με γραφικά και αριθμητικά στοιχειά.

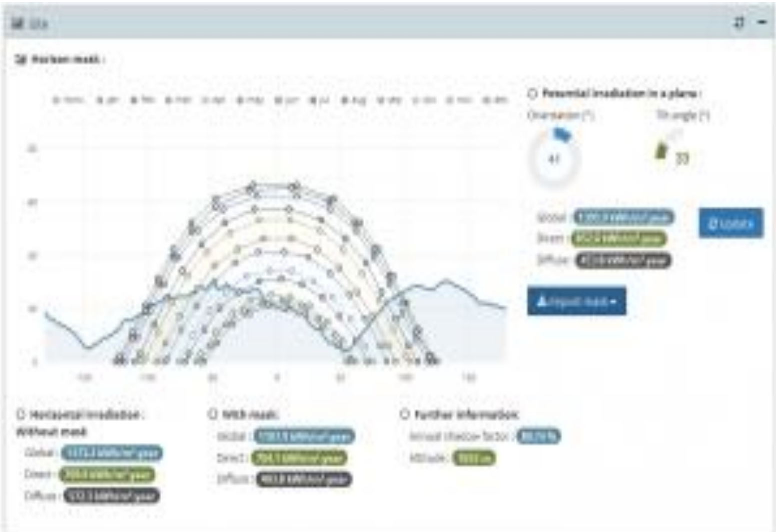
3.2.1.2 Archelios Pro

Το λογισμικό Archelios Pro έχει αναπτυχθεί από την Trace Software International και είναι αναγνωρισμένο, ως ένα από τα πλέον ακριβή λογισμικά προσομοίωσης στον κόσμο, σύμφωνα με μελέτη της Photon International και της εφημερίδας IJEEE.

Η τελευταία desktop έκδοση του λογισμικού είναι η Archelios Pro 15.2.01, ενώ υπάρχει διαθέσιμη η on-line αναβαθμισμένη έκδοση Archelios Pro 15.2.05, στην τιμή των 690 ευρώ για ένα χρόνο (58 ευρώ/μήνα). Επιπλέον διατίθεται δωρεάν on-line δοκιμαστική έκδοση.

Το Archelios Pro, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών έργων, που κυμαίνονται, από φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες, μέχρι μεγάλα ηλιακά πάρκα και υπολογίζει την ακριβή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, λεπτομερείς απώλειες και οικονομικούς δείκτες (LCOE, CGA, αποδοτικότητα κλπ.).

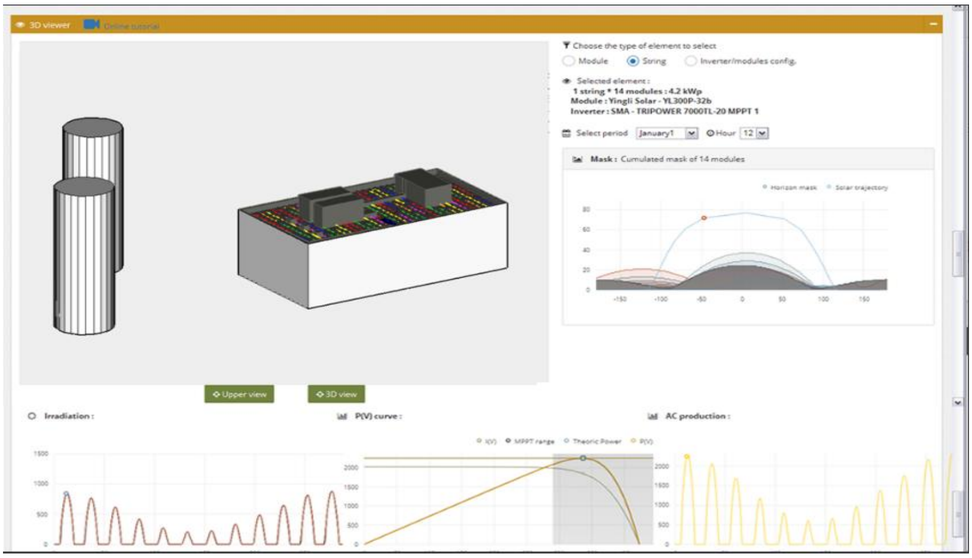
Μέσα από μια τεράστια βάση μετεωρολογικών σταθμών, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την θέση που τον ενδιαφέρει, ενώ παρέχονται αυτόματα η γραμμή του ορίζοντα και το ακριβές μοντέλο της ακτινοβολίας, ώστε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβή.



Εικόνα 3.3 Γραμμή ορίζοντα και μοντέλο της ακτινοβολίας στο Archelios Pro.

Το λογισμικό διαθέτει ενημερωμένη βάση δεδομένων με πάνω από 12.000 φωτοβολταϊκά πλαίσια και 1.500 μετατροπείς, ώστε ο σχεδιαστής του συστήματος να επιλέξει τα καταλληλότερα με βάση της απαιτήσεις του σχεδιασμού. Μετά την επιλογή του πλαισίου και του κατασκευαστή του μετατροπέα το πρόγραμμα προτείνει μια σειρά από έγκυρους συνδυασμούς τους, από την οποία ο χρήστης καλείται να επιλέξει.

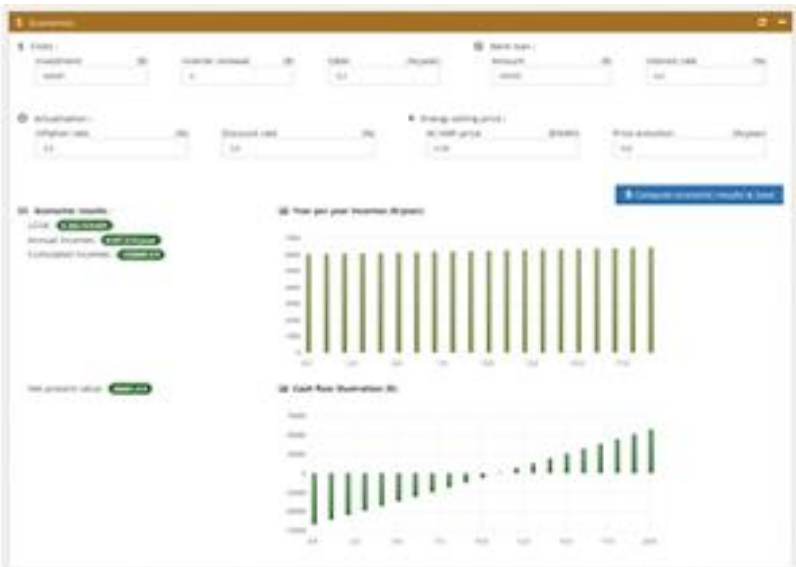
Η σχεδίαση και η απεικόνιση του έργου γίνεται στις τρεις διαστάσεις. Μπορούμε να σχεδιάσουμε το έργο στο SketchUp (και στο plug-in του Archelios Pro) και μετά να το μεταφέρουμε στο Archelios Pro.



Εικόνα 3.4 3D σχεδίαση έργου στο Archelios Pro.

Μετά το πέρας του σχεδιασμού, υπάρχει δυνατότητα εξαγωγής των φωτοβολταϊκών έργων στο Archelios Calc (παλαιότερα γνωστό ως solar calc, που αναπτύχθηκε από Trace Software International), προκειμένου να γίνει διαστασιολόγηση των καλωδίων και ολοκλήρωση του έργου.

Τέλος, υπολογίζονται όλοι οι οικονομικοί δείκτες ώστε ο σχεδιαστής (ή ο πελάτης) να αποφασίζει και να βελτιστοποιεί τα έργα του.


Εικόνα 3.5 Υπολογισμός οικονομικών δεικτών με Archelios Pro.

3.2.1.3 EasySolar

Το EasySolar, είναι η πρώτη εφαρμογή για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων και τη δημιουργία προσφορών, που αλλάζει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο εργάζονται οι επαγγελματίες στην ηλιακή ενέργεια και είναι διαθέσιμη με τη μηνιαία συνδρομή των 20 ευρώ (για δυο χρήστες).

Είναι ένα λογισμικό, ιδανικό για εταιρίες σχεδιασμού και πώλησης φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς εξασφαλίζει: γρήγορη δουλειά, άμεση επαφή με τους πελάτες, περισσότερο επαγγελματισμό, αποτελεσματική συνεργασία της ομάδας εργασίας, ελαχιστοποίηση χρόνου προετοιμασίας προσφορών, ενσωματωμένα μετρητικά εργαλεία, δημιουργία και διαχείριση προσφορών, πρόσβαση σε προηγμένους αλγόριθμους από το επίπεδο του smartphone, πρόσβαση στη μεγαλύτερη βάση δεδομένων προϊόντων, παρουσίαση διαφορετικών εναλλακτικών στους πελάτες, παρουσίαση οικονομικής ανάλυσης με γραφήματα.

Η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στον υπολογιστή, που είναι το κέντρο έργου (web app), όσο και στο κινητό τηλέφωνο (mobile app). Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει τη διαστασιολόγηση, την απεικόνιση και το σχεδιασμό ηλιακών εγκαταστάσεων, εύκολα, μέσα από το smartphone του. Παράλληλα, δεδομένου ότι η εφαρμογή είναι διαθέσιμη και μέσω ενός web browser, μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση σε όλα τα έργα του, σε οποιονδήποτε υπολογιστή, απλά με σύνδεση στη διεύθυνση: app.easysolar.com. Η Web App θα γίνει το κέντρο του έργου και θα επιτρέψει τη διαχείριση των έργων και των πωλήσεων ακόμα πιο αποτελεσματικά.

Κατά την επίσκεψη στο χώρο εγκατάστασης, ο σχεδιαστής, μπορεί, χρησιμοποιώντας το tablet ή to smartphone του, να πραγματοποιήσει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις, να τραβήξει μια φωτογραφία της οροφής, να πραγματοποιήσει το σχεδιασμό της φωτοβολταϊκής διάταξης και να συλλέξει όλα απαραίτητα δεδομένα για την οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

Εικόνα 3.6 Διεξαγωγή μετρήσεων μέσω smartphone με το EasySolar.

Κατόπιν, στο κέντρο έργου, έχει τη δυνατότητα, με χρήση πιο εξελιγμένων εργαλείων να αλλάξει το σχεδιασμό που πραγματοποίησε προηγουμένως και να διαμορφώσει την πλήρη προσφορά για τον πελάτη.

Εικόνα 3.7 Κέντρο έργου.

Χάρη στο GPS δεν χρειάζεται καν να εισαχθεί η διεύθυνση για την επαλήθευση της ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο μέρος. Το EasySolar χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων της NASA, επομένως υπάρχει πρόσβαση σε ακριβή και ενημερωμένα στοιχεία.

Το πρόγραμμα διαθέτει επίσης ενημερωμένη βάση δεδομένων φωτοβολταϊκών πλαισίων και μετατροπέων, προκειμένου ο χρήστης να επιλέξει τα καταλληλότερα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Η κλίση της οροφής στην οποία θα εγκατασταθεί το σύστημα, υπολογίζεται απευθείας, είτε τοποθετώντας το κινητό δίπλα στην οροφή και διαβάζοντάς τη, είτε διαβάζοντας τη γωνία, χρησιμοποιώντας κάμερα στο smartphone. Το λογισμικό διαθέτει ακόμα εφαρμογή προσομοίωσης σκίασης, η οποία επιτρέπει ακριβείς υπολογισμούς κατά τη διάρκεια της συνάντησης με τον πελάτη.

Το EasySolar, προετοιμάζει γρήγορα και αποτελεσματικά μια σαφή και λεπτομερή ανάλυση κόστους και οικονομική ανάλυση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, γεγονός που επιτρέπει στον πελάτη να δει αμέσως τα οφέλη της προσφοράς.

Τέλος, πραγματοποιείται μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου και ανάλυση εκπομπών, ενώ τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πλήρη έκθεση με γραφικά και αριθμητικά στοιχεία.

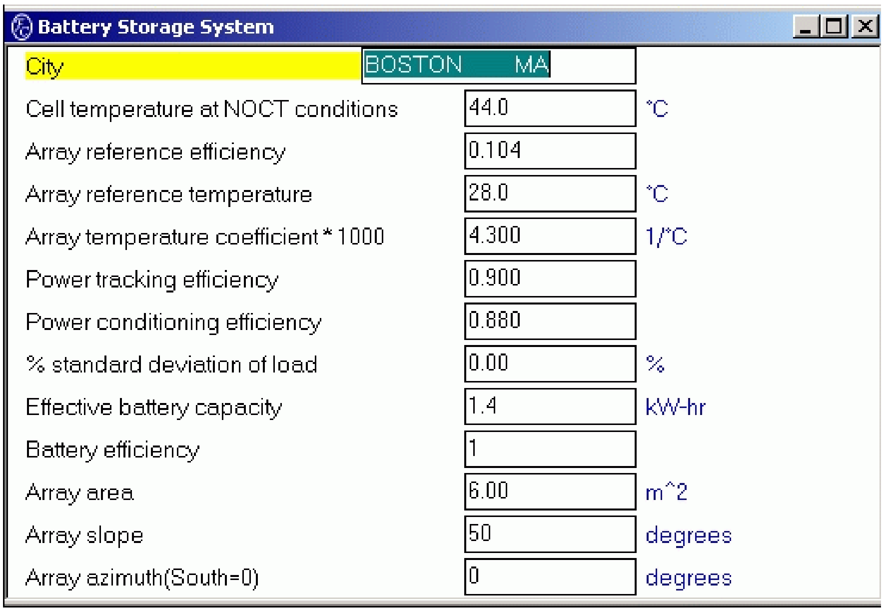
3.2.1.4 PV F-CHART

Το PV F-CHART, είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα ανάλυσης και σχεδιασμού φωτοβολταϊκών συστημάτων που αναπτύχθηκε από την εταιρία F-CHART SOFTWARES. Το πρόγραμμα παρέχει μηνιαίες, μέσες εκτιμήσεις ενεργειακής απόδοσης του συστήματος, για κάθε ώρα της ημέρας. Οι υπολογισμοί βασίζονται σε μεθόδους που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin. Το λογισμικό, είναι διαθέσιμο στην τιμή των $ 400 για ενιαία άδεια χρήσης και $ 600 για ακαδημαϊκή άδεια.

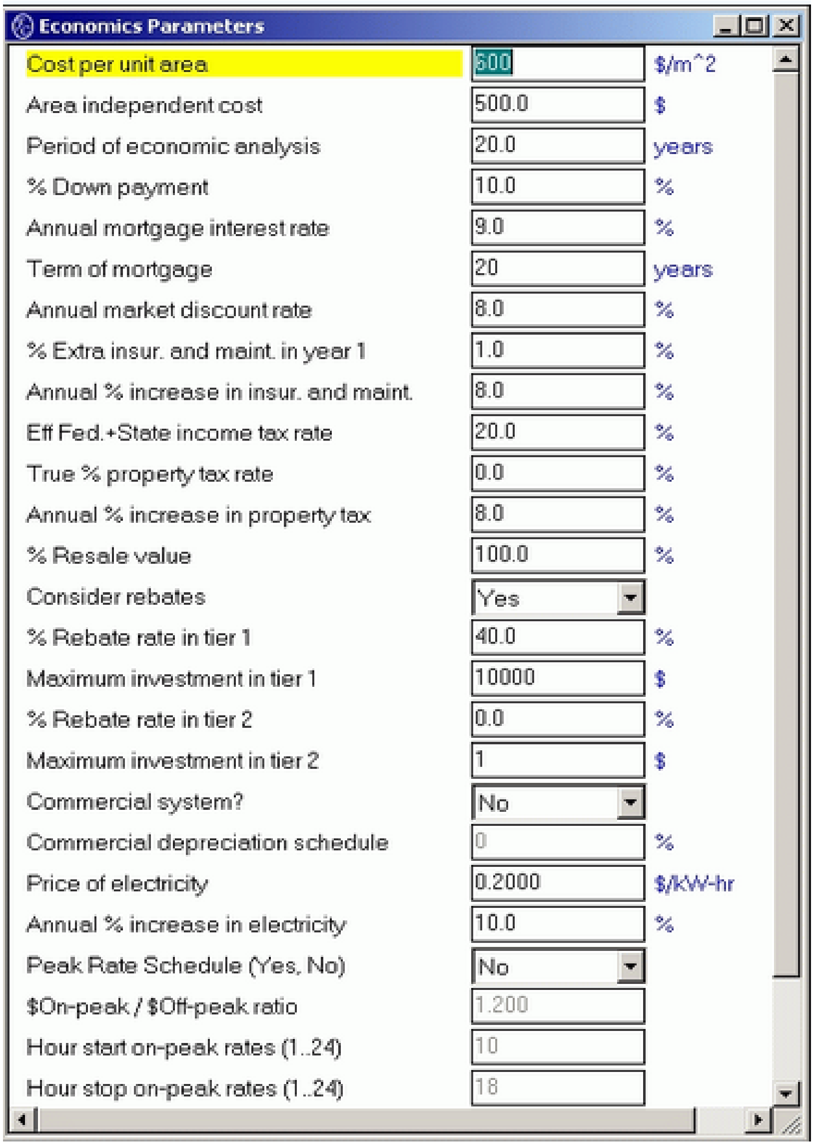
Ακαδημαϊκές άδειες για το PV F-CHART διατίθενται αποκλειστικά στα τμήματα των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων με μια εφάπαξ χρέωση των $ 600. Η εκπαιδευτική άδεια επιτρέπει στο πρόγραμμα να τοποθετηθεί σε ένα server και να αντιγραφεί από τους μαθητές για προσωπική χρήση. Η ακαδημαϊκή έκδοση παρέχει όλες τις δυνατότητες της εμπορικής έκδοσης, αλλά λήγει την 1η Σεπτεμβρίου κάθε έτους. Μια νέα έκδοση παρέχεται ηλεκτρονικά στο ίδρυμα κάθε χρόνο, χωρίς κανένα κόστος μετά ημερομηνία λήξης της προηγούμενης.

Το PV-F-CHART υποστηρίζει διασσυνδεδεμένα συστήματα, συστήματα αποθήκευσης με μπαταρίες και αυτόνομα συστήματα, ενώ, όσον αφορά τον τρόπο εγκατάστασης, αυτά μπορεί να είναι σταθερά συστήματα, ή συστήματα παρακολούθησης του ηλίου (ενός ή και δύο αξόνων).

Το λογισμικό διαθέτει βάση δεδομένων, με μετεωρολογικά στοιχεία για πάνω από 300 τοποθεσίες, ενώ μπορούν να προστεθούν δεδομένα καιρού και από το χρήστη. Δεν υπάρχει βάση δεδομένων για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και μετατροπείς, αλλά ο χρήστης συμπληρώνει κάποια στοιχεία από τα datasheets των εξαρτημάτων που χρησιμοποιεί, καθώς και κάποιες οικονομικές παραμέτρους που ζητούνται.

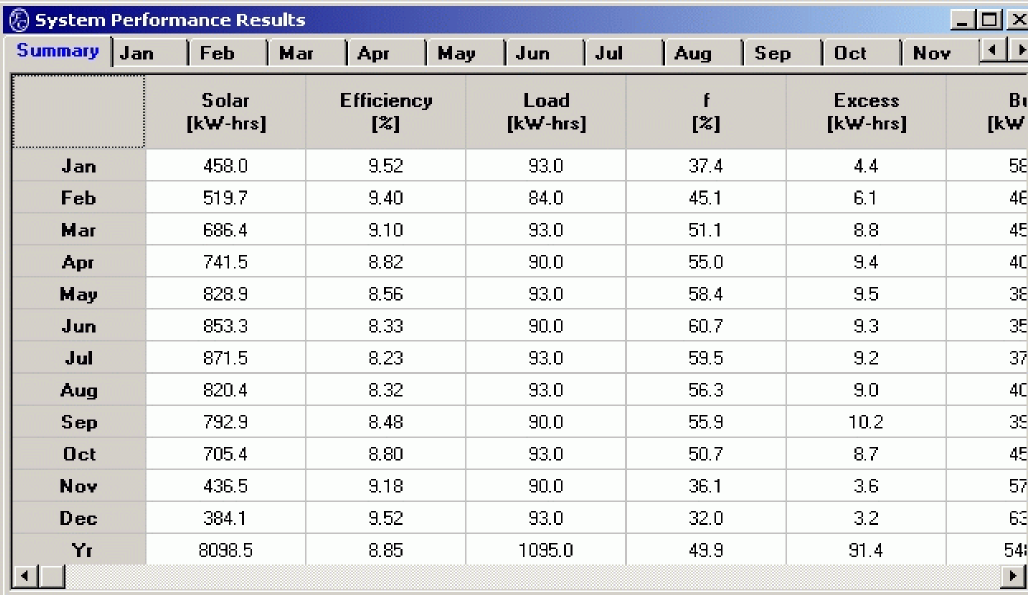


Εικόνα 3.8 Παράμετροι εισόδου του PV-F-CHART.



Εικόνα 3.9 Οικονομικές παράμετροι που πρέπει να εισαχθούν στο PV-F-CHART.

Το πρόγραμμα εκτελείται εξαιρετικά γρήγορα, και υπολογίζει την παραγόμενη από το σύστημα ενέργεια, το βαθμό απόδοσης, ωριαία προφίλ φορτίου για κάθε μήνα, τη στατιστική μεταβολή του φορτίου, διαφορές κόστους αγοράς/πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Υπολογίζει επίσης τον οικονομικό κύκλο ζωής της εγκατάστασης με τις ταμειακές ροές. Για τα μεγέθη, χρησιμοποιούνται αγγλικές μονάδες μέτρησης και μονάδες SI, ενώ τα αποτελέσματα εξόδου είναι γραφικά και αριθμητικά.

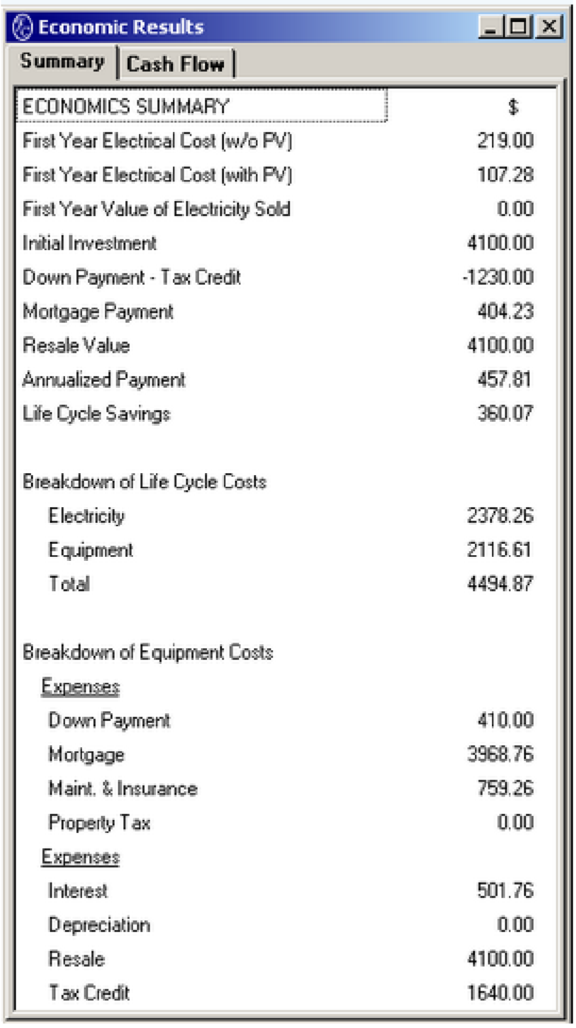


System Performance Results

Summary | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov

	Solar [kW-hrs]	Efficiency [%]	Load [kW-hrs]	f [%]	Excess [kW-hrs]	Bı [kW
Jan	458.0	9.52	93.0	37.4	4.4	58
Feb	519.7	9.40	84.0	45.1	6.1	46
Mar	686.4	9.10	93.0	51.1	8.8	45
Apr	741.5	8.82	90.0	55.0	9.4	40
May	828.9	8.56	93.0	58.4	9.5	38
Jun	853.3	8.33	90.0	60.7	9.3	35
Jul	871.5	8.23	93.0	59.5	9.2	37
Aug	820.4	8.32	93.0	56.3	9.0	40
Sep	792.9	8.48	90.0	55.9	10.2	39
Oct	705.4	8.80	93.0	50.7	8.7	45
Nov	436.5	9.18	90.0	36.1	3.6	57
Dec	384.1	9.52	93.0	32.0	3.2	63
Yr	8098.5	8.85	1095.0	49.9	91.4	54

Εικόνα 3.10 Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης συστήματος στο PV-F-CHART.



Economic Results

Summary | Cash Flow

ECONOMICS SUMMARY	$
First Year Electrical Cost (w/o PV)	219.00
First Year Electrical Cost (with PV)	107.28
First Year Value of Electricity Sold	0.00
Initial Investment	4100.00
Down Payment - Tax Credit	-1230.00
Mortgage Payment	404.23
Resale Value	4100.00
Annualized Payment	457.81
Life Cycle Savings	360.07
Breakdown of Life Cycle Costs	
Electricity	2378.26
Equipment	2116.61
Total	4494.87
Breakdown of Equipment Costs	
Expenses	
Down Payment	410.00
Mortgage	3968.76
Maint. & Insurance	759.26
Property Tax	0.00
Expenses	
Interest	501.76
Depreciation	0.00
Resale	4100.00
Tax Credit	1640.00

Εικόνα 3.11 Οικονομικά αποτελέσματα στο PV-F-CHART.

3.2.1.5 PVscout

Το PVscout, είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εταιρία Solarschmiede, για τον προγραμματισμό και τον υπολογισμό των διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες, ανεξαρτήτως κατασκευαστή. Υπάρχουν διαθέσιμες δύο εκδοχές του λογισμικού:

- Η PVscout 2 Basic, που χρησιμοποιείται για γρήγορο και αξιόπιστο σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων και κοστίζει 355,81 ευρώ (συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ) και
- η PVscout 2 Premium, για πιο σύνθετα φωτοβολταϊκά συστήματα που κοστίζει 474,81 ευρώ (συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ).

Το PVscout 2 Basic, είναι ένας εύκολος στη χρήση μηχανισμός σχεδίασης φωτοβολταϊκών στεγών. Διαθέτει στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας που βασίζονται σε υψηλής ανάλυσης, μέσες τιμές λεπτού, ενώ, παρέχει ξεχωριστά καταρτισμένες παρουσιάσεις των τεχνικών λεπτομερειών, παραγγελίας, προσφοράς, διάγραμμα ηλεκτρικού κυκλώματος της εγκατάστασης, σχέδιο της DC σύνδεσης, υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος.

Το PVscout 2 Premium, παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα για γραφική αναπαράσταση και δυναμική διασύνδεση πολλών στεγών, επομένως, καλύπτει πιο σύνθετα συστήματα από ότι το προηγούμενο.

Το λογισμικό διαθέτει βάση μετεωρολογικών δεδομένων, φωτοβολταϊκών πλαισίων, μετατροπέων και καλωδίων. Η απεικόνιση του χώρου εγκατάστασης γίνεται στις τρεις διαστάσεις και δίνεται η δυνατότητα τρισδιάστατου σχεδιασμού των αντικειμένων της στέγης, προκειμένου να υπολογιστούν οι σκιάσεις. Παρέχει ξεχωριστά καταρτισμένες παρουσιάσεις των τεχνικών λεπτομερειών, παραγγελίας, προσφοράς, διάγραμμα ηλεκτρικού κυκλώματος της εγκατάστασης , σχέδιο της DC σύνδεσης , υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος.

3.2.1.6 PV*SOL

Το λογισμικό PV*SOL, αναπτύχθηκε από την εταιρία Valentin Software, για τον σχεδιασμό αυτόνομων ή διασυνδεδεμένων στο δίκτυο, φωτοβολταϊκών συστημάτων, με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης και υπάρχουν διαθέσιμες δύο εκδοχές του:

- το PV*SOL, η τελευταία έκδοση του οποίου είναι η PV*SOL 2016 R4, με κόστος 895 ευρώ+ΦΠΑ, και,
- το PV*SOL Premium, η τελευταία έκδοση του οποίου είναι η PV*SOL premium 2016 R4, με κόστος 1295 ευρώ+ΦΠΑ.

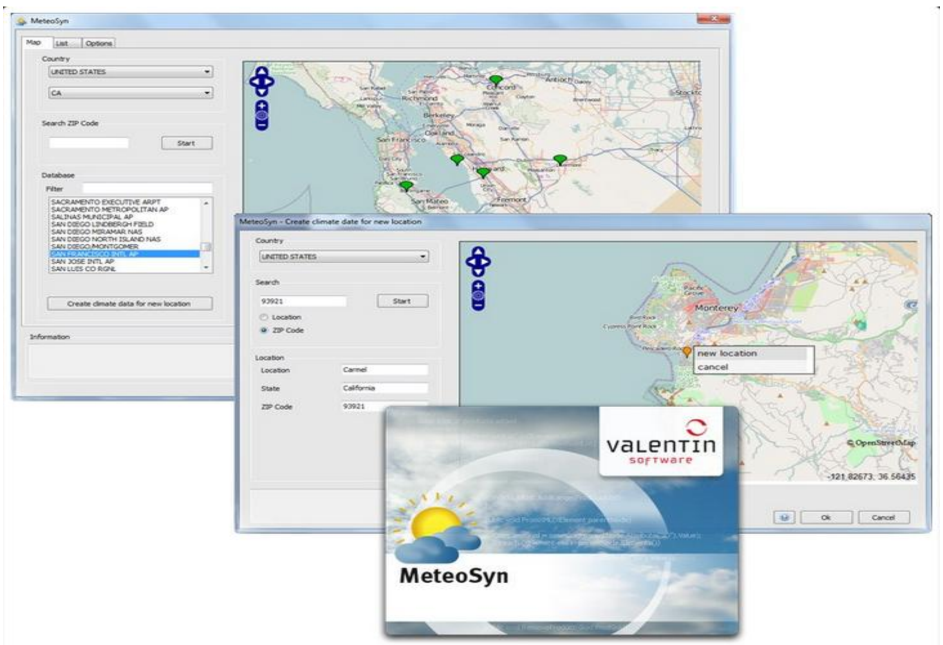
Υπάρχει διαθέσιμη δοκιμαστική έκδοση, διάρκειας τριάντα ημερών και για τις δυο εκδοχές του λογισμικού, προκειμένου ο χρήστης να μπορεί να το δοκιμάσει πριν προβεί σε αγορά του.

Η βασική διαφορά των δύο εκδοχών, είναι ότι το PV*SOL Premium παρέχει τη δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης του υπό μελέτη συστήματος και λεπτομερή ανάλυση σκίασης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των δυο αυτών εκδοχών του λογισμικού.

PV*SOL

Το PV*SOL, είναι κατάλληλο για δυναμική προσομοίωση, σχεδιασμό και βελτιστοποίηση διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων, με συστήματα αποθήκευσης.

Το σημείο εγκατάστασης του συστήματος εντοπίζεται εύκολα, μέσα από τον διαδραστικό χάρτη του προγράμματος, ενώ τα κλιματολογικά δεδομένα εισάγονται από τη γεννήτρια μετεωρολογικών δεδομένων MeteoSyn. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εισαγωγής κλιματολογικών δεδομένων από το χρήστη.



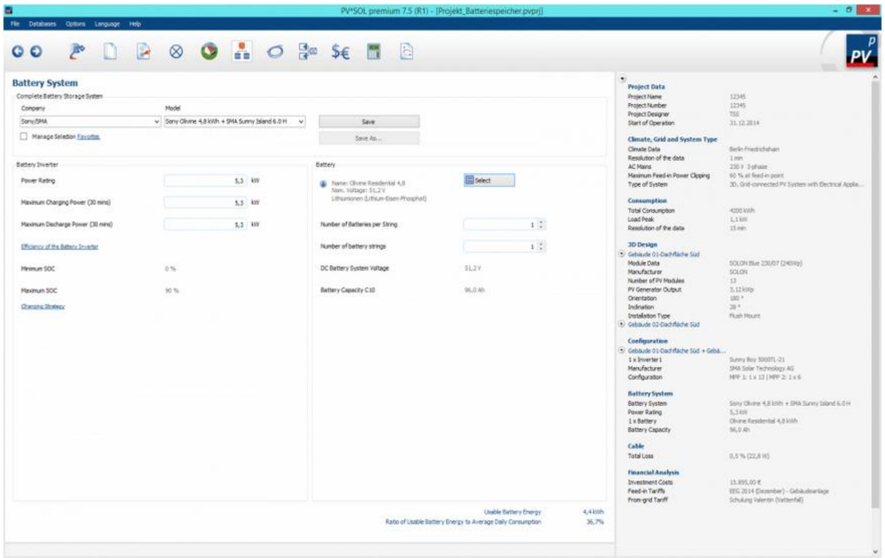
Εικόνα 3.12 Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων στο PV*SOL από το MeteoSyn.

Το λογισμικό διαθέτει ενημερωμένη βάση δεδομένων με πάνω από 14.500 datasheets για φωτοβολταϊκά πλαίσια και πάνω από 3.500 για μετατροπείς.

Εφόσον ο σχεδιαστής επιλέξει τα στοιχεία που ικανοποιούν τις απαιτήσεις του σχεδιασμού, το πρόγραμμα είναι δυνατόν να κάνει προτάσεις διαμόρφωσης του συστήματος, μέσα από τις οποίες καλείται να επιλέξει, διαφορετικά, η διαμόρφωση μπορεί να γίνει χειροκίνητα.

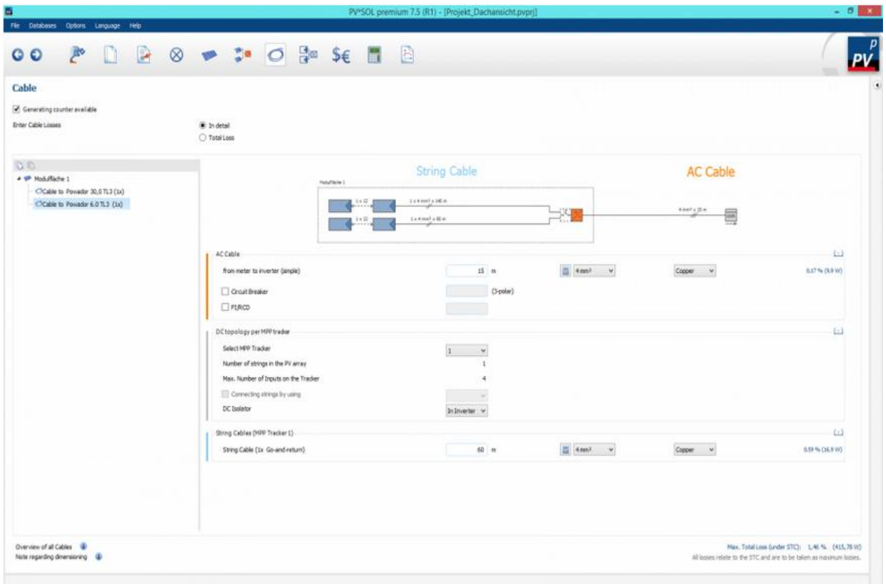
Με το PV*SOL, προσομοιώνονται συστήματα σταθερής κλίσης, καθώς και συστήματα με tracking ενός και δύο αξόνων. Στη δυσδιάστατη σχεδίαση, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να προσομοιωθούν με συνηθισμένους trackers. Μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ των trackers μονού άξονα, με διαφορετικούς άξονες περιστροφής και των trackers δύο αξόνων.

Για το σχεδιασμό διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων με συστήματα αποθήκευσης, επιλέγονται οι μπαταρίες που θα χρησιμοποιηθούν, από τη βάση δεδομένων, και καθορίζεται ο μετατροπέας και τη στρατηγική φόρτισης. Εναλλακτικά, μπορούμε να φορτώσουμε ολοκληρωμένα συστήματα αποθήκευσης, από τους κορυφαίους κατασκευαστές και να κάνουμε ακριβείς υπολογισμούς της ιδιοκατανάλωσης.



Εικόνα 3.13 Διαμόρφωση μπαταρίας για διασυνδεδεμένο σύστημα στο PV*SOL.

Το πρόγραμμα παρέχει επίσης δυνατότητα διαστασιολόγησης των AC και DC καλωδίων και υπολογισμού απωλειών.



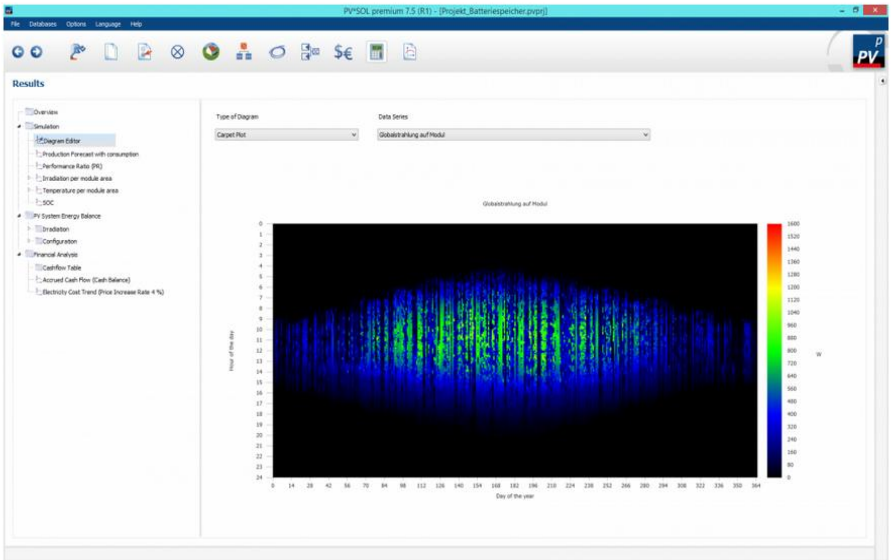
Εικόνα 3.14 Διαστασιολόγηση των AC και DC καλωδίων και υπολογισμός καλωδιακών απωλειών.

Με το ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαστασιολόγησης Photo Plan, η στέγη με το σχεδιασμένο φωτοβολταϊκό σύστημα, παρουσιάζονται με μια φωτογραφία και λαμβάνονται επί τόπου όλες οι απαραίτητες μετρήσεις.

Εικόνα 3.15 Το ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαστασιολόγησης Photo Plan.

Το PV*SOL, τρέχει μια προσομοίωση απόδοσης με βάση τις τιμές που εισάγονται. Αυτό βασίζεται σε ένα μαθηματικό μοντέλο, που επιτρέπει την ακριβή αναπαραγωγή της χαρακτηριστικής καμπύλης για κάθε φωτοβολταϊκή μονάδα που περιέχεται στη βάση δεδομένων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει με ακρίβεια τις αποδόσεις των φωτοβολταϊκών μονάδων thin-film. Οι διάφοροι τύποι και οι προσανατολισμοί των μονάδων σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, λαμβάνονται υπόψη, ομαδοποιώντας τις μονάδες φωτοβολταϊκών ως μερικές γεννήτριες. Για να υπολογιστούν κάποια αποτελέσματα με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια, η προσομοίωση μπορεί, προαιρετικά, να διεξαχθεί σε επιμέρους μικρά βήματα.

Το PV*SOL, υπολογίζει την παραγωγή και την κατανάλωση του συστήματός και παρέχει αναλυτικό κυκλωματικό διάγραμμα, ενώ, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με διαγράμματα. Με το διάγραμμα «Carpet Plot» που παρέχει, είναι εύκολη η λεπτομερής ανάλυση και γρήγορη οπτική εκτίμηση των αποτελεσμάτων της μελέτης, καθώς και μεγίστων, ελαχίστων, συχνά εμφανιζόμενων φαινομένων και αποκλίσεων.



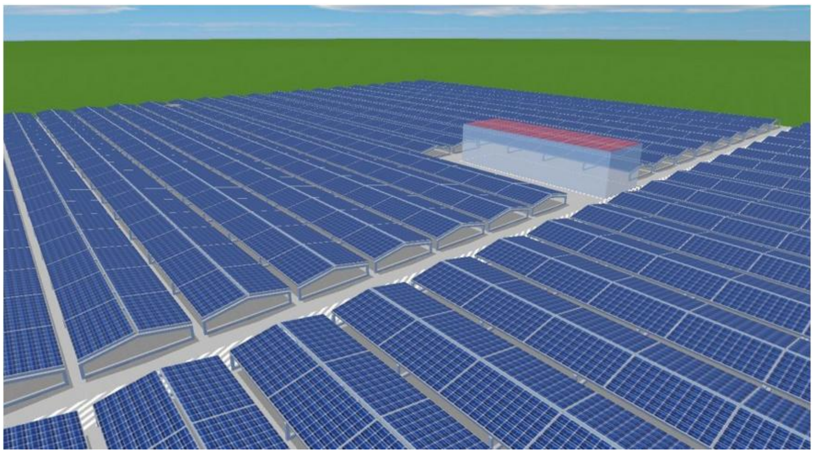
Εικόνα 3.16 Το δίαγραμμα «Carpet Plot».

Τέλος, το πρόγραμμα πραγματοποιεί πλήρη οικονομική μελέτη του συστήματος, με την επιπλέον δυνατότητα του net-metering, ενός μοντέλου για την αμοιβή της ηλιακής ενέργειας Εδώ, η ενέργεια που παράγεται από το σύστημα, τροφοδοτείται στο δίκτυο και εξισορροπείται με την ενέργεια που πρέπει να χρησιμοποιείται από το δίκτυο. Τα αποτελέσματα εκτυπώνονται σε μια σειρά από γραφικές παραστάσεις και πίνακες.

<u>PV*SOL Premium</u>

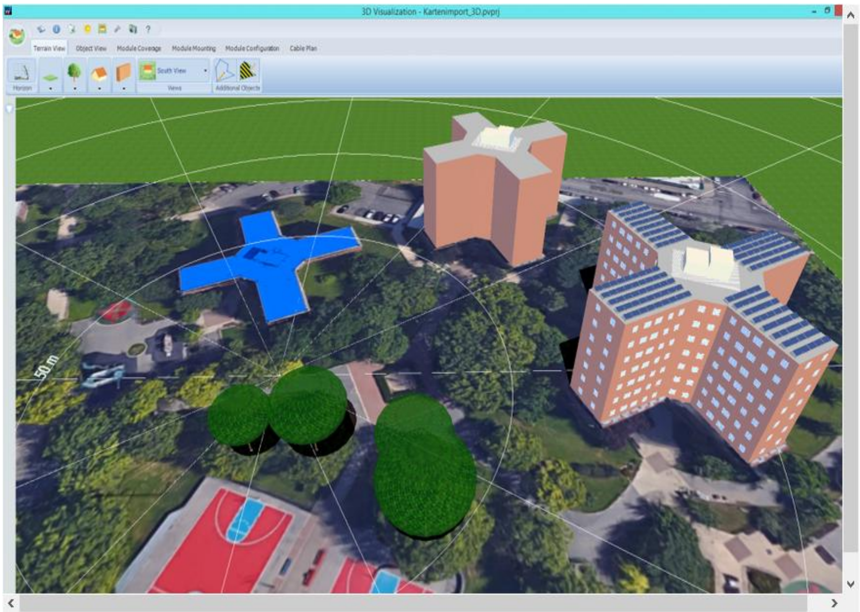
Το PV*SOL Premium, είναι κατάλληλο για δυναμική προσομοίωση με τρισδιάστατη απεικόνιση και λεπτομερή ανάλυση σκίασης, φωτοβολταϊκών συστημάτων, με συστήματα αποθήκευσης.

Γενικώς, παρέχει παρόμοιες δυνατότητες με το προηγούμενο, με την επιπλέον δυνατότητα αναλυτικότερου υπολογισμού των σκιάσεων, μέσω τρισδιάστατης απεικόνισης. Στην εκδοχή αυτή του λογισμικού, είναι δυνατή η προσομοίωση ηλιακών σταθμών παραγωγής ενέργειας έως δύο μεγαβάτ σε τρισδιάστατη μορφή.



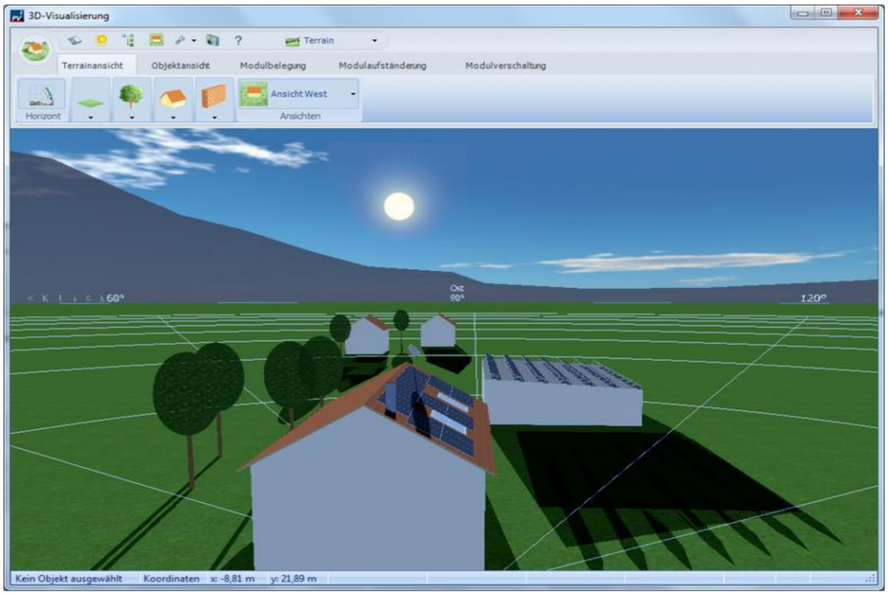
Εικόνα 3.17 3D απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου στο PV*SOL Premium.

Κτίρια και αντικείμενα μπορούν να δημιουργηθούν γρήγορα και εύκολα, χρησιμοποιώντας σχέδια κάτοψης και χάρτες. Το μόνο που πρέπει να κάνει ο σχεδιαστής, είναι να ορίσει τα αντίστοιχα περιγράμματα και στη συνέχεια το κτίριο μπορεί να δημιουργηθεί με την εισαγωγή του ύψους. Έτσι, για παράδειγμα, όλα τα κτίρια με επίπεδη οροφή μπορούν να παραχθούν.



Εικόνα 3.18 Σχεδιασμός 3D κτιρίων στο PV*SOL Premium.

Όσον αφορά στη μελέτη των σκιάσεων, ένα ευρύ φάσμα εργαλείων είναι διαθέσιμα στο χρήστη κατά την εργασία με το λογισμικό, έτσι ώστε, κάθε σενάριο σκίασης να μπορεί να απεικονιστεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.



Εικόνα 3.19 3D μελέτη σκιάσεων στο PV*SOL Premium.

3.2.1.7 PVsyst (PREMIUM)

Το PVsyst, αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο της Γενεύης και είναι ένα από τα παλαιότερα λογισμικά φωτοβολταϊκών. Έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται από αρχιτέκτονες, μηχανικούς και ερευνητές, ενώ αποτελεί και ένα πολύ χρήσιμο παιδαγωγικό εργαλείο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση συνδεδεμένων με το δίκτυο συστημάτων, αυτόνομων συστημάτων και συστημάτων άντλησης. Είναι ένα λογισμικό βασισμένο στον υπολογιστή και μπορεί να εγκατασταθεί σε όλες τις εκδόσεις των Windows ή σε οποιοδήποτε άλλο λειτουργικό σύστημα, με χρήση virtual machine (όπως το VirtualBox). Η τελευταία έκδοσή του είναι η PVsyst 6.43 (διαθέσιμη από τις 18 Μαρτίου του 2016), ενώ υπάρχουν τρεις εκδοχές του:

- Η πλήρης άδεια, με κόστος 1179 ευρώ (για την πρώτη άδεια),
- Η λειτουργία αξιολόγησης, που διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά της πλήρους άδειας και διατίθεται δωρεάν για ένα μήνα,

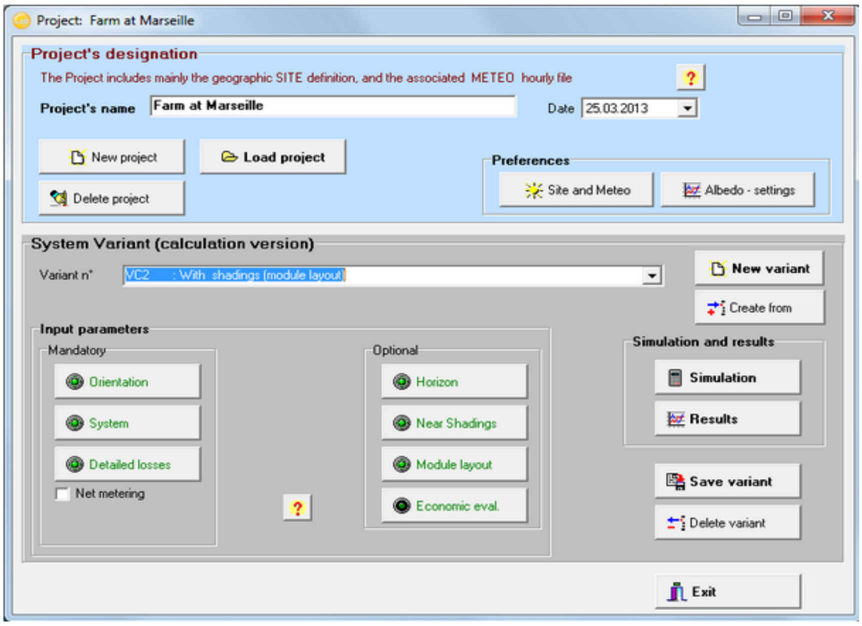
και τέλος,

- Η λειτουργία demo, που είναι μόνιμη και δωρεάν, όμως τα αποτελέσματα δεν είναι αποθηκεύσιμα και εκτυπώσιμα, ενώ επιτρέπει πρόσβαση σε συγκεκριμένες μόνο γεωγραφικές περιοχές και φωτοβολταϊκά εξαρτήματα.

Το PVsyst, παρέχει στο χρήστη δύο επιλογές για το σχεδιασμό ενός έργου: τον προκαταρκτικό σχεδιασμό και τον κύριο σχεδιασμό.

Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός είναι ένα στάδιο προεκτίμησης των μεγεθών του έργου, που έχει ως στόχο να καθορίσει γρήγορα τα γενικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που πρόκειται να σχεδιαστεί. Σε αυτή τη λειτουργία προμελέτης, η αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος εκτελείται πολύ γρήγορα σε μηνιαίες τιμές, προσδιορίζοντας μόνο, πολύ λίγα γενικά χαρακτηριστικά του συστήματος, χωρίς να προσδιορίζονται συγκεκριμένα συστατικά του.

Ο κύριος σχεδιασμός, έχει ως στόχο, να προβεί σε ενδελεχή μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος και ανάλυση των επιδόσεων του, χρησιμοποιώντας λεπτομερείς προσομοιώσεις ανά ώρα. Εδώ, μπορούμε να δημιουργήσουμε διάφορες παραλλαγές του συστήματος («παραλλαγές υπολογισμού») και συγκρίνοντας τις, να καταλήξουμε στον καλύτερο δυνατό σχεδιασμό.



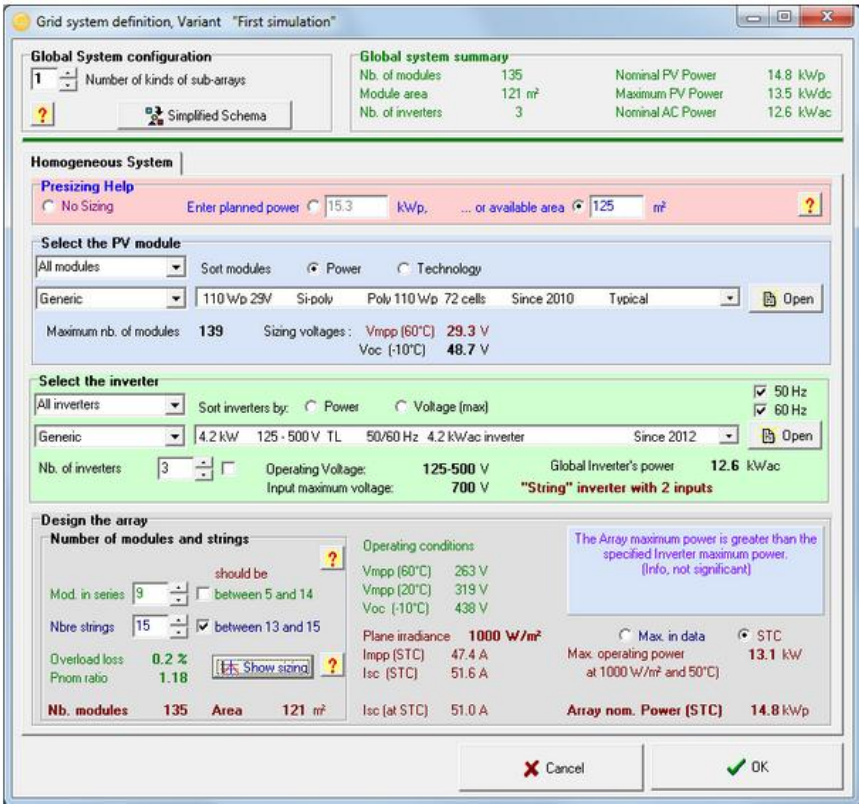
Εικόνα 3.20 Οθόνη σχεδιασμού έργου του PVsyst.

Το λογισμικό διαθέτει πλήρη βάση δεδομένων για φωτοβολταϊκά πλαίσια, μετατροπείς, μπαταρίες, αντλίες, ελεγκτές, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από την Photon International. Τα μετεωρολογικά δεδομένα για την εκάστοτε θέση, μπορούν να αντληθούν από διάφορες πηγές (Meteonorm 7.1, PVGIS, NASA), ενώ παρέχεται τρισδιάστατη εφαρμογή για την προσομοίωση των σκιάσεων.

Ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται σε μια γρήγορη και απλή διαδικασία που περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

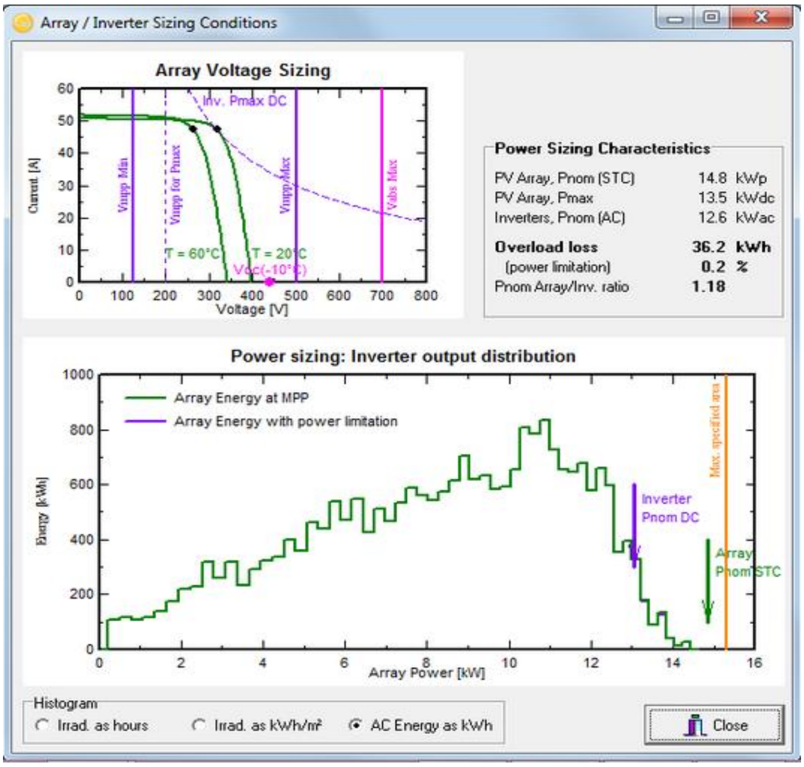
1. Καθορισμός επιθυμητής ισχύος,
2. Επιλογή φωτοβλταϊκών πλαισίων από την βάση δεδομένων,
3. Επιλογή μετατροπέα από την βάση δεδομένων.

Με τα στοιχεία αυτά, το PVsyst θα διαμορφώσει το σύστημα, ώστε να επιτευχθεί μια προκαταρκτική προσομοίωση.



Εικόνα 3.21 Διαμόρφωση συστήματος στο PVsyst.

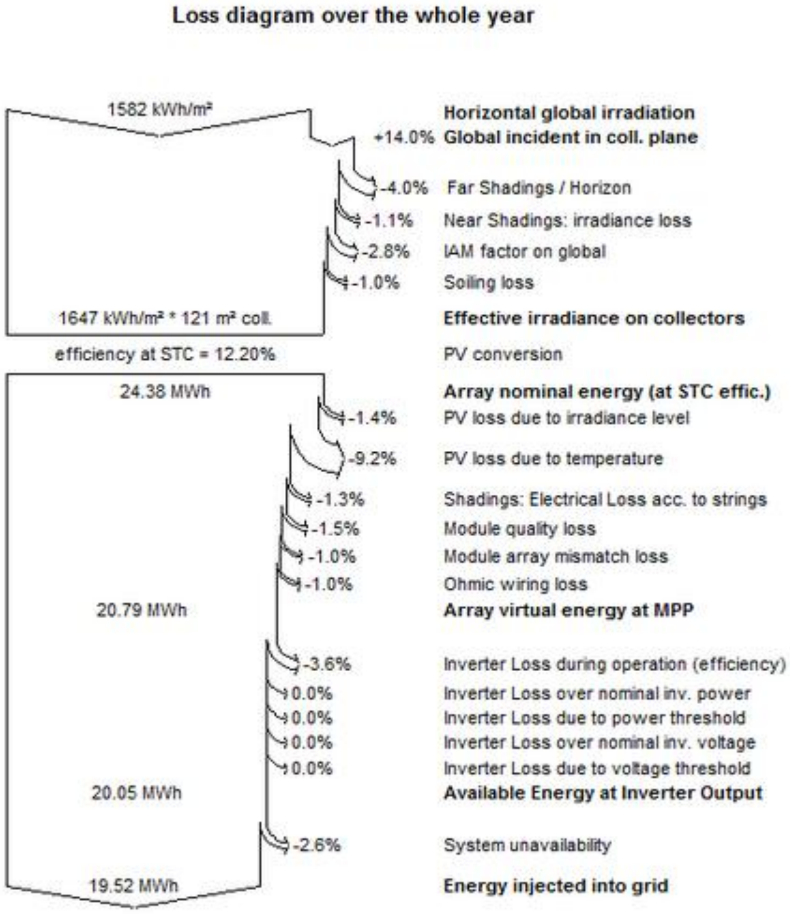
Η σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος γίνεται μέσω ενός οπτικού εργαλείου, το οποίο συγκεντρώνει όλους τους απαραίτητους περιορισμούς.



Εικόνα 3.22 Οπτικό εργαλείο PVsyst για σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος.

Το πρώτο διάγραμμα της εικόνας 3.22, δείχνει την καμπύλη I-V της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, σε συνδυασμό με το εύρος MPPT, την τάση, την ισχύ, και τα όρια ρεύματος του μετατροπέα, για ένα αριθμό πλαισίων σε σειρά, ενώ το δεύτερο διάγραμμα παρουσιάζει την ετήσια κατανομή ισχύος της συστοιχίας, με την ονομαστική ισχύ συστοιχίας και μετατροπέα. Εξειδικευμένα εργαλεία παρέχονται, επίσης, για την αξιολόγηση των απωλειών καλωδίωσης, αναντιστοιχίας μεταξύ των πλαισίων, ακαθαρσιών, μη διαθεσιμότητας του συστήματος, κλπ..

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματος δίνονται σε μορφή πλήρους έκθεσης με γραφήματα και πίνακες και περιλαμβάνουν: την κατανομή της ενέργειας που παράγεται από το σύστημα σε όλη τη διάρκεια ενός έτους, το βαθμό απόδοσης, την ειδική ενέργεια (KWh/KWp), που αποτελεί δείκτη της παραγωγής με βάση τη διαθέσιμη ακτινοβολία, ενώ, παρέχεται και αναλυτικό διάγραμμα των απωλειών στη διάρκεια ενός έτους.



Εικόνα 3.23 Αναλυτικό διάγραμμα των απωλειών στη διάρκεια ενός έτους.

Τέλος, το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα οικονομικής αξιολόγησης της επένδυσης, με πραγματικές τιμές των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν.

3.2.1.8 PLAN4SOLAR PV

Το λογισμικό PLAN4SOLAR PV, αναπτύχθηκε από την γερμανική εταιρία Gascad 3D Technologie και αποτελεί μοναδική λύση για έναν απλό και γρήγορο σχεδιασμό και υπολογισμό φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Είναι διαθέσιμο σε πολλές γλώσσες, ενώ, παρέχει βάση δεδομένων των φορτίων ανέμου και χιονιού και των σχετικών τιμολογίων εσόδων για πολλές χώρες, προκείμενου, τα εξαγόμενα αποτελέσματα να είναι, όσο το δυνατόν περισσότερο, ρεαλιστικά.

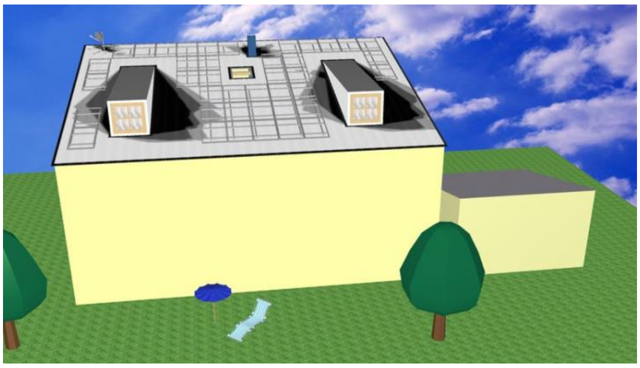
Η τελευταία διαθέσιμη έκδοση του λογισμικού είναι το PLAN4SOLAR PV 4.4, με κόστος 1599 €, ενώ, υπάρχει και δωρεάν δοκιμαστική έκδοση, για χρονικό διάστημα ενός μήνα, στη γερμανική γλώσσα.

Το λογισμικό χρησιμοποιεί μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα για την προσπίπτουσα, σε κάθε περιοχή, ηλιακή ακτινοβολία, που παρέχονται από την ελβετική εταιρία Meteotest, γνωστή για την εμπειρία και την αξιοπιστία της στον τομέα. Διαθέτει, ακόμα, βάσεις δεδομένων για πάνω από 27.000 φωτοβολταϊκά πλαίσια και μετατροπείς 33 κατασκευαστών, οι οποίες ενημερώνονται συχνά από την Photovoltaikforum.com.

Με το PLAN4SOLAR PV, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει εύκολα και γρήγορα το πλαίσιο συναρμολόγησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Βασισμένο στις προδιαγραφές του φύλλου καταχώρησης και την τρέχουσα κατάσταση σχεδιασμού, το λογισμικό, υπολογίζει τα απαραίτητα σημεία και υλικά στερέωσης (γάντζοι στέγης, διαμήκεις σύνδεσμοι κλπ.), καθιστώντας εφικτό το σχεδιασμό ακόμα και της παραμικρής βίδας, ενώ, είναι δυνατή η δομική ανάλυση και ο στατικός έλεγχος της κατασκευής.

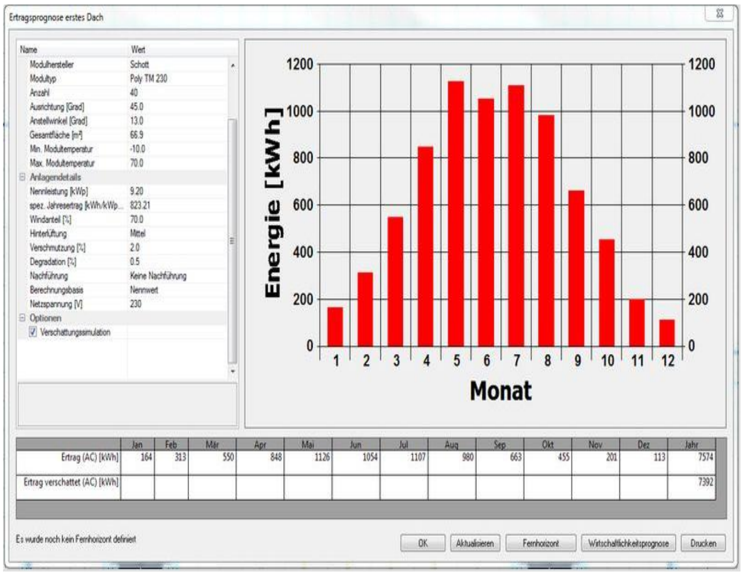
Ο σχεδιασμός του μετατροπέα μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή αυτόματα, καθώς, μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα παρέχονται όλες οι σχετικές προτάσεις, προκειμένου ο σχεδιαστής να επιλέξει τον καταλληλότερο, βάσει των απαιτήσεων του σχεδιασμού.

Μετά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του συστήματος, το λογισμικό παρουσιάζει στο χρήστη, στους πελάτες αλλά και στον κάθε ενδιαφερόμενο, μια ρεαλιστική εικόνα του συστήματος, μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισης που παρέχει. Πάνω στο τρισδιάστατο σχέδιο, εισάγονται εύκολα τα γειτονικά εμπόδια (δέντρα, καμινάδες κλπ.) και οι ζώνες περιορισμένης πρόσβασης, πραγματοποιώντας μια αναλυτική μελέτη σκίασης.

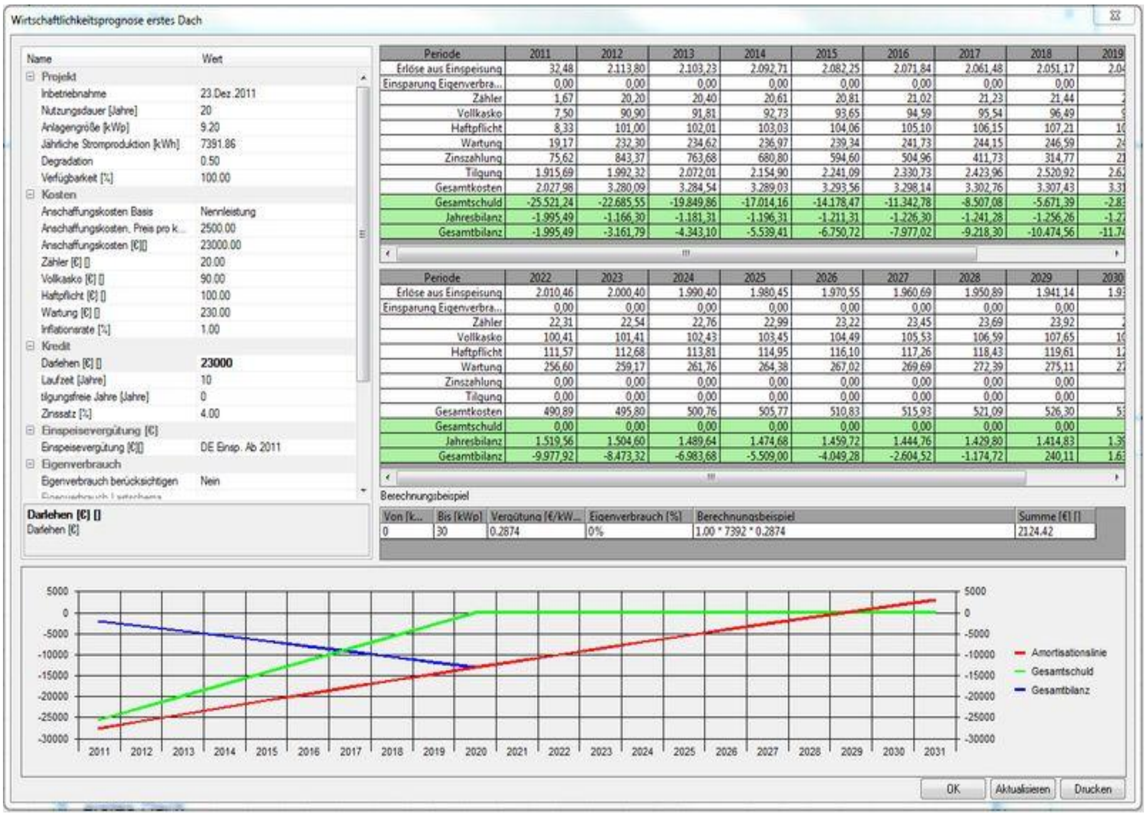


Εικόνα 3.28 Μελέτη σκίασης στο PLAN4SOLAR PV.

Τέλος, το λογισμικό πραγματοποιεί οικονομική μελέτη του έργου και ανάλυση των εσόδων, με συγκεκριμένα δεδομένα για πολλές χώρες, εξετάζοντας, έτσι, εκτός από την παραγωγικότητα της εγκατάστασης σε ενέργεια, την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.



Εικόνα 3.29 Αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή στο PLAN4SOLAR PV.



Εικόνα 3.30 Οικονομική μελέτη εγκατάστασης με το PLAN4SOLAR PV.

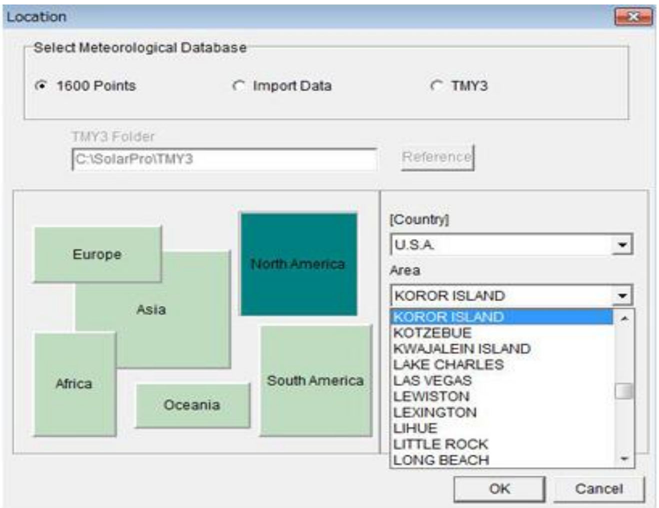
3.2.1.9 Solar Pro

Το Solar Pro είναι ένα εξελιγμένο λογισμικό προσομοίωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων, που αναπτύχθηκε από την εταιρία Laplace Systems. Η τελευταία έκδοσή του είναι το Solar Pro 4.3, κατάλληλη για εγκατάσταση σε όλες της εκδόσεις των Windows, ενώ, υπάρχει διαθέσιμη και δοκιμαστική έκδοση για ένα μήνα.

Το λογισμικό είναι σε θέση να προσομοιώσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από τις συνθήκες του εκάστοτε συστήματος, ώστε να επιτρέπει το σχεδιασμό με ακριβή δεδομένα, ενώ, τα υπολογιζόμενα στοιχεία εξάγονται με γραφικό τρόπο.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρουσιάσεις επιστημονικών εργασιών και στην εκπαίδευση, σε θέματα που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών συστημάτων.

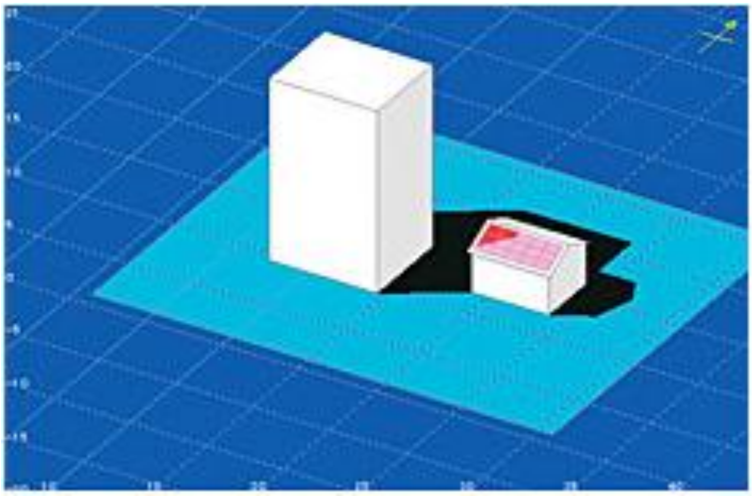
Το λογισμικό διαθέτει βάση μετεωρολογικών δεδομένων (World 1.360 places, MONSOLA-11), ενώ, υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων και από άλλες πηγές (πραγματικές τιμές που έχουν προκύψει από μετρήσεις, ετήσια δεδομένα του Meteonorm, SolarGIS, NSRDB, TMY 3 data, METPV-11). Επιπλέον, υπάρχει ενσωματωμένη βάση δεδομένων με πάνω από 30 κατασκευαστές και 580 είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων, ενώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει και στοιχεία της Photon.



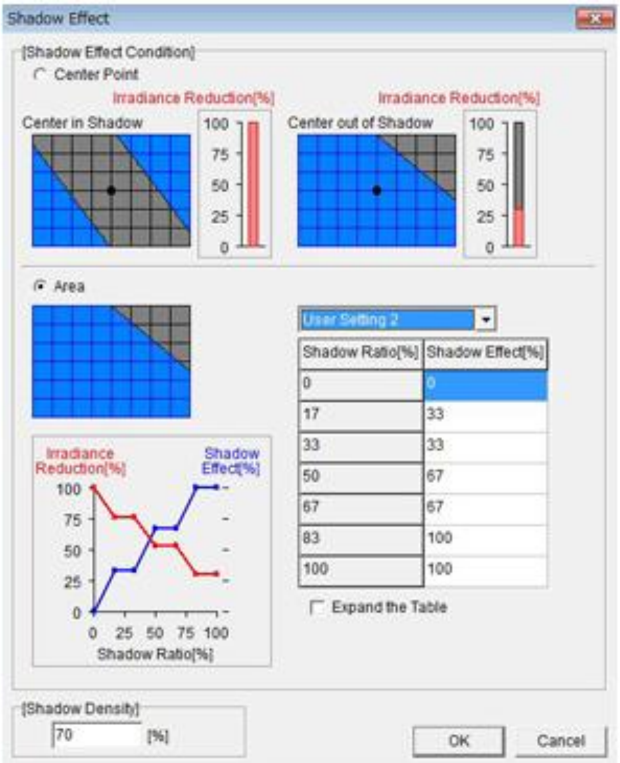
Εικόνα 3.31 Βάση μετεωρολογικών δεδομένων SOLARPRO.

Το πρόγραμμα υποστηρίζει όλα τα είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων, ενώ, όσον αφορά στη διαμόρφωση του συστήματος, μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 400 μετατροπείς και μέχρι 160.000 πλαίσια (η κάθε συστοιχία δεν πρέπει να ξεπερνά τα 400 πλαίσια) σε ένα σύστημα.

Μέσω της εφαρμογής 3D CAD που διαθέτει, καθιστά εύκολο το σχεδιασμό της περιοχής εγκατάστασης αν πρόκειται για φωτροβολταϊκό πάρκο ή της στέγης αν πρόκειται για οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα. Έτσι, στην προσομοίωση συμπεριλαμβάνεται και η επιρροή της σκίασης από γύρω κτίρια και αντικείμενα, που επιτρέπει στους χρήστες να πραγματοποιούν τις βέλτιστες ρυθμίσεις πριν από την εγκατάσταση του συστήματος. Ακόμα, η τελευταία έκδοση του λογισμικού, επιτρέπει την εισαγωγή αρχείων εικόνας (Bing Maps ή άλλα), γεγονός που συμβάλει σε ένα πιο ακριβή σχεδιασμό.



Εικόνα 3.32 3D σχεδιασμός εγκατάστασης στο Solar Pro.

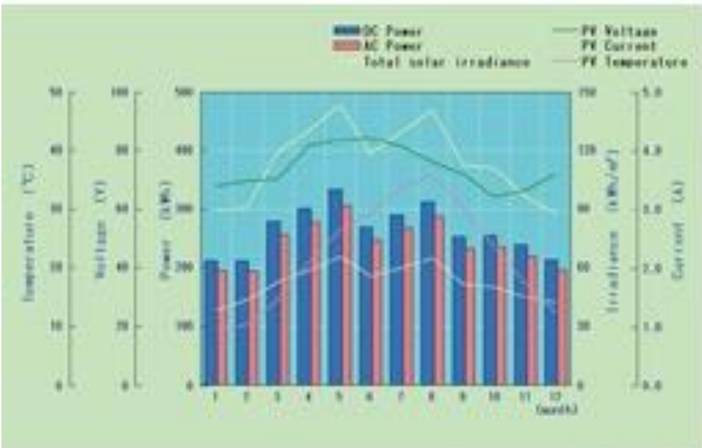


Εικόνα 3.33 Υπολογισμός επίδρασης σκιάσεων στο Solar Pro.

Το λογισμικό υπολογίζει την καμπύλη I-V (ρεύματος-τάσης) των ηλιακών συλλεκτών με ακρίβεια και ταχύτητα, με βάση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του προϊόντος κάθε κατασκευαστή.

Εικόνα 3.34 Καμπύλη I-V ηλιακού συλλέκτη που επιλέχθηκε, στο Solar Pro.

Τα αποτελέσματα που δίνει στην έξοδό του το Solar Pro, είναι το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με βάση τα γεωγραφικά πλάτη, μήκη και τις καιρικές συνθήκες του χώρου εγκατάστασης, τα αποτελέσματα σκίασης και την ανάλυση του κύκλου ζωής του φωτοβολταϊκού συστήματος, ενώ η τελευταία έκδοση, Solar Pro 4.3, παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης κόστους κατασκευής της εγκατάστασης (πάνελ, μετατροπείς, κατασκευή κλπ.).

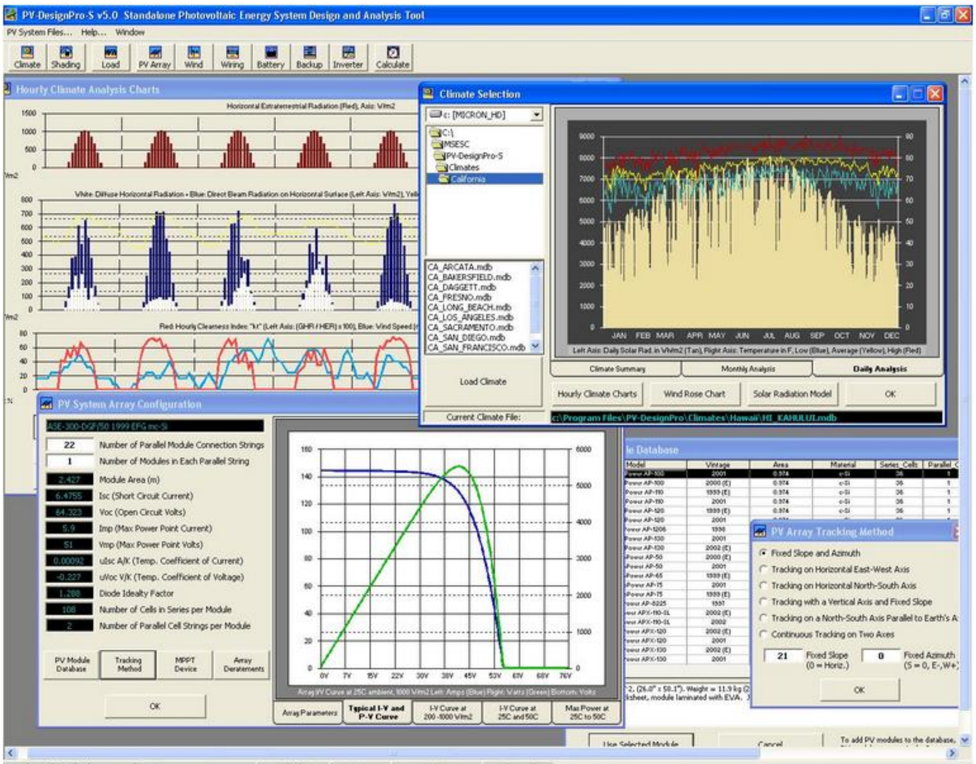


Εικόνα 3.35 Αποτελέσματα ενεργειακής παραγωγής στο Solar Pro.

Το λογισμικό είναι αρκετά εύκολο στη χρήση, όμως το γραφικό του περιβάλλον είναι λιγότερο εξελιγμένο από αυτό άλλων λογισμικών, ενώ, κρίνεται καταλληλότερο για μελέτες οικιακών φωτοβολταϊκών.

3.2.1.10 PV-Design-PRO

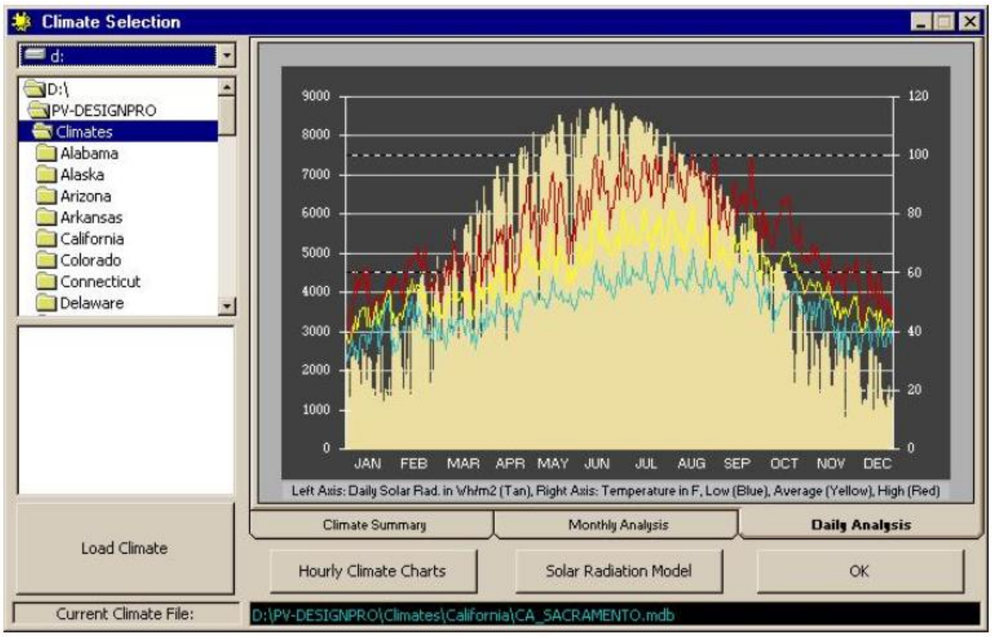
Το λογισμικό PV-Design-Pro, της εταιρίας Maui Solar Energy, έχει σχεδιαστεί για την προσομοίωση της λειτουργίας φωτοβολταϊκών ενεργειακών συστημάτων, σε ωριαία βάση, για ένα έτος, με βάση ένα, επιλεγμένο από το χρήστη, σχεδιασμό συστήματος. Η τελευταία έκδοση του λογισμικού είναι η PV-Design Pro v6.0 και διατίθεται σε CD-ROM, στην τιμή των $ 249 (+$ 10 για τα μεταφορικά έξοδα). Στο CD-ROM, περιλαμβάνονται τρεις εκδόσεις του λογισμικού: η «PV-Design-Pro-S» για αυτόνομα συστήματα με μπαταρία, η «PV-Design-Pro-G» για διασυνδεδεμένα συστήματα χωρίς μπαταρία, και η «PV–Design-Pro-P» για τα συστήματα άντλησης νερού.



Εικόνα 3.36 Εικόνα από την “S” έκδοση του PV-Design-Pro.

Ο σκοπός των προγραμμάτων αυτών είναι να βοηθήσουν στο σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων, παρέχοντας ακριβείς και σε βάθος πληροφορίες για την πιθανή έξοδο ισχύος του συστήματος και την κατανάλωση του φορτίου, την απαραίτητη εφεδρική ισχύ κατά τη λειτουργία του συστήματος, καθώς και, τις οικονομικές επιπτώσεις της εγκατάστασης του προτεινόμενου συστήματος. Το PV-Design-Pro απευθύνεται σε επαγγελματίες σχεδιαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων και ερευνητές, αλλά έχει συμπληρωθεί ώστε να καθίσταται δυνατή η χρήση και από αρχάριους σχεδιαστές.

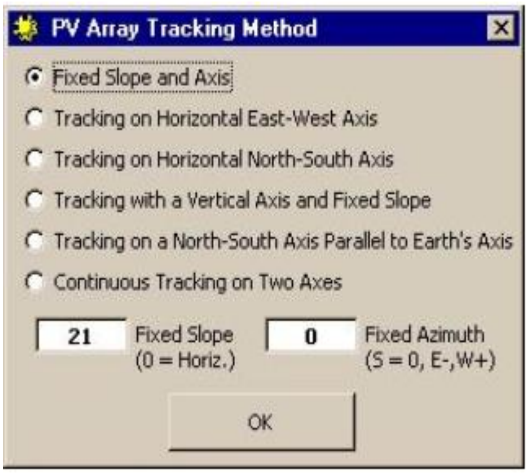
Στο CD-ROM του προγράμματος, περιλαμβάνεται μια βάση κλιματολογικών δεδομένων με 239 τοποθεσίες στην ηπειρωτική ΗΠΑ, την Αλάσκα, τη Χαβάη, το Πουέρτο Ρίκο και το Γκουάμ. Επίσης υπάρχει ένα παγκόσμιο ωριαίο πρόγραμμα γεννήτριας κλιματολογικών δεδομένων με 2.132 καταγραφές, για χρήση στο πρόγραμμα. Επιπλέον, οι χρήστες, μπορούν να δημιουργήσουν τα δικά τους κλιματολογικά δεδομένα για μια συγκεκριμένη τοποθεσία.



Εικόνα 3.37 Επιλογή κλιματολογικών δεδομένων στο PV-Design-PRO.

Το ηλεκτρικό φορτίο στο σύστημα εισάγεται από το χρήστη για τις διάφορες ώρες των ημερών της εβδομάδας.

Όσον αφορά στο σχεδιασμό, η φωτοβολταϊκή συστοιχία, μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας διάφορες εξισώσεις και παραμέτρους που παρέχονται από τους κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ο χρήστης χρειάζεται απλά να επιλέξει τον τύπο του πλαισίου από τη βάση δεδομένων που διαθέτει το πρόγραμμα και να εισάγει τον αριθμό των παράλληλων και σειριακών συνδέσεων πλαισίων του ίδιο τύπου. Διάφορα διαγράμματα, όπως η τυπική καμπύλη I-V-P (ρεύμα-τάση-ισχύς) είναι στη διάθεση του σχεδιαστή, προκειμένου να εκτιμήσει την απόδοση. Σχετικά με τον τρόπο εγκατάστασης, το πρόγραμμα είναι κατάλληλο για το σχεδιασμό τόσο συστημάτων σταθερής κλίσης, όσο και παρακολούθησης της κίνησης του ηλίου (ενός ή δύο αξόνων).



Εικόνα 3.38 Επιλογή τρόπου στήριξης πλαισίων στο PV-Design-PRO.

Το λογισμικό διαθέτει, επίσης, βάση δεδομένων για μετατροπείς, από την οποία ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει τον κατάλληλο, βάσει των απαιτήσεων του σχεδιασμού. Συσκευές MPPT μπορούν να εισαχθούν στο σχεδιασμό, αν είναι γνωστή η συνολική τους αποδοτικότητα. Επιπλέον, είναι εφικτή η διαστασιολόγηση των καλωδίων, προκειμένου να υπολογιστούν οι πτώσεις τάσης σε αυτά και κατ’ επέκταση οι καλωδιακές απώλειες.

Οι παράμετροι φόρτισης των μπαταριών ορίζονται από το χρήστη, ενώ, μετά το πέρας του σχεδιασμού, τα αποτελέσματα εξάγονται εύκολα με το πάτημα ενός κουμπιού. Ο υπολογισμός διαρκεί 8-15 δευτερόλεπτα σε ένα υπολογιστή επιπέδου Pentium.

Ως αποτελέσματα εξόδου του προγράμματος λαμβάνονται: το ποσοστό του φορτίου που ικανοποιείται από ηλιακή ενέργεια για κάθε μήνα του έτους, οι καταστάσεις φόρτισης της μπαταρίας ανά μήνα (μέγιστο, μέσος όρος, το ελάχιστο), ένας ετήσιος πίνακας απόδοσης (ενέργεια που παράγεται, απαραίτητο back-up, καταστάσεις φόρτισης), μια ετήσια ανάλυση κόστους ενέργειας , οικονομική ανάλυση και ανάλυση του κύκλου ζωής του συστήματος.

Τα αποτελέσματα εξάγονται σε μια πλήρη έκθεση, με πίνακες αριθμητικών δεδομένων και διαγράμματα.

3.2.1.11 HELIOS 3D

Το λογισμικό HELIOS 3D, της εταιρίας Stöhr-Sauer, είναι ένα από τα πιο ισχυρά εργαλεία σχεδιασμού φωτοβολταϊκών έργων που διατίθενται στην αγορά. Η επιτυχία του έχει αποδειχθεί σε όλο τον κόσμο, εδώ και περίπου τρία χρόνια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για έργα μεγάλης κλίμακας, με αρκετά GW εγκατεστημένης ισχύος, καθώς και για εγκαταστάσεις σε μεγάλες στέγες. Τα διαγράμματα και τα σχέδια του HELIOS 3D μπορούν να ολοκληρωθούν σε πολύ λιγότερο χρόνο από αυτόν που απαιτείται από παραδοσιακές μεθόδους. Το λογισμικό έχει ιδιαίτερα υψηλό κόστος που ανέρχεται στα 8.270,5 €, για άδεια ενός έτους.

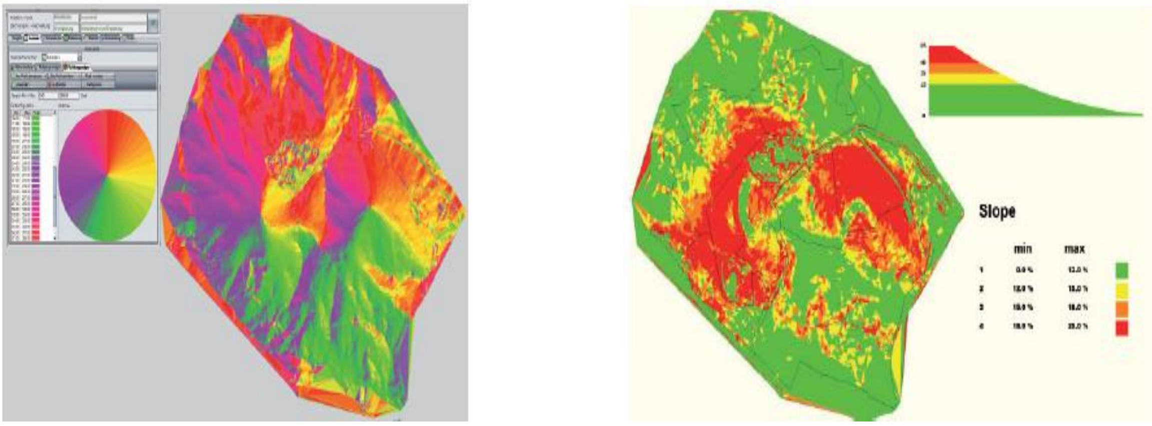
Η διαδικασία σχεδιασμού ενός φωτοβολταϊκού έργου από το HELIOS 3D διακρίνεται σε τρεις φάσεις:

1. Ανάπτυξη του έργου
2. Σχεδιασμός του έργου
3. Μηχανικό κομμάτι

Οι φάσεις αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια:

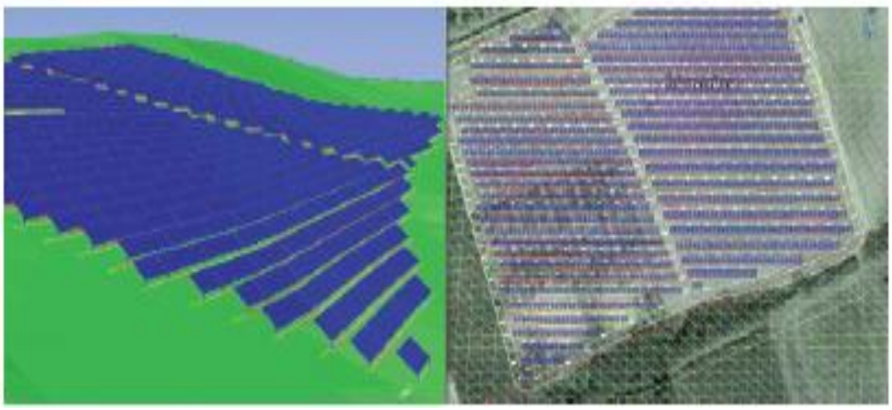
Ανάπτυξη του έργου

Το λογισμικό, παρέχει τη μοναδική ικανότητα για αξιολόγηση του εδάφους και επιλογή των περιοχών που είναι κατάλληλες για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, μέσω πληθώρας εργαλείων ανάλυσης που διαθέτει. Τα δεδομένα για την αξιολόγηση του εδάφους της εκάστοτε περιοχής, μπορούν να αντληθούν από διάφορες πηγές. Σε αυτή τη φάση, ένας έμπειρος σχεδιαστής, μπορεί εύκολα να υποδιαιρέσει την περιοχή, κρατώντας εκτός, περιοχές για τεχνικό εξοπλισμό ή πρόσβαση στο δρόμο, και να κάνει μια πρόχειρη εκτίμηση της μέγιστης ισχύος που μπορεί να εγκατασταθεί.



(α) (β)

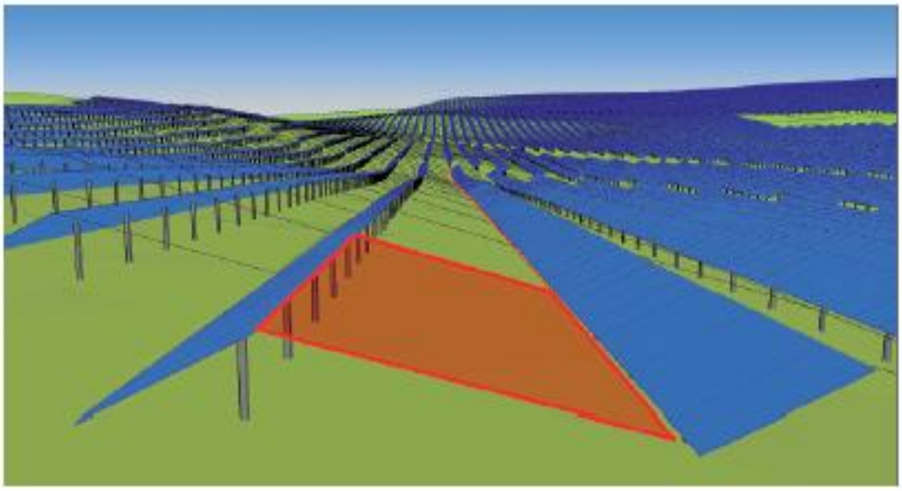
Εικόνα 3.39 Διαδικασία επιλογής κατάλληλων περιοχών στο HELIOS 3D : α) Ανάλυση προσανατολισμού, β) Ανάλυση κλίσης.



Εικόνα 3.40 Σχέδιο φωτοβολταϊκής διάταξης στο HELIOS 3D.

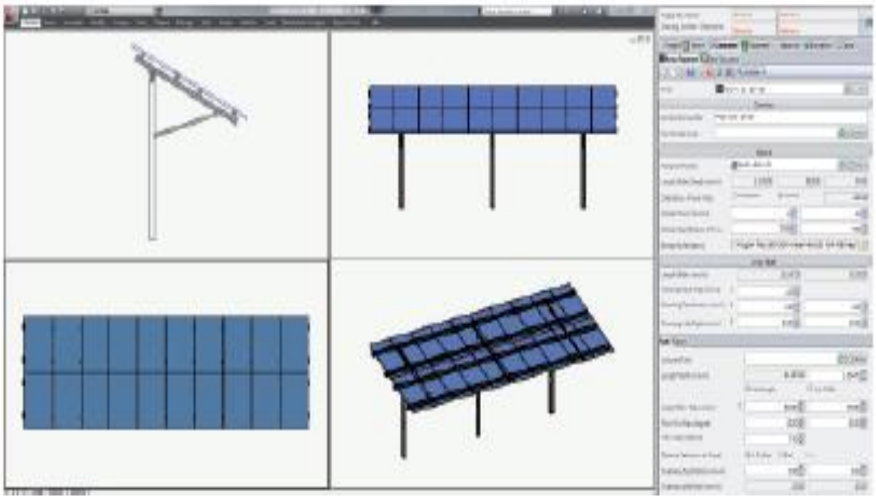
Σχεδιασμός έργου

Η βασική επιδίωξη του HELIOS 3D είναι, να τοποθετεί τις συστοιχίες στις καταλληλότερες περιοχές, αποφεύγοντας οποιαδήποτε σκίαση σε αυτές, προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση του συστήματος. Αυτό γίνεται σε συνδυασμό με τις πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική θέση της περιοχής του έργου και με μια ημερομηνία και ώρα αναφοράς, μέσω των οποίων καθορίζεται η πραγματική γωνία του ήλιου. Για να επιτευχθεί μια τοποθέτηση συστοιχιών χωρίς σκιάσεις, υπολογίζεται η μεγαλύτερη σκιά σε μια σειρά, και η απόσταση για την επόμενη σειρά ορίζεται σε αυτή την τιμή.



Εικόνα 3.41 Μελέτη σκιάσεων στο HELIOS 3D.

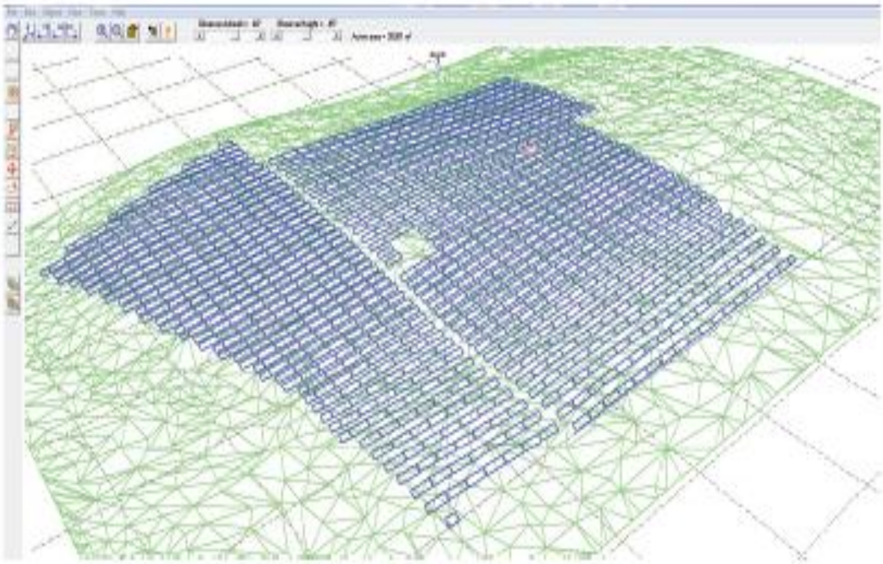
Για τη διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ο σχεδιαστής επιλέγει αρχικά τον τύπο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και στην συνέχεια ορίζει τη φυσική διάταξη των πλαισίων σε σειρές και στήλες. Το αποτέλεσμα του σχεδιασμού παρέχεται σε τρισδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 3.42 3D μοντέλο φωτοβολταϊκής συστοιχίας στο HELIOS 3D.

Ένα, ακόμα, ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του λογισμικού αυτού, είναι ότι επιτρέπει στον μελετητή να διαχωρίσει το χώρο εγκατάστασης σε επιμέρους περιοχές και να μελετήσει καθεμιά από αυτές ξεχωριστά, ώστε να μπορέσει να διαχειριστεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις ιδιαιτερότητες της καθεμιάς πχ. διαφορετικά φορτία ανέμου.

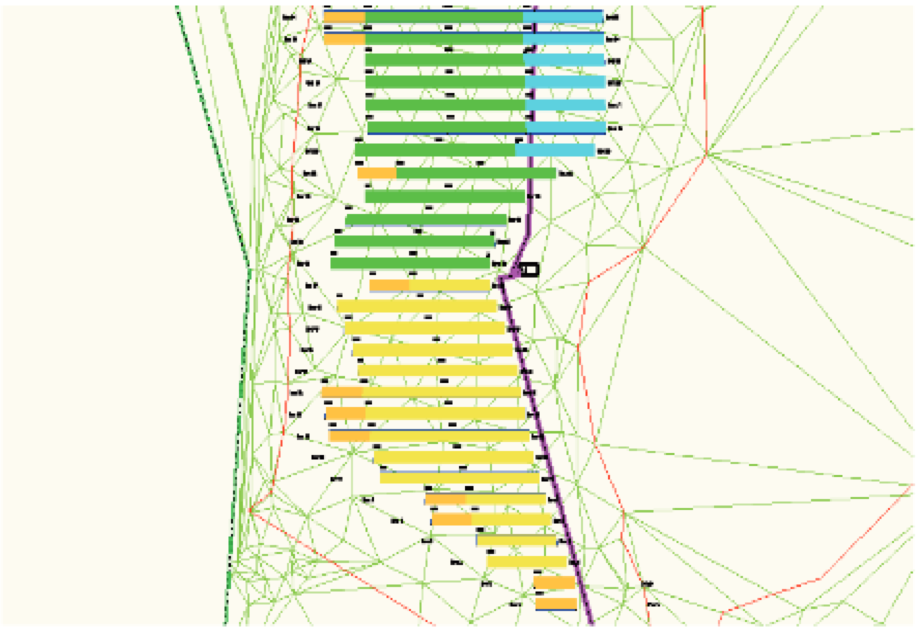
Μετά το πέρας του σχεδιασμού, πλήρες τρισδιάστατο μοντέλο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μπορεί να εισαχθεί στο λογισμικό PVsyst, προκειμένου να γίνει η εκτίμηση της αποδοτικότητας του συστήματος.



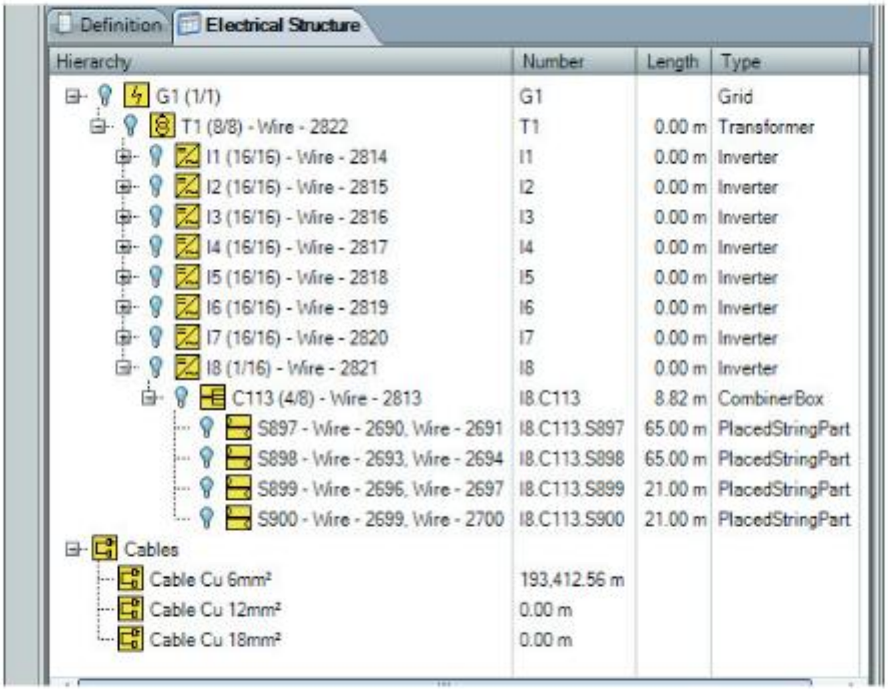
Εικόνα 3.43 Εισαγωγή 3D μοντέλου του συστήματος στο PVsyst.

Μηχανικό κομμάτι

Σε αυτή τη φάση, γίνεται ένα αναλυτικός ηλεκτρολογικός σχεδιασμός του συστήματος, με καθορισμό των επιμέρους ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων της εγκατάστασης (αντιστροφείς, μετασχηματιστές), καθώς και του τύπου και των οδεύσεων των καλωδίων.



Εικόνα 3.44 Σχεδιασμός καλωδίων στο HELIOS 3D.

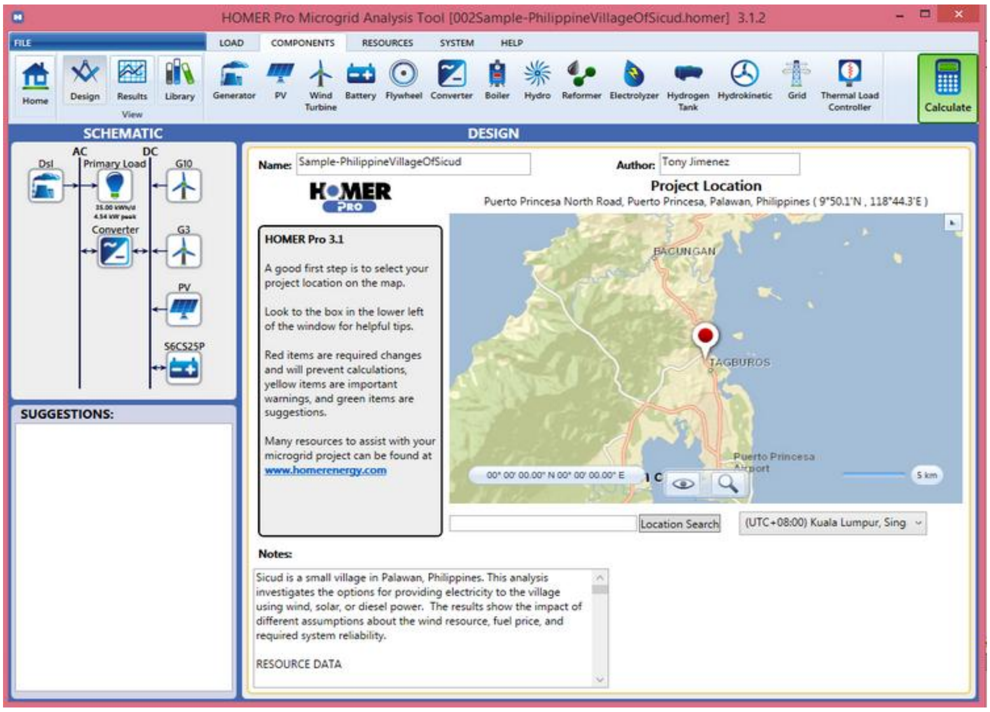


Εικόνα 3.45 Κατάλογος ηλεκτρολογικού εξοπλισμού στο HELIOS 3D.

3.2.1.12 HOMER

Το Homer Pro, λογισμικό μικροδικτύων της Homer Energy, είναι το παγκόσμιο πρότυπο για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού μικροδικτύων σε όλους τους τομείς, από χωριά και νησιά, μέχρι διασυνδεδεμένες στο δίκτυο πανεπιστημιουπόλεις και στρατιωτικές βάσεις. Αρχικά, αναπτύχθηκε στο Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ενώ, εξελίχθηκε και προωθήθηκε από τη Homer Energy. Το Homer διαθέτει τρία ισχυρά εργαλεία σε ένα προϊόν λογισμικού, έτσι ώστε η επιστήμη του μηχανικού και τα οικονομικά να μπορούν να συνεργαστούν:

1. Προσομοίωση: Το Homer προσομοιώνει την λειτουργία ενός υβριδικού μικροδικτύου για ένα ολόκληρο έτος, σε χρονικά βήματα που είναι δυνατόν να κυμαίνονται από το ένα λεπτό έως μία ώρα.
2. Βελτιστοποίηση: Εξετάζει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των τύπων συστήματος σε ένα μονό τρέξιμο, και, στη συνέχεια, ταξινομεί τα συστήματα σύμφωνα με τη μεταβλητή βελτιστοποίησης που επιλέχθηκε.
3. Ανάλυση Ευαισθησίας: Καθιστά εύκολο να συγκριθούν χιλιάδες πιθανότητες σε ένα μόνο τρέξιμο της προσομοίωσης.



Εικόνα 3.46 Αρχική οθόνη HOMER Pro.

Η τελευταία έκδοση του λογισμικού είναι η Homer Pro 3.4 (Οκτώβριος 2015), είναι κατάλληλη για όλες τις εκδόσεις των Windows και κοστίζει ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο προορίζεται:

- Η βασική άδεια: $ 500-1000 το έτος.
- Η ακαδημαϊκή άδεια: $ 250-500 το έτος.
- Η μαθητική άδεια: $ 125-250 το έτος.

Όσον αφορά στη μοντελοποίηση φωτοβολταϊκων συστημάτων, το Homer Pro, είναι κατάλληλο τόσο για αυτόνομα, όσο και για διασυνδεδεμένα συστήματα.

Το λογισμικό διαθέτει βάση μετεωρολογικών δεδομένων για πλήθος σημείων ανά τον κόσμο, μέσα από την οποία, ο σχεδιαστής μπορεί να εντοπίσει το σημείο που τον ενδιαφέρει.

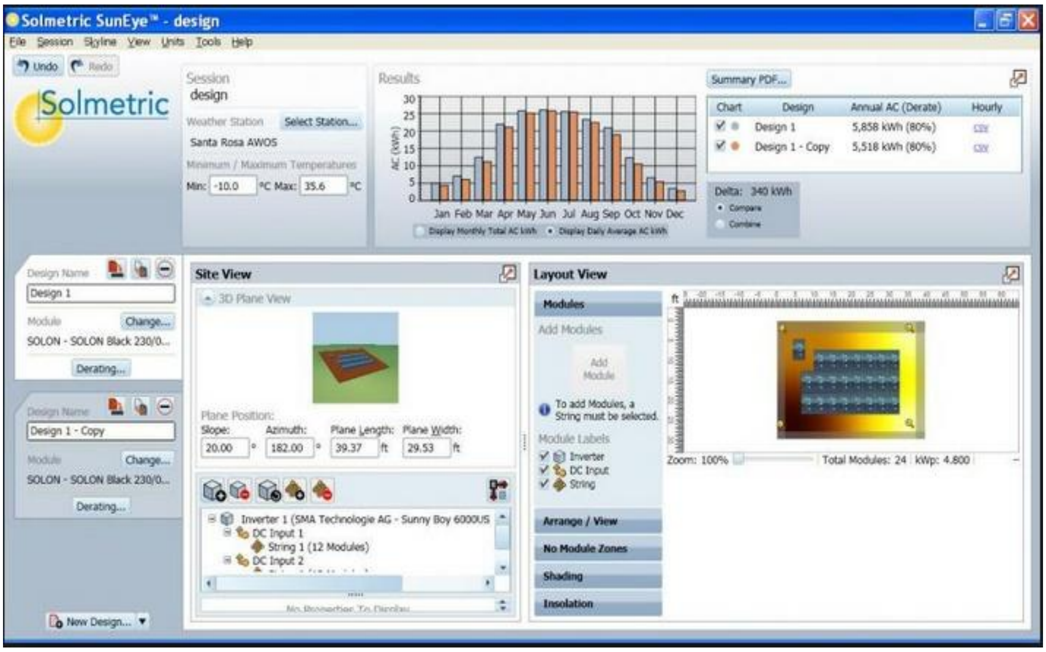
Το λογισμικό παρέχει αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή του συστήματος, πραγματοποιεί ανάλυση κόστους, καθώς και οικονομική ανάλυση, ενώ καθιστά εφικτή τη βελτιστοποίηση του συστήματος, μέσω σύγκρισης πιθανών συνδυασμών των τύπων του συστήματος.

3.2.1.13 PV Designer

Το λογισμικό PV Designer αναπτύχθηκε από την εταιρία Solmetric για το σχεδιασμό οικιακών ή μικρών εμπορικών φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το PV Designer παρέχει στο χρήστη, εύκολα και γρήγορα, τις παρακάτω δυνατότητες:

- Σχεδιασμός περιγράμματος οροφής και καθορισμός περιοχών στις οποίες δε θα τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- Εισαγωγή μετρήσεων σκίασης SunEye σε συγκεκριμένα σημεία της οροφής.
- Διαστασιολόγηση συστοιχιών.
- Έλεγχος ορίων των inverter.
- Υπολογισμός της παραγόμενης από το σύστημα ενέργειας.



Εικόνα 3.47 Αρχική οθόνη PV-Designer.

Περιλαμβάνει εκτεταμένη, παγκόσμια βάση μετεωρολογικών δεδομένων, πλαισίων και μετατροπέων. Παρέχει στο σχεδιαστή τη δυνατότητα να δοκιμάσει διάφορα σενάρια σχεδιασμού και, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, να επιλέξει την καλύτερη σχεδίαση. Τα αποτελέσματα της μελέτης, μπορούν να εξαχθούν σε μορφή PDF και να εκτυπωθούν ή να σταλούν με e-mail στους πελάτες.

3.2.1.14 HelioScope

Το λογισμικό HelioScope αναπτύχθηκε από την εταιρία Folsom Labs για το σχεδιασμό διασυνδεδεμένων στο δίκτυο, φωτοβολταϊκών συστημάτων (μέχρι 5 MW) και αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τις εταιρίες κατασκευής, καθώς εξασφαλίζει εύκολη συνεργασία τους με συνεργάτες και υπεργολάβους. Διατίθεται στην τιμή $ 79/μήνα ($ 950/έτος), ενώ, υπάρχει και δωρεάν online δοκιμαστική έκδοση.

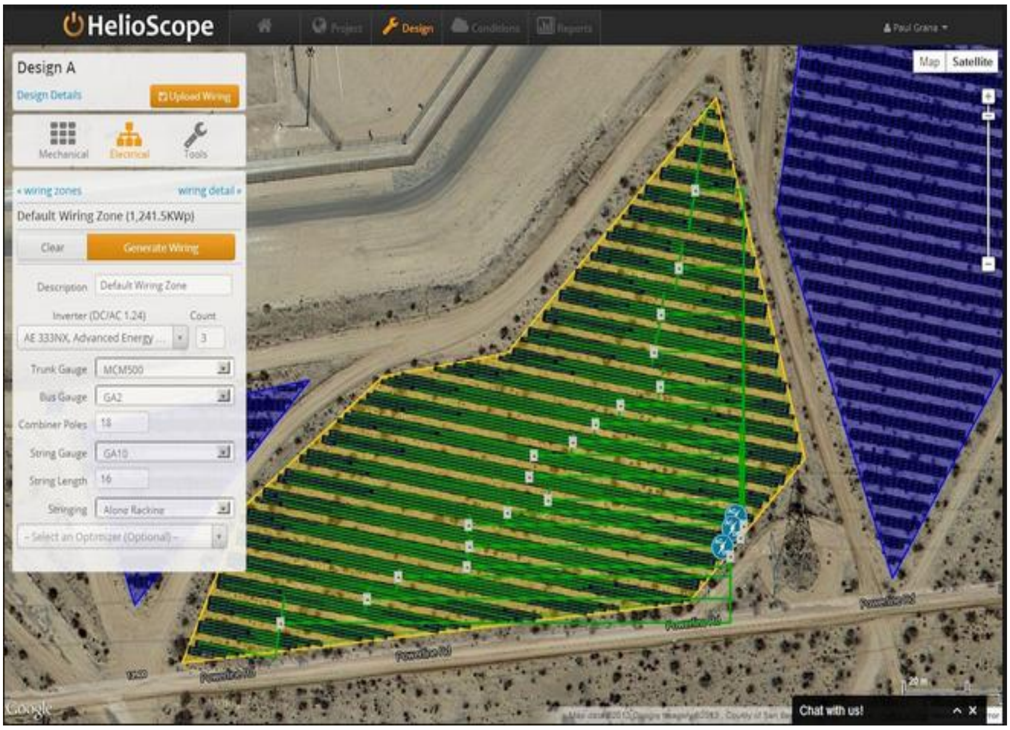
Το HelioScope, παρέχει στις εταιρίες κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων δυνατότητα για:

- γρήγορη δημιουργία προσφορών,
- ανάλυση των σχεδιαστικών αποφάσεων και

• βελτιστοποίηση της ροής εργασιών.

Συνδυάζοντας τις δυνατότητες που έχουν το PVsyst και το Autocad μαζί, συμβάλλει στην εξοικονόμηση σημαντικού χρόνου.

Με τη βοήθεια της εφαρμογής Google Map που διαθέτει, ο σχεδιαστής μπορεί εύκολα να εντοπίσει τη θέση που τον ενδιαφέρει, να σχεδιάσει επί τόπου πάνω στο χάρτη μια συστοιχία, να δημιουργήσει ένα διάγραμμα του φωτοβολταϊκού συστήματος και να υπολογίσει την παραγόμενη ενέργεια σε μερικά λεπτά. Με αυτό τον τρόπο, η σύνταξη προσφορών γίνεται στο μισό χρόνο από πριν.



Εικόνα 3.48 Σχεδιασμός φωτοβολταϊκού συστήματος στο HELIOSCOPE.

Υπάρχει διαθέσιμη βάση μετεωρολογικών δεδομένων, ενώ, για τον υπολογισμό σκιάσεων παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής αρχείων ορίζοντα για κάθε θέση (όπως αυτά που δημιουργούνται από Solmetric Suneye), τα οποία καθορίζουν το βαθμό σκίασης της συστοιχίας από μακριά. Για λεπτομερέστερο υπολογισμό σκιάσεων, είναι δυνατό να εισαχθούν από το SketchUp τρισδιάστατα μοντέλα, προκειμένου να καθοριστεί η σκίαση της συστοιχίας από γειτονικά αντικείμενα. Αυτή η σκίαση θα προκαλέσει απώλεια άμεσου ηλιακού φωτός στις φωτοβολταϊκές μονάδες.

Ο σχεδιαστής επιλέγει μέσα από μια ενημερωμένη βάση δεδομένων φωτοβολταϊκών πλαισίων και μετατροπέων, ενώ, κάνοντας χρήση του «HelioScope's design-driven approach», μπορεί να αξιολογήσει γρήγορα τις εναλλακτικές σχεδιασμού (κλίση, αζιμούθιο, GCR) και να καταλήξει στην καλύτερη εναλλακτική για κάθε συστοιχία.

3.2.1.15 SOLergo

Το SOLergo είναι ένα ιταλικό λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εταιρία Electro Graphics και επιτρέπει τον πλήρη σχεδιασμό διασυνδεδεμένων και αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η τελευταία έκδοση του λογισμικού είναι η SOLergo 7.1 και είναι κατάλληλη για εγκατάσταση σε όλες τις εκδόσεις των Windows.

Το λογισμικό επιτρέπει τον προσδιορισμό της μέσης ακτινοβολίας σύμφωνα με το UNI 10349 ή τους πίνακες ENEA, ενώ είναι δυνατή η εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων από το PV-GIS. Με την εφαρμογή Google Map που διαθέτει, καθιστά εύκολο τον προσδιορισμό της θέσης στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση του συστήματος και είναι κατάλληλο, τόσο για σχεδιασμό συστημάτων σταθερής κλίσης, όσο και παρακολούθησης του ηλίου με trackers, ενός ή δύο αξόνων.

Το SOLergo διαθέτει ενημερωμένη βάση δεδομένων φωτοβολταϊκών πλαισίων, μετατροπέων και ηλεκτρικών εξαρτημάτων (καλωδίων, μετασχηματιστών και απαγωγών υπερτάσεων), ενώ υπάρχει δυνατότητα επέκτασης της βάσης δεδομένων από το χρήστη.

Όσον αφορά στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, το πρόγραμμα: υπολογίζει την πραγματική προσπίπτουσα ακτινοβολία στα πλαίσια, μπορεί να διαιρέσει το σύστημα σε υπο-γεννήτριες, ανεξάρτητες μεταξύ τους, επιλέγει τα πάνελ που σχηματίζουν τα strings, πραγματοποιεί τη σύζευξη με τον μετατροπέα, υπολογίζει τις απώλειες που οφείλονται σε θερμότητα των πλαισίων, πραγματοποιεί αξιολόγηση των απωλειών στα πλαίσια, τους μετατροπείς και τα καλώδια και προσδιορίζει την πραγματική παραγωγή ενέργειας του συστήματος σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Όσον αφορά στη διαμόρφωση του μετατροπέα, το πρόγραμμα: επιλέγει τον κατάλληλο, βάσει κριτηρίων οικονομικής και ενεργειακής βελτιστοποίησης και πραγματοποιεί τη σύζευξη με τις στοιχειοσειρές, αναλύοντας διάφορους πιθανούς συνδυασμούς, βάσει των χαρακτηριστικών του μετατροπέα.

Το λογισμικό παρέχει, επιπλέον, τη δυνατότητα λεπτομερούς μελέτης σκίασης. Πραγματοποιείται αυτόματος σχεδιασμός του διαγράμματος σκίασης, που δημιουργήθηκε με ψηφιακές φωτογραφίες του ορίζοντα όπως φαίνεται από την τοποθεσία εγκατάστασης, ενώ υπάρχει δυνατότητα επεξεργασίας του παραπάνω διαγράμματος για τοποθέτηση πρόσθετων στοιχείων (μελλοντικά εμπόδια, δέντρα). Γίνεται αξιολόγηση της σκίασης μεταξύ των σειρών, με αναπαράσταση στο διάγραμμα των σκιάσεων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ορίσει κοντινά εμπόδια σε τρισδιάστατη μορφή, όπως καμινάδες, κεραίες, κιγκλιδώματα, που κατασκευάζονται στην περιοχή, προκειμένου να καθοριστεί η καταλληλότερη θέση τοποθέτησης των πλαισίων. Μετά το πέρας της ανάλυσης, γίνεται σύγκριση της παραγόμενης, από το σύστημα, ενέργειας (για κάθε μήνα του έτους), με ή χωρίς την ύπαρξη κοντινών εμποδίων και, έτσι, προκύπτει το ποσοστό των απωλειών λόγω σκίασης.

Εκτός από την εικονική αναπαράσταση της διάταξης που σχεδιάστηκε, το πρόγραμμα δημιουργεί και μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης, με διαστασιολόγηση των καλωδίων και υπολογισμό της πτώσης τάσης σε αυτά.

Τέλος, πραγματοποιείται ανάλυση εκπομπών, ανάλυση κόστους του συστήματος και πλήρης οικονομική μελέτη της επένδυσης, υπολογίζοντας, παράλληλα, την ενεργειακή παραγωγή και κατανάλωση και εξάγεται πλήρης τεχνική έκθεση με γραφικά και αριθμητικά αποτελέσματα.

3.2.1.16 BlueSol

Το BlueSol είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εταιρία CadWare για τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κάθε χώρα του κόσμου. Επιτρέπει την εκτέλεση όλης της διαδικασίας του σχεδιασμού, από την προκαταρκτική εκτίμηση της παραγωγικότητας, μέχρι την υλοποίηση της τεκμηρίωσης του έργου. Είναι ένα προϊόν πολύ εύκολο στη χρήση, αλλά που ταυτόχρονα μπορεί να διαχειρίζεται κάθε λεπτομέρεια της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Το BlueSol, είναι ένα λογισμικό στην αγγλική γλώσσα, έχει, όμως, το χαρακτηριστικό ότι δεν συνδέεται με τη νομοθεσία μιας συγκεκριμένης χώρας. Έχει αναπτυχθεί σε μεταφρασμένες εκδόσεις, όχι μόνο όσον αφορά τη γλωσσική μετάφραση, αλλά και τη δυνατότητα να τροποποιήσει και να προσθέσει λειτουργικότητα στο πρόγραμμα, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες μιας συγκεκριμένης χώρας.

Αυτή τη στιγμή, υπάρχουν διαθέσιμες δύο εκδοχές του λογισμικού:

- Το BlueSol Express (V. 3.0.008) , που είναι η βασική έκδοση για ένα εύκολο σχεδιασμό και κοστίζει 290 €+ΦΠΑ, και
- Το BlueSol Design (V. 3.0.008), που παρέχει πιο προχωρημένα χαρακτηριστικά για μια πληρέστερη διαχείριση του έργου και κοστίζει 490 €+ΦΠΑ.

Υπάρχει κοινή δοκιμαστική έκδοση διάρκειας 30 ημερών και για τα δύο, ώστε οι ενδιαφερόμενοι να μπορέσουν να δοκιμάσουν το προϊόν, πριν προβούν στην αγορά του.

Το λογισμικό, δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα που επιθυμεί με κάθε λεπτομέρεια, με χρήση βοηθών (wizards) ή με άμεση επεξεργασία.

Η θέση εγκατάστασης μπορεί εύκολα να εντοπιστεί, καθώς το λογισμικό διαθέτει υποστήριξη από διαδικτυακούς χάρτες, και διεθνή μετεωρολογικά δεδομένα NASA-SSE. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής νέων δεδομένων ακτινοβολίας από τον χρήστη, καθώς και από το PV-GIS.

Μέσα από πλήρως ενημερωμένες βάσεις δεδομένων φωτοβολταϊκων πλαισίων, μετατροπέων, καθώς και ηλεκτρικών εξαρτημάτων (αποζεύκτες, διακόπτες, ασφάλειες, δίοδοι, μετασχηματιστές, απαγωγείς υπερτάσεων), ο σχεδιαστής επιλέγει, εύκολα, αυτά που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της μελέτης. Η διαστασιολόγηση των ηλεκτρικών εξαρτημάτων πραγματοποιείται αυτόματα ή χειρονακτικά από το σχεδιαστή και υπολογίζονται οι πτώσεις τάσεις στα καλώδια.

Ο χώρος εγκατάστασης του συστήματος απεικονίζεται σε τρισδιάστατη μορφή. Το λογισμικό διαθέτει ολοκληρωμένο σύστημα CAD γεγονός που καθιστά εφικτή την εισαγωγή φόντου επιπεδομετρίας ως DXF, DWG ή εικόνα και την εισαγωγή κοντινών εμποδίων. Σε τρισδιάστατη μορφή παρέχεται και το σχέδιο της ηλεκτρικής διάταξης, με προσομοίωση της σκίασης των κοντινών εμποδίων και εκτίμηση της ακτινοβολίας στις διάφορες επιφάνειες, ενώ, δημιουργείται αυτόματα και μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης με δυνατότητα επεξεργασίας με εργαλεία CAD.

Σε κάθε βήμα του σχεδιασμού, υπάρχουν βοηθοί (wizards) που κάνουν εύκολη για τους νέους χρήστες τη διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, την επιλογή καλωδίων, τη διαστασιολόγηση ηλεκτρικών εξαρτημάτων και την εισαγωγή καλωδίων και φωτοβολταϊκών μονάδων.

Τέλος, το πρόγραμμα παρέχει ανάλυση κόστους του συστήματος, με κατάλογο των χρησιμοποιηθέντων εξαρτημάτων και πλήρη οικονομική μελέτη της επένδυσης.

3.2.1.17 INSEL

Το INSEL είναι μια γλώσσα γραφικού προγραμματισμού, για την προσομοίωση συστημάτων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και προσφέρει πολλά περισσότερα από ένα συμβατικό λογισμικό προσομοίωσης.

Η τελευταία διαθέσιμη έκδοση του λογισμικού είναι το INSEL 8.2 (με υποστήριξη Matlab/Simulink) και το κόστος της διαμορφώνεται ως εξής: η πλήρης έκδοση κοστίζει 1700 € (+ΦΠΑ), τα πανεπιστήμια, τα διάφορα ερευνητικά ιδρύματα και οι δημόσιοι φορείς έχουν 50% έκπτωση, ενώ οι μαθητές μπορούν να αγοράσουν την πλήρη έκδοση στην τιμή των 85 € (+ΦΠΑ). Υπάρχει, ακόμα, δοκιμαστική έκδοση για 30 μέρες.

Το ISEL είναι κατάλληλο για όλες τις εκδόσεις των Windows, καθώς και για τα άλλα λειτουργικά συστήματα.

Είναι ένα λογισμικό που συμβάλλει στην κατανόηση, το σχεδιασμό, την παρακολούθηση και την απεικόνιση ενεργειακών συστημάτων. Για το σκοπό αυτό παρέχει τελευταίας τεχνολογίας λειτουργίες στην μορφή μπλοκ, για την προσομοίωση μετεωρολογικών δεδομένων, εξαρτημάτων ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας κλπ., τα οποία μπορούν να διασυνδεθούν σε μια συγκεκριμένη λύση ενός προβλήματος προσομοίωσης.

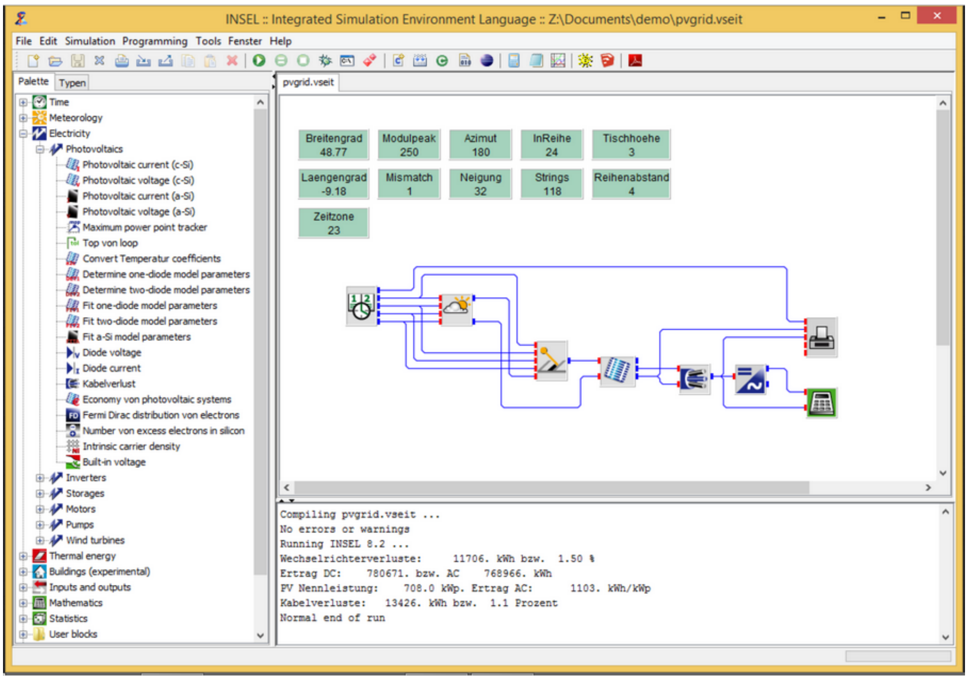
Το INSEL διαθέτει ενσωματωμένες βάσεις δεδομένων για χιλιάδες φωτοβολταϊκά πλαίσια, για τους διαθέσιμους στην αγορά μετατροπείς, για θερμικούς συλλέκτες, καθώς και μετεωρολογικά δεδομένα για 2000 περιοχές παγκοσμίως. Επιπλέον, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει νέα κλιματολογικά δεδομένα.

Οι απώλειες λόγω σκίασης, του υπό μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος, μπορούν να μοντελοποιηθούν με μεγάλη ακρίβεια, καθώς οι μεταβολές στην ακτινοβολία λαμβάνονται υπόψη στην καμπύλη I-V (ρεύματος-τάσης) του συστήματος.

Όσον αφορά τον τρόπο εγκατάστασης, υπάρχει δυνατότητα σχεδιασμού τόσο διασυνδεδεμένων συστημάτων με σταθερό προσανατολισμό, όσο και με ηλιακή παρακολούθηση.

Η προσομοίωση αυτόνομων συστημάτων είναι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του INSEL. Λεπτομερή μοντέλα για μπαταρίες, ρυθμιστές φόρτισης, ανεμογεννήτριες, κυψέλες καυσίμου, γεννήτριες ντίζελ και άλλα είναι διαθέσιμα.

Στην έξοδό του, το λογισμικό παρέχει μια ποικιλία εφαρμογών, όπως γραφικά και αριθμητικά στοιχεία που είτε ορίζονται από το χρήστη ή είναι ενσωματωμένα. Πραγματοποιεί προσομοίωση της ηλιακής ακτινοβολίας και φωτοβολταϊκών και θερμικών ηλιακών συστημάτων. Λαμβάνονται, επίσης, αποτελέσματα για παρακολούθηση ενός άξονα, δύο αξόνων και απώλειες για σταθερές γωνίες κλίσης των συστοιχιών.



Εικόνα 3.49 Αρχική οθόνη INSEL.

3.2.1.18 Skelion

Το λογισμικό Skelion, είναι ένα plug-in του SketchUp, που σημαίνει, ότι προκειμένου ο χρήστης να το εγκαταστήσει στον υπολογιστή του, θα πρέπει να έχει ήδη εγκατεστημένο το SketchUp.

Ο στόχος του Skelion είναι ο σχεδιασμός ηλιακών συστημάτων, με ταχύτερο και πιο αποτελεσματικό τρόπο, ελαττώνοντας, παράλληλα, το κόστος του σχεδιασμού.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, το Skelion, συνδυάζει το SketchUp και το Google Earth με τα ηλιακά λογισμικά που χρησιμοποιούνται συνήθως από τους σχεδιαστές, δίνοντας ως αποτέλεσμα ένα εύκολο στη χρήση λογισμικό για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η σχεδίαση του συστήματος γίνεται στις τρεις διαστάσεις, ενώ περιλαμβάνει και μελέτη σκιάσεων.

Αυτή τη στιγμή, υπάρχουν διαθέσιμες δύο εκδόσεις του λογισμικού:

- Η ελεύθερη έκδοση (Skelion v5.1.9),
- Η έκδοση PRO με κόστος $200 USD (για μια άδεια).

Τα χαρακτηριστικά των δύο εκδόσεων του λογισμικού παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

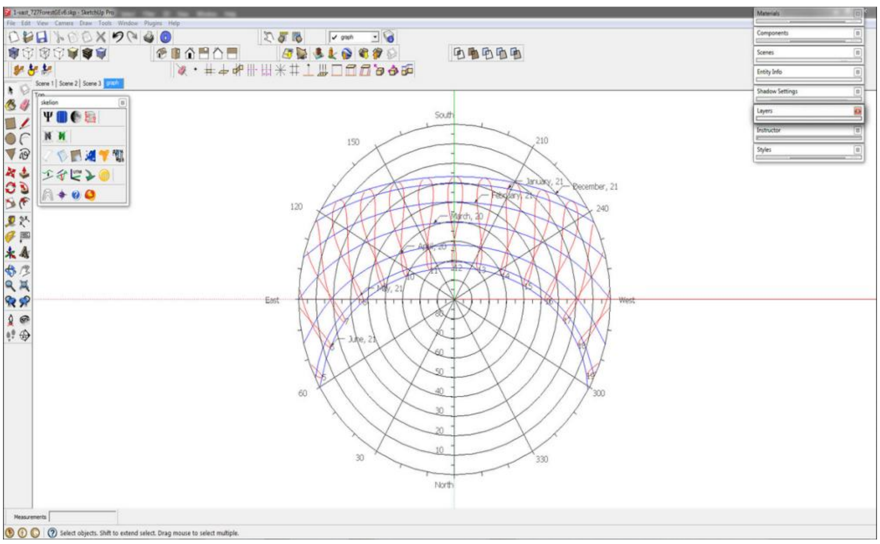
Ελεύθερη έκδοση

Αφορά συστήματα σε κατοικημένες περιοχές, καθώς, είναι ειδικά ανεπτυγμένο για να μπορεί να εισάγει ηλιακά πλαίσια σε οποιαδήποτε οροφή.

Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τα δικά του τρισδιάστατα συστατικά και να τα τοποθετήσει άμεσα στο μοντέλο ή να προσαρμόσει την υπάρχουσα βάση δεδομένων των ηλιακών συλλεκτών.

Έκδοση PRO

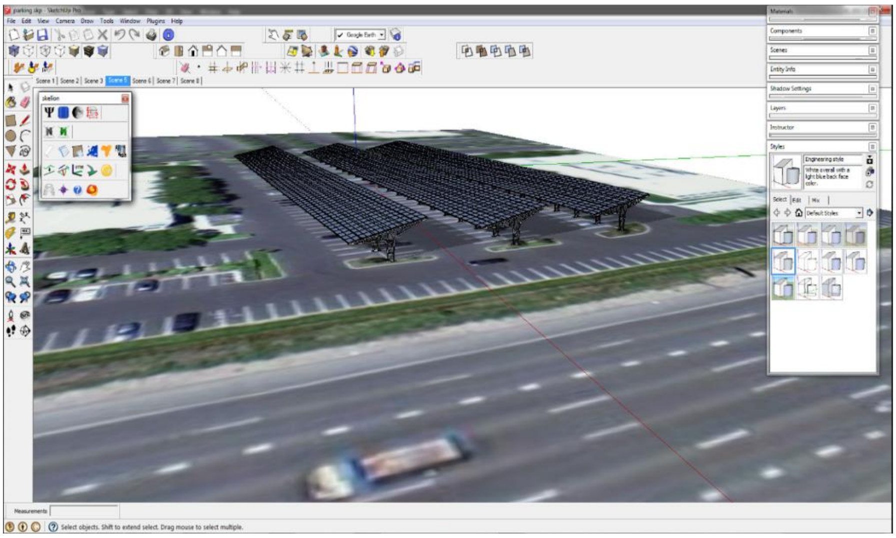
Η έκδοση αυτή αφορά κάθε είδους φωτοβολταϊκό σύστημα, από οικιακά φωτοβολταϊκά (με δυνατότητα εισαγωγής ηλιακών πλαισίων ακόμα και σε καμπύλες οροφές), μέχρι μεγάλα φωτοβολταϊκά πάρκα. Χρησιμοποιώντας τα TMY ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα, το Skelion, υπολογίζει το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται για κάθε πλαίσιο, λαμβάνοντας υπόψη τις κοντινές σκιάσεις.



Εικόνα 3.50 Μελέτη σκιάσεων στο Skelion.

Μετά τον τρισδιάστατο σχεδιασμό του συστήματος, ο χρήστης μπορεί να εξάγει το μοντέλο του στο PVsyst, ενώ υπάρχει και δυνατότητα σύνδεσης με τα προγράμματα PVWatts (V1 & V2) και PV-GIS προκειμένου να δημιουργηθεί η αναφορά ενέργειας.

Μέσω του λογισμικού αυτού σχεδιάζονται, τόσο συστήματα σταθερής κλίσης, όσο και συστήματα παρακολούθησης της κίνησης του ηλίου. Στην τελευταία περίπτωση, είναι δυνατή η παρακολούθηση της κίνησης κάθε μονοαξονικού ή διαξονικού στοιχείου (tracker) και ο υπολογισμός απωλειών σκίασης.



Εικόνα 3.51 Τρισδιάστατη απεικόνιση φωτοβολταϊκού συστήματος με tracker στο Skelion.

3.2.2 Λογισμικά της κατηγορίας 2

3.2.2.1 System Advisor Model (SAM)

Το SAM (System Advisor Model), είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (NREL), σε συνεργασία με τα Sandia National Laboratories το 2005. Σχεδιάστηκε για να διευκολύνει τη λήψη αποφάσεων για τους ανθρώπους που εμπλέκονται στον κλάδο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (διαχειριστές έργων, μηχανικούς, αναλυτές, ερευνητές κλπ.). Η τελευταία έκδοση του λογισμικού είναι η SAM 2016.3.14, είναι διαθέσιμη εντελώς δωρεάν και υπάρχει κατάλληλη εκδοχή της για όλα τα λειτουργικά συστήματα.

Το λογισμικό έχει τη δυνατότητα να κάνει πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης και εκτίμηση του κόστους, για διασυνδεδεμένα ενεργειακά έργα, με βάση το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και τις παραμέτρους σχεδιασμού του συστήματος που ο χρήστης ορίζει ως εισόδους στο μοντέλο.

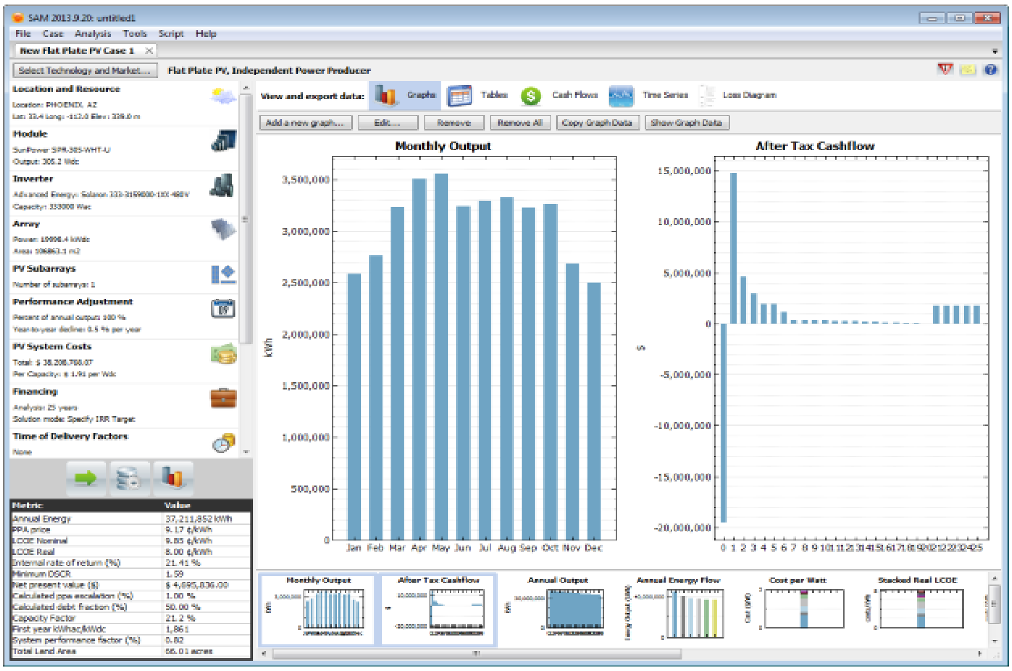
Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία ενός αρχείου SAM είναι η επιλογή μιας τεχνολογίας σχεδιασμού και ενός τρόπου χρηματοδότησης για το έργο. Το λογισμικό συμπληρώνει αυτόματα τις μεταβλητές εισόδου με ένα σύνολο προκαθορισμένων τιμών για τον τύπο του έργου που επιλέχθηκε, ενώ, οι τιμές αυτές μπορούν μετέπειτα να αναθεωρηθούν και να τροποποιηθούν. Στη συνέχεια, ο χρήστης παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία του έργου, το είδος του εξοπλισμού του συστήματος, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και άλλα οικονομικά στοιχεία.

Προκειμένου να αναπαραστήσει το κόστος και την απόδοση των έργων, το SAM χρησιμοποιεί υπολογιστικά μοντέλα που αναπτύσσονται στο NREL, στα Sandia National Laboratories, στο Πανεπιστήμιο του Ουισκόνσιν και σε άλλες οργανώσεις.

Η τρέχουσα έκδοση του λογισμικού περιλαμβάνει διάφορες τεχνολογίες, στις οποίες περιλαμβάνονται και τα φωτοβολταϊκά συστήματα με ή χωρίς σύστημα αποθήκευσης.

Για να περιγράψει τους ενεργειακούς πόρους και τις καιρικές συνθήκες στην περιοχή του έργου, το SAM απαιτεί ένα αρχείο δεδομένων καιρού. Ανάλογα με το είδος του συστήματος που προσομοιώνεται, ο χρήστης μπορεί, είτε να επιλέξετε ένα αρχείο δεδομένων καιρού από μια λίστα, ή να κατεβάσει ένα από το διαδίκτυο. Τέλος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει το αρχείο χρησιμοποιώντας τα δικά του δεδομένα.

Το SAM περιλαμβάνει, ακόμα, βάσεις δεδομένων των διαφόρων συνιστωσών του συστήματος (φωτοβολταϊκά πλαίσια, μετατροπείς), από τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, ενώ, μπορεί και να κατεβάσει αυτόματα τα δεδομένα από ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων.

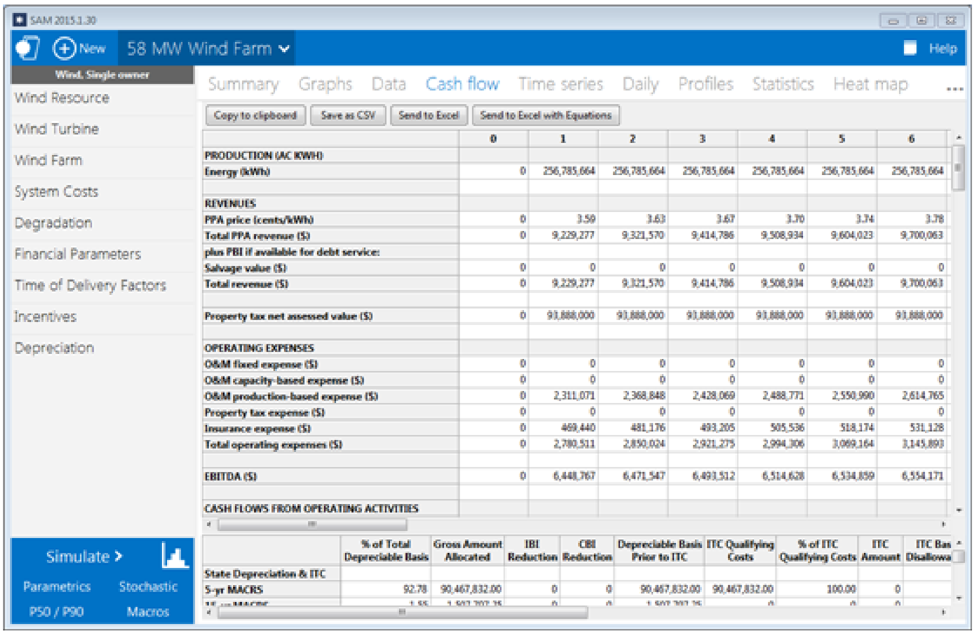


Εικόνα 3.52 Αποτελέσματα ενεργειακής παραγωγής στο SAM.

Μετά το πέρας του σχεδιασμού, εκτελούνται οι προσομοιώσεις και, στη συνέχεια, εξετάζονται τα αποτελέσματα. Μια τυπική ανάλυση περιλαμβάνει την εκτέλεση προσομοιώσεων, την εξέταση των αποτελεσμάτων, την αναθεώρηση των εισόδων και επανάληψη της διαδικασίας μέχρι να ληφθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

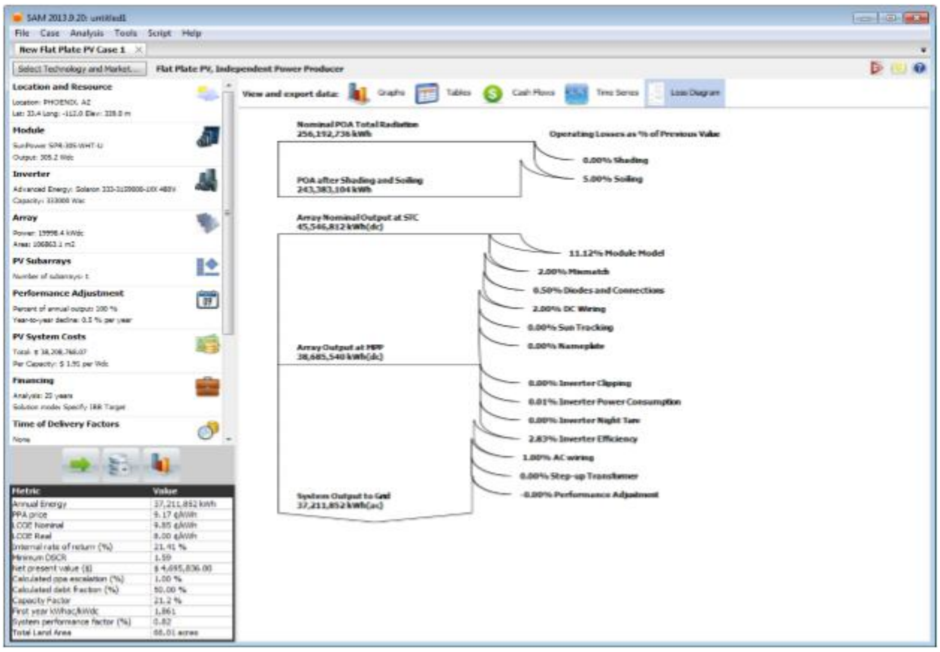
Τα μοντέλα απόδοσης του SAM, πραγματοποιούν ωριαίους υπολογισμούς, παράγοντας ένα σύνολο με 8.760 ωριαίες τιμές, που αντιπροσωπεύουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος σε ένα χρόνο.

Μέσω των οικονομικών μοντέλων που διαθέτει, το πρόγραμμα, επιτρέπει μια πλήρη οικονομική ανάλυση της επένδυσης, βασισμένη στις ταμιακές ροές του έργου για ένα επιλεγμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3.53 Οικονομική ανάλυση της επένδυσης στο SAM.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρουσιάζονται σε αναλυτικούς πίνακες και γραφικές παραστάσεις.



Εικόνα 3.54 Διάγραμμα απωλειών συστήματος στο SAM.

3.2.2.2 RETScreen

Το πακέτο λογισμικού RETScreen είναι ένα μοναδικό εργαλείο υποστήριξης λήψης αποφάσεων, που αναπτύχθηκε με τη συμβολή μεγάλου αριθμού ειδικών από την κυβέρνηση, τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό χώρο. Παρέχεται, εντελώς δωρεάν, από την κυβέρνηση του Καναδά, στα πλαίσια της αναγνώρισης της ανάγκης να υιοθετηθεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και για τη μείωση της ρύπανσης. Το λογισμικό είναι διαθέσιμο σε 36 γλώσσες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για να αποτιμηθεί η παραγωγή και εξοικονόμηση ενέργειας, τα κόστη, οι μειώσεις εκπομπών, η οικονομική βιωσιμότητα και το ρίσκο, για διάφορα είδη τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας.

Το πακέτο λογισμικού περιλαμβάνει δύο ξεχωριστά προγράμματα: το RETScreen 4 και το RETScreen Plus:

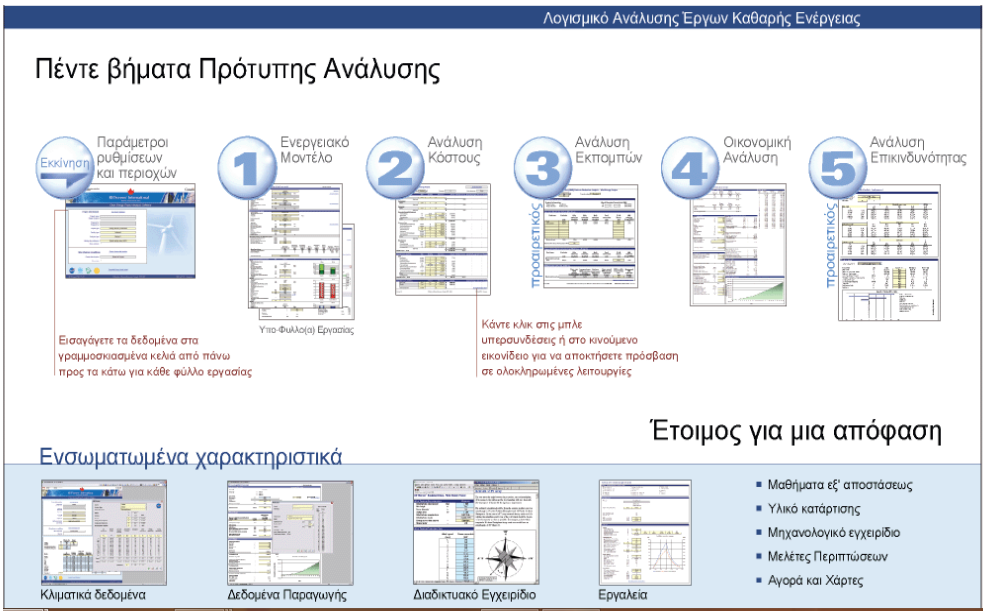
Το RETScreen 4, είναι ένα βασισμένο στο Excel εργαλείο ανάλυσης έργων καθαρής ενέργειας, που βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να προσδιορίζουν γρήγορα και ανέξοδα την τεχνική και οικονομική βιωσιμότητα πιθανών έργων ανανεώσιμης ενέργειας, ενεργειακής αποδοτικότητας και συμπαραγωγής.

Το RETScreen Plus, είναι ένα βασισμένο στα Windows εργαλείο διαχείρισης ενέργειας, που επιτρέπει στους ιδιοκτήτες των έργων να εξακριβώνουν, εύκολα, την τρέχουσα ενεργειακή απόδοση των εγκαταστάσεών τους.

Οι τεχνολογίες που εμπεριέχονται στα μοντέλα έργων του RETScreen περιλαμβάνουν τα πάντα και συμπεριλαμβάνουν, τόσο παραδοσιακές, όσο και μη-παραδοσιακές πηγές καθαρής ενέργειας, καθώς επίσης, και συμβατικές πηγές ενέργειας και τεχνολογίες. Μία δειγματοληψία αυτών των μοντέλων έργων περιέχει: ενεργειακή απόδοση (από μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις μέχρι μεμονωμένες κατοικίες), θέρμανση και ψύξη (π.χ. βιομάζα, αντλίες θερμότητας, και ηλιακή θέρμανση αέρα/νερού), ενέργεια (συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων πηγών όπως ηλιακή, αιολική, κυματική, υδροδυναμική, γεωθερμική, κτλ., αλλά επίσης και των συμβατικών τεχνολογιών όπως αεριοστρόβιλοι/ατμοστρόβιλοι και παλινδρομικοί κινητήρες) και συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ή συμπαραγωγή).

Με χρήστη του λογισμικού αυτού, οι φορείς λήψης αποφάσεων και οι επαγγελματίες μπορούν να προσδιορίζουν εάν ή όχι ένα προτεινόμενο έργο είναι οικονομικά σκόπιμο, γρήγορα, σε φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον και με σχετικά ελάχιστο κόστος.

Η ανάλυση του εκάστοτε έργου γίνεται σε πέντε βήματα: ενεργειακή ανάλυση, ανάλυση κόστους, ανάλυση εκπομπών, οικονομική ανάλυση, και ανάλυση ευαισθησίας/κινδύνου.



Εικόνα 3.55 Βήματα ανάλυσης έργου στο RETScreen.

Μέσα από μια βάση μετεωρολογικών δεδομένων που καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια του πλανήτη, με 6.700 επίγειους σταθμούς σε όλη την υδρόγειο και ενσωμάτωση του βελτιωμένου συνόλου δεδομένων της NASA, ο χρήστης μπορεί εύκολα να επιλέξει τη θέση στην οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση.

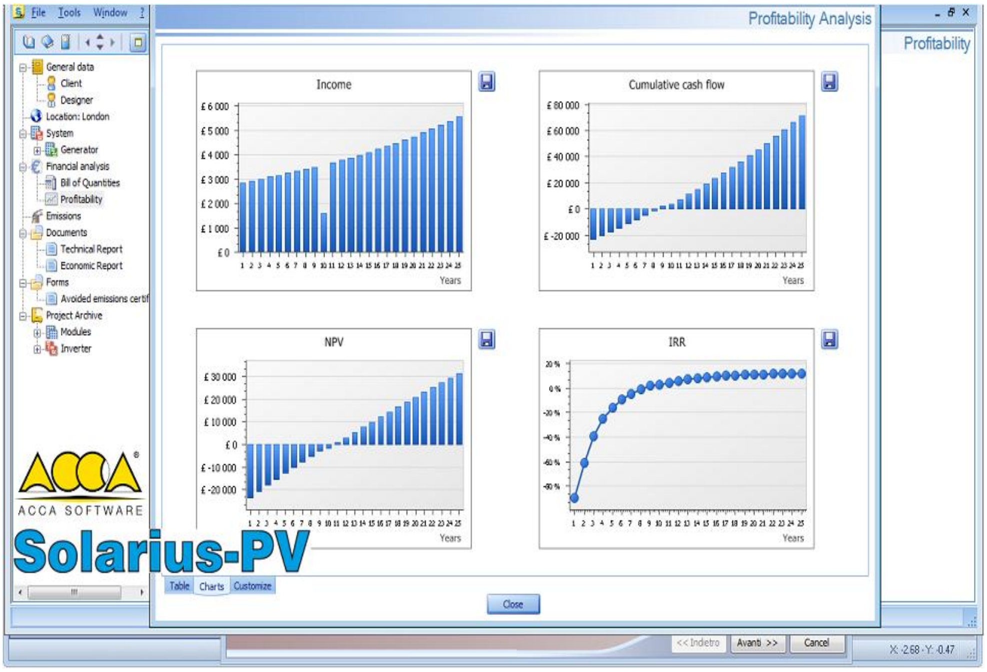
Όσον αφορά στη μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων, το λογισμικό περιλαμβάνει, επίσης, βάσεις δεδομένων προϊόντων (πχ. φωτοβολταϊκών πλαισίων).

Τα αποτελέσματα της μελέτης εξάγονται σε αναλυτική τεχνική έκθεση με πίνακες και γραφικές παραστάσεις.

3.2.2.3 Solarius-PV Free Upp

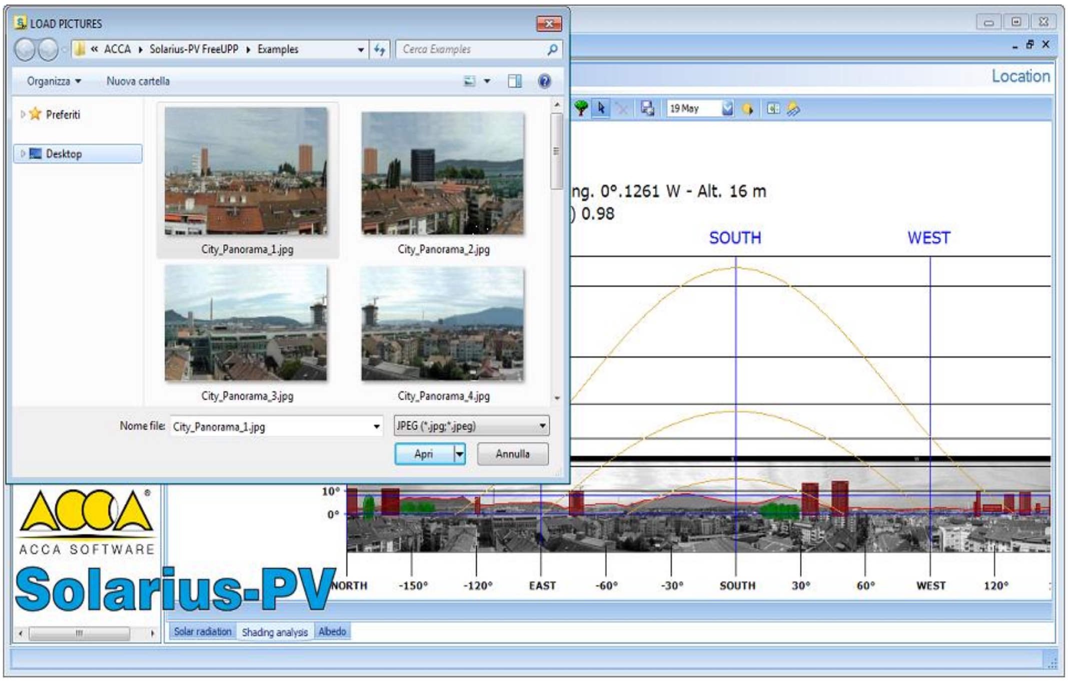
Το Solarius-PV Free Upp, είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εταιρία Acca Software, για το σχεδιασμό διασυνδεδεμένων στο δίκτυο φωτοβολταϊκών συστημάτων και τον υπολογισμό της αποδοτικότητας τους. Η χρήση, οι ενημερώσεις, η εκπαίδευση και η τεχνική υποστήριξη του λογισμικού είναι εντελώς δωρεάν (ο χρήστης πρέπει να πληρώσει μόνο στην περίπτωση που θέλει να εκτυπώσει τα αποτελέσματα, 10 σεντς για κάθε σελίδα).

Το λογισμικό υπολογίζει την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος (συνολική ετήσια παραγωγικότητα και λεπτομερή ωριαία ταχύτητα παραγωγής) και αξιολογεί την αποδοτικότητα και την περίοδο αποπληρωμής ολόκληρου του συστήματος. Ενημερώνει αυτόματα τα αποτελέσματα του υπολογισμού, ακόμη και μετά την πραγματοποίηση αλλαγών στο πρόγραμμα. Η αξιολόγηση της οικονομικής αποδοτικότητας του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται απλή και γρήγορη υπόθεση, με τη βοήθεια των διαγραμμάτων απόδοσης της επένδυσης που εξάγονται.



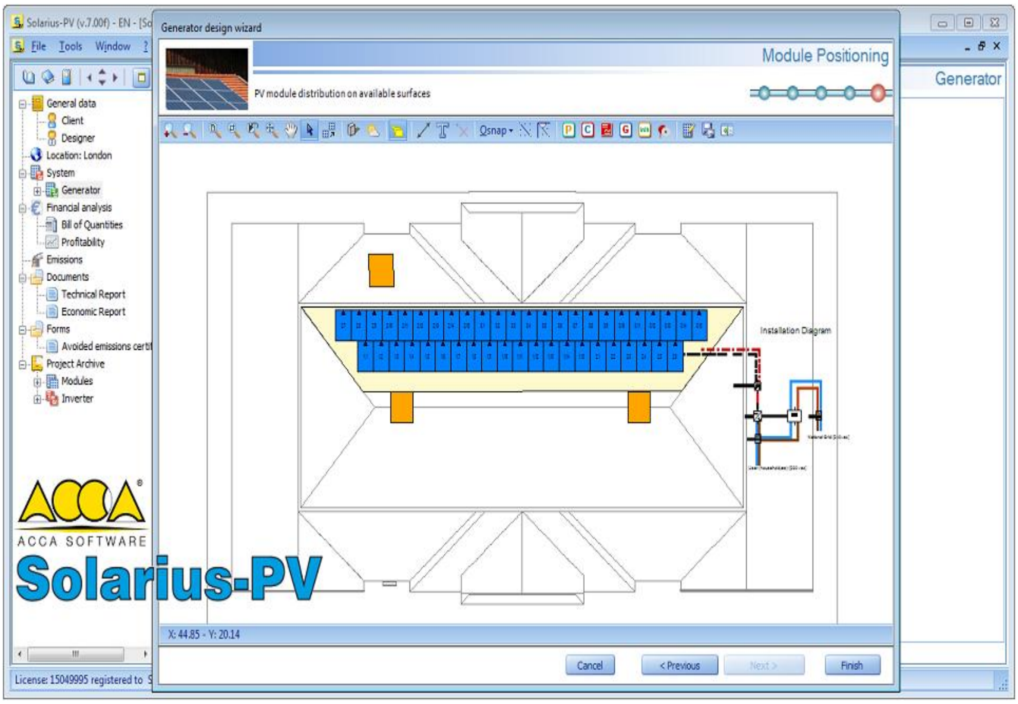
Εικόνα 3.56 Διαγράμματα απόδοσης της επένδυσης στο Solarius-PV.

Σε ό, τι αφορά τη μελέτη σκίασης, το Solarius-PV προσομοιώνει τη σκίαση που δημιουργείται από τα στοιχεία του ορίζοντα (λόφους, βουνά, δέντρα και κτίρια που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το φωτοβολταϊκό σύστημα), μέσα από μια απλή φωτογραφική αποτύπωση του χώρου. Υπολογίζει, επίσης, τη σκίαση που προκαλείται από κοντινά εμπόδια (καμινάδες, κλπ.) ,καθώς, και αυτή που δημιουργεί η μια σειρά πλαισίων στην επόμενη. Οι κοντινές σκιάσεις παρουσιάζονται γραφικά σε ετήσια, μηνιαία, ημερήσια ή ωριαία βάση.



Εικόνα 3.57 Μελέτη σκίασης στο Solarius-PV.

Το λογισμικό λειτουργεί σε γραφικό περιβάλλον, προκειμένου ο σχεδιασμός να είναι γρήγορος και εύκολος. Διαστασιολογεί και τοποθετεί αυτόματα τους ηλιακούς συλλέκτες στην οροφή ή στο έδαφος και είναι κατάλληλο, τόσο για συστήματα σταθερής κλίσης, όσο και για συστήματα παρακολούθησης της κίνησης του ηλίου. Διαθέτει ενημερωμένη βάση δεδομένων φωτοβολταϊκών πλαισίων, από την οποία ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει αυτό που καλύπτει τις απαιτήσεις του ή να αφήσει το πρόγραμμα να προτείνει αυτόματα εκείνο που εξασφαλίζει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα σχεδιασμού ή να εισαγωγής σχεδίων CAD των χρήσιμων επιφανειών για τη διαστασιολόγηση και την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Εικόνα 3.58 Εισαγωγή αρχείων CAD στο Solarius-PV.

Το Solarius-PV υποστηρίζει συστήματα με μονοφασικούς μετατροπείς χαμηλής τάσης, τριφασικούς μετατροπείς χαμηλής και μέσης τάσης και μετατροπείς MPPT. Διαθέτει ενημερωμένη βάση δεδομένων για κάθε τύπο μετατροπέα, από την οποία ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει αυτό που καλύπτει τις απαιτήσεις του ή να αφήσει το πρόγραμμα προτείνει αυτόματα εκείνο που εξασφαλίζει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Μετά την προσομοίωση του συστήματος το λογισμικό δίνει σε μορφή PDF:

- τεχνική έκθεση με τις επιλογές του σχεδιασμού,
- οικονομική έκθεση (Business Plan) που αφορά σε ολόκληρη την επένδυση, με ανάλυση της αποδοτικότητας (περίοδος αποπληρωμής, NPV, IRR, κλπ).
- τεχνικά σχέδια με τη θέση των πλαισίων, των αντιστροφέων, των καλωδιώσεων κλπ..

3.2.3 Λογισμικά της κατηγορίας 3

3.2.3.1 pvPlanner

Το pvPlanner, είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης της εταιρίας SolarGIS, κατάλληλο για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, χρησιμοποιώντας κλιματολογικά και γεωγραφικά δεδομένα σε υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση και νέας γενιάς αλγορίθμους με υψηλή απόδοση.

Η τελευταία διαθέσιμη έκδοση του λογισμικού είναι η pvPlanner v1.8 και κοστίζει 1500 €+ΦΠΑ για ένα χρόνο.

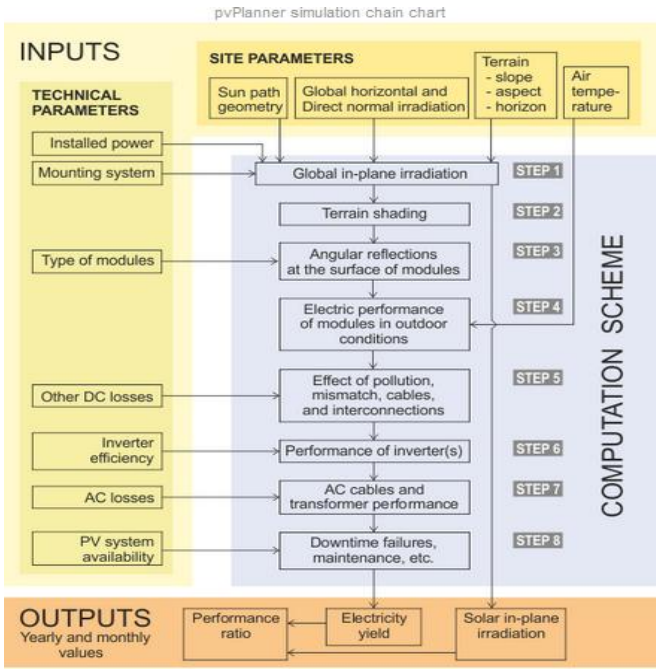
Χρησιμοποιώντας το pvPlanner, ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει με ακρίβεια και ευκολία την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, μέσα σε λίγα λεπτά. Επίσης, είναι ιδανικό για σύγκριση της απόδοσης των διαφόρων τεχνολογιών φωτοβολταϊκών πλαισίων (π.χ. κρυσταλλική σε σύγκριση με άμορφου πυριτίου) και τα οφέλη από τα διάφορα συστήματα στήριξης (π.χ. σταθερής κλίσης, tracker ενός άξονα, tracker δύο αξόνων κλπ).

Το λογισμικό διαθέτει βάση μετεωρολογικών και γεωγραφικών δεδομένων (SolarGIS database).

Εικόνα 3.59 Παρουσίαση αποτελεσμάτων στο pvPlanner.

Στο pvPlanner, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσομοιώνεται, με τα αριθμητικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν ή υλοποιούνται από τη GeoModel, χρησιμοποιώντας ως εισόδους, συγκεντρωτικά στοιχεία, που βασίζονται σε δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας του αέρα ανά 15 λεπτά.

Η ίδια η προσομοίωση είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία. Το παρακάτω διάγραμμα είναι η απλοποιημένη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του λογισμικού.



Εικόνα 3.60 Διάγραμμα τρόπου λειτουργίας του λογισμικού.

Το πρόγραμμα δέχεται ως εισόδους:

- Παραμέτρους σχετικά με τη θέση εγκατάστασης, που παρέχονται από τη βάση δεδομένων SolarGIS.
- Τεχνικές παραμέτρους, οι οποίες παρέχονται από το χρήστη (ή λαμβάνονται υπόψη οι προεπιλεγμένες τιμές).

Η διαδικασία του υπολογισμού αποτελείται από οκτώ βασικά βήματα, όπως φαίνεται στο διάγραμμα παραπάνω. Μετά το τέλος των υπολογισμών, τα αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή, το βαθμό απόδοσης και την ηλιακή ακτινοβολία αποστέλλονται στον πελάτη με στη μορφή πινάκων και γραφημάτων.

3.2.3.2 SOLARDESIGNTOOL

Το SOLARDESIGNTOOL, είναι ένα on-line διαθέσιμο λογισμικό, που επιτρέπει τον ακριβή σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Διαθέτει βάση μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και ενημερωμένες βάσεις δεδομένων φωτοβολταϊκών πλαισίων, αντιστροφέων και λοιπού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού (καλώδια, διακόπτες, power optimizers, OCPDs).

Με την εφαρμογή SolarCAD που διαθέτει, ο χρήστης μπορεί, εύκολα να σχεδιάσει το χώρο εγκατάστασης, χρησιμοποιώντας αεροφωτογραφίες, εισάγοντας ακριβής διαστάσεις, εμπόδια κλπ.

Η διαδικτυακή πλατφόρμα Solar Electric Design που παρέχει, δημιουργεί σε σύντομο χρόνο, βέλτιστα συστήματα, βασισμένα σε συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Ο χρήστης δύναται να δημιουργήσει τις επιλογές σχεδιασμού του πελάτη, μέσα σε λίγα λεπτά, και να παρουσιάσει σε μορφή PDF τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Στην τεχνική έκθεση του συστήματος συμπεριλαμβάνεται ολοκληρωμένο ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης, κατάλογος εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα datasheets των κατασκευαστών.

Υπάρχει διαθέσιμη δωρεάν δοκιμαστική έκδοση για ένα μήνα (αλλά ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να δώσει τον αριθμό της πιστωτικής του κάρτας), καθώς και μια εξειδικευμένη έκδοση, με ένα μηνιαίο πάγιο ($ 500/έτος ή $ 50/μήνα).

3.2.3.3 PVANALYTICS-PVA

Το λογισμικό PVA παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα για γρήγορη διαστασιολόγηση διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων και ακριβή προσομοίωση της ενεργειακής παραγωγής σε οποιαδήποτε συσκευή, παρέχοντας ωριαία αποτελέσματα. Ενσωματώνει την τεχνολογία cloud με τον αλγόριθμο PVWatts του NREL και ενημερωμένα δεδομένα φωτοβολταϊκού εξοπλισμού από την Επιτροπή Ενέργειας της Καλιφόρνια (CEC). Η ακρίβεια και η λεπτομέρεια επιτυγχάνονται σε ένα δυναμικό και φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον, on-line, καθιστώντας το PVA, το τέλειο εργαλείο για τους επαγγελματίες της ηλιακής βιομηχανίας.

3.2.3.4 SOLARMODEL

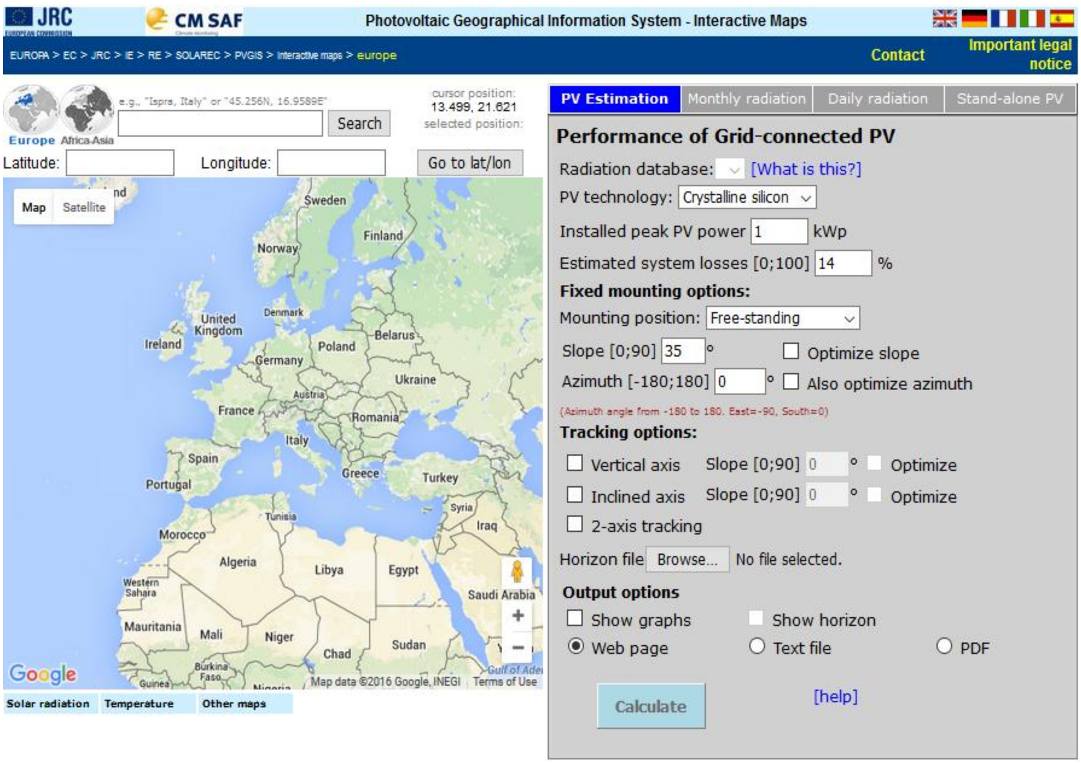
Το Solarmodel είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων και για την αξιολόγηση των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Ως ένα on-line λογισμικό, δεν απαιτεί καμία εγκατάσταση, λειτουργεί σε όλα τα λειτουργικά συστήματα και να είναι εύκολα προσβάσιμο με τη χρήση προγραμμάτων περιήγησης.

Το SOLARMODEL βασίζεται σε τεχνολογία WebGL. Ως εκ τούτου, το Goolge Chrome είναι σήμερα το πιο συμβατό πρόγραμμα περιήγησης για αυτήν την τεχνολογία. Είναι, προς το παρόν διαθέσιμο, στα αγγλικά, σουηδικά και πολωνική γλώσσα. Υπάρχει δοκιμαστική δωρεάν έκδοση του λογισμικού για τις πρώτες 30 ημέρες, όμως μετά το πέρας αυτού του διαστήματος, απαιτείται συνδρομή.

3.2.4 Λογισμικά της κατηγορίας 4

3.2.4.1 PV-GIS

Το PV-GIS είναι μια on-line, δωρεάν, μηχανή υπολογισμού της ενέργειας που παράγουν αυτόνομα ή διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα και πάρκα, που υλοποιήθηκε από το JRC (Joint Reseach Center). Παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της μηνιαίας και ετήσιας δυνητικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας Ε (kWh) ενός συστήματος με καθορισμένη κλίση και προσανατολισμό πλαισίων. Οι περιοχές που καλύπτει είναι η Ευρώπη, η Αφρική και η Ασία, ενώ με την εφαρμογή Google Map που διαθέτει, ο χρήστης μπορεί εύκολα να εντοπίσει την περιοχή στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί το υπό μελέτη σύστημα. Διαθέτει, ακόμα, μια μεγάλη και ακριβή βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας. Το PV-GIS είναι διαθέσιμο μόνο μέσω διαδικτύου, στα αγγλικά, ιταλικά, γαλλικά, ισπανικά και γερμανικά.



Εικόνα 3.61 Αρχική οθόνη PV-GIS.

3.2.4.2 Easy-PV

Το Easy-PV είναι ένα on-line, ελεύθερο λογισμικό, με τη χρήση του οποίου, ο σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται απλή υπόθεση. Επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάσει εύκολα μια στέγη, να δοκιμάσει διάφορους τρόπους τοποθέτησης των φωτοβολταϊκων πλαισίων, να βρει τον κατάλληλο, για το σύστημα, μετατροπέα και τα ηλεκτρικά εξαρτήματα, να διαλέξει τον τύπο της μόνωσης καθώς και να υπολογίσει την παραγωγή ενέργειας και την πτώση τάσης.

3.2.4.3 PVWatts

Το PVWatts είναι ένα χρήσιμο, on-line, ελεύθερο λογισμικό, για την ανάλυση φωτοβολταϊκών συστημάτων που αναπτύχθηκε από το NREL (US National Renewable Energy Laboratory). Υπολογίζει την παραγωγή ενέργειας και το κόστος διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε όλο τον κόσμο (ΗΠΑ, Βρετανία, Ευρώπη, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία κλπ.).

Με το PVWatts, ο χρήστης μπορεί να υπολογίσει τη μηνιαία και ετήσια ακτινοβολία, την παραγωγή σε kW και την αξία της ενέργειας. Μέσω των διεθνών ηλιακών χαρτών που παρέχει, ο σχεδιαστής του συστήματος, επιλέγει, εύκολα, μια θέση και χρησιμοποιεί, είτε τις προεπιλεγμένες τιμές, ή τις δικές του παραμέτρους για το μέγεθος, το κόστος, τον τύπο της συστοιχίας, τη γωνία κλίσης, και το αζιμούθιο. Επιπλέον, το λογισμικό παρέχει ωριαία δεδομένα απόδοσης για την επιλεγμένη τοποθεσία.

Εικόνα 3.62 Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων τοποθεσίας στο PVWatts.

Αρχικά, προσδιορίζεται η επιθυμητή θέση, για την οποία θα τρέξει το PVWatts. Το λογισμικό υπολογίζει την απόδοση, χρησιμοποιώντας τα ωριαία δεδομένα για μια κοντινή περιοχή TMY2, που είναι κλιματολογικά παρόμοια με την επιλεγμένη. Βάσει των δεδομένων αυτών, καθορίζει την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη φωτοβολταϊκή συστοιχία και τη θερμοκρασία των πλαισίων για κάθε ώρα του έτους.

3.2.4.4 DIAFEM

Το DIAFEM είναι μια on-line, δωρεάν, εφαρμογή για σχεδιαστές, εγκαταστάτες και, γενικότερα, οποιονδήποτε ενδιαφέρεται για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, για το σχεδιασμό και τον υπολογισμό εγκαταστάσεων ηλεκτροδότησης που δεν είναι συνδεμένες στο δίκτυο. Επιτρέπει το σχεδιασμό εγκαταστάσεων μικρών ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών και το συνδυασμό τους, για την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας. Το εργαλείο ζητά μια σειρά τεχνικών δεδομένων για τον καθορισμό του έργου και μια συγκεκριμένη απαίτηση σε ενέργεια, προκειμένου να εκτελέσει τον υπολογισμό και το σχεδιασμό της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε μια τεχνική έκθεση. Το λογισμικό αυτό μπορεί να εξυπηρετήσει μόνο την Ισπανία.

3.2.5 Λογισμικά της κατηγορίας 5

3.2.5.1 Sunny Design (της SMA)

Όσον αφορά στην επιλογή των αντιστροφέων που θα εγκατασταθούν στο εκάστοτε φωτοβολταϊκό σύστημα, μία αξιόπιστη λύση είναι η εταιρία SMA.

Η εκάστοτε εταιρία κατασκευής inverter, παρέχει ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα για διαστασιολόγηση και σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων. Το πρόγραμμα που παρέχει η συγκεκριμένη εταιρία ονομάζεται Sunny Design και αυτή τη στιγμή υπάρχουν διαθέσιμες δύο εκδόσεις του: το «Sunny Design Web», που είναι μια on-line έκδοση του λογισμικού και το «Sunny Design 3» (3.40.1.4), που είναι μια έκδοση για λήψη και εγκατάσταση στον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη. Το φάσμα των λειτουργιών και των δύο εκδόσεων είναι πανομοιότυπο. Υπάρχουν συχνά διαθέσιμες αναβαθμίσεις, ώστε οι βάσεις δεδομένων τους να είναι πάντα ενημερωμένες (π.χ., για νέους inverter και νέες φωτοβολταϊκές μονάδες).

Το Sunny Design είναι ένα λογισμικό για τον προγραμματισμό και το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων και υβριδικών φωτοβολταϊκών συστημάτων. Παρέχει στο χρήστη προτάσεις σχεδιασμού για το υπό μελέτη φωτοβολταϊκό σύστημα ή υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα. Ακόμα, έχει τη δυνατότητα να προτείνει ένα συνδυασμό φωτοβολταϊκής συστοιχίας (ή συστοιχιών) και μετατροπέα (ή μετατροπέων) που να ανταποκρίνεται, όσο το δυνατόν περισσότερο, στις απαιτήσεις του χρήστη σχετικά με την τάξη ισχύος, την ενεργειακή απόδοση και την οικονομική αποδοτικότητα. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού και βελτιστοποίησης της ιδιοκατανάλωσης, διαστασιολόγησης των καλωδιώσεων, αξιολόγησης της αποδοτικότητας και, σε υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, διαμόρφωσης των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.

Με το Sunny Design, ο εκάστοτε χρήστης μπορεί, λαμβάνοντας υπόψη τις ισχύουσες νομικές διατάξεις και προδιαγραφές προτύπων, να δημιουργήσει διάφορα σενάρια σχεδιασμού με όλους τους μετατροπείς SMA, υπό τη μορφή εργασιών. Στο Sunny Design είναι διαθέσιμοι οι εξής τύποι έργων:

- Φωτοβολταϊκά έργα: για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Φωτοβολταϊκα έργα με ιδιοκατανάλωση: για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων με ιδιοκατανάλωση.
- Φωτοβολταϊκα υβριδικά έργα: για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων με ηλεκτρικές γεννήτριες.

Ανάλογα με το επιλεγμένο είδος εργασίας, το λογισμικό παρέχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

Λειτουργία	Εργασία Φ/Β	Εργασία Φ/Β με ιδιοκατανάλωση	Εργασία Υβριδ. Φ/Β
Προσδιορισμός ιδιοκατανάλωσης και βελτιστοποίηση ιδιοκατανάλωσης		✓	
Προσδιορισμός της πιθανής εξοικονόμησης καυσίμου και CO_2			✓
Χρήση προκαθορισμένων προφίλ φορτίου, εισαγωγή δικών σας δεδομένων κατανάλωσης, εισαγωγή δεδομένων κατανάλωσης από το Sunny Portal, δημιουργία προσωπικών προφίλ φορτίου		✓	✓
Διαμόρφωση ηλεκτροπαραγωγών ζευγών			✓
Διαστασιολόγηση αγωγών	✓	✓	✓
Σχεδιασμός επιτήρησης εγκατάστασης	✓	✓	✓
Προβολή οικονομικής αποδοτικότητας	✓	✓	✓
Εισαγωγή τιμών για Φ/Β μονάδες και μετατροπείς	✓	✓	✓
Δημιουργία δικών σας τοποθεσιών με τη βοήθεια μετεωρολογικών στοιχείων από τη βάση δεδομένων Sunny Design ή εισηγμένων μετεωρολογικών στοιχείων	✓	✓	✓
Δημιουργία προτύπων εργασιών με προεπιλεγμένες τιμές	✓	✓	✓
Εκτύπωση της τεκμηρίωσης της εργασίας ή αποθήκευσή της ως αρχείο PDF	✓	✓	✓

Εικόνα 3.63 Πίνακας λειτουργιών Sunny Design.

3.2.5.2 SMA Off-Grid Configurator

Πρόκειται για ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από την εταιρία κατασκευής αντιστροφέων SMA, για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Είναι κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα έργων, από μικρής κλίμακας φωτοβολταϊκά πάρκα, μέχρι μεγάλης κλίμακας υβριδικά πάρκα και πραγματοποιεί διαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, της μπαταρία και του αντιστροφέα, που θα χρησιμοποιηθούν στο υπό μελέτη σύστημα, καθώς και υπολογισμό της αποδοτικότητας του έργου και της διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

Στις επόμενες σελίδες, παρουσιάζονται αναλυτικοί πίνακες αξιολόγησης όλων των προαναφερθέντων λογισμικών, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων.

Λογισμικό	Τελευταία έκδοση	Κόστος	Βάση Δεδομένων για ΦΒ πλαίσια	Βάση Δεδομένων για Inverter	Βάσεις Δεδομένων Ηλεκτρικών Εξαρτημάτων	Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων	Απεικόνιση χώρου εγκατάστασής	Υπολογισμός σκιάσεων	Απεικόνιση Συστήματος	Ηλεκτρολογικό σχέδιο	Υπολογισμός απωλειών	Ανάλυση εκπομπών	Ανάλυση κόστους συστήματος	Οικονομική Ανάλυση	Βελτιστοποίηση συστήματος	Σχεδιασμός Επιτήρησης	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	Παρατηρήσεις
Polysun	Polysun Designer 8.2 Polysun Designer Premium Educational version	3299 € 6900 € 189 €	✓ (+Δυνατότητα δημιουργίας πλαισίων από το χρήστη και αποθήκευσής τους στη βάση δεδομένων)	✓ (+Δημιουργία μετατροπέων από το χρήστη και δυνατότητα αποθήκευσης στη βάση δεδομένων)	✓ Καλώδια Μπαταρίες	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓ μέσω σύγκρισης αποτελεσμάτων με σύστημα αναφοράς σε ενιαίο ραβδόγραμμα.		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Η demo version τρέχει μόνο για την περιοχή Rapperwil της Ελβετίας.
Archelios PRO	Archelios Pro 15.2.01 (desktop έκδοση) Archelios Pro 15.2.05	Για 1 χρόνο:690 € (58 €/μήνα)	✓ Πάνω από 12.000 πλαίσια	✓ Πάνω από 1500 inverters		✓ Meteonorm data	✓ Google Map ή 3D σχεδίαση στο SketchUp και στο plug-in του Archelios Pro	✓	✓ 3D		✓		✓	✓	✓ (σύγκριση ανάμεσα σε διαφορετικά έργα)		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Δε χρειάζεται εγκατάσταση για να τρέξω την on-line version.
EasySolar	Easysolar Mobile App + Web App	20 € / μήνα	✓	✓		✓ NASA database	✓ Εικόνα ή Google Map	✓ Shadow simulation app	✓ Sketch design Εικόνα Google Map			✓	✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Δεν βρέθηκε trial version. Ιδανικό για εταιρίες σχεδιασμού και πώλησής ΦΒ. (pc+mobile app).
PV F-CHART		Single User License ($ 400) Academic License ($ 600)				✓ Στοιχεία για πάνω από 300 τοποθεσίες. (Μπορούν να προστεθούν δεδομένα καιρού από το χρήστη.)								✓				Δεν έχει βάση δεδομένων για εξαρτήματα, εμείς εισάγουμε τις ζητούμενες τιμές από τα datasheets. Κυρίως για οικονομική ανάλυση.
PVscout	PVscout 2.0 Basic PVscout 2.0 Premium	355,81 €(incl 19% VAT) 474,81 €(incl 19% VAT)	✓	✓	✓ Καλώδια	✓	✓	✓ 3D σχεδίαση αντικειμένων στέγης	✓ 3D	✓			✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Μόνο για στέγες.

PV*SOL	PV*SOL 2016 R4	895 € (+VAT)	✓ Πάνω από 14.500 πλαίσια	✓ Πάνω από 3.750 inverters	✓ Καλώδια (μόνο υλικό και διαστάσεις) Μπαταρίες	✓ MeteoSyn (8.000 τοποθεσίες παγκοσμίως. Μπορούν να προστεθούν δεδομένα από το χρήστη.)	✓ (Μπορούμε να εισάγουμε φωτογραφία της στέγης μέσω του Photo Plan)	✓ Σκίαση ορίζοντα	✓ Ηλ. σχέδιο ή εικόνα Photo Plan	✓	✓ Καλωδίων		✓	✓ (+net-metering)	✓		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις Carpet plot	
	PV*SOL Premium 2016 R4	1295 € (+VAT)	✓ Πάνω από 14.500 πλαίσια	✓ Πάνω από 3.750 inverters	✓ Καλώδια (μόνο υλικό και διαστάσεις) Μπαταρίες	✓ MeteoSyn (8.000 τοποθεσίες παγκοσμίως. Μπορούν να προστεθούν δεδομένα από το χρήστη.)	✓ 3D σχεδιασμός σε κάτοψη ή χάρτη. (Μπορούμε να εισάγουμε φωτογραφία της στέγης μέσω του Photo Plan)	✓ 3D απεικόνιση, σκίαση σε διαφορετικές ώρες της ημέρας, σκίαση ορίζοντα.	✓ (Ηλ. σχέδιο ή εικόνα Photo Plan)	✓	✓ Πλαίσια Inverter Καλώδια		✓	✓ (+net-metering)	✓		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	
PVsyst (PREMIUM)	PVsyst 6.43	1st license: 1179 €	✓	✓	✓ Μπαταρίες Αντλίες Ελεγκτές Ηλ/γά ζεύγη	✓ Meteonorm 7.1 PV-GIS NASA database	✓	✓ 3D	✓		✓ Irradiance level Θερμοκρασία Πλαίσια Inverter Καλώδια		✓	✓	✓ σύγκριση παραλλαγών υπολογισμού		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	
PLAN4SOLAR PV	Plan4solar PV 4.4	1599 €	✓ Πάνω από 27.000 πλαίσια	✓ Πάνω από 33 κατασκευαστές inverter	✓ Καλώδια	✓ Meteotest	✓ 3D	✓ 3D planning tool	✓ 3D Απεικόνιση+ Ηλ. σχέδιο	✓			✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Trial version στα Γερμανικά. Υπολογισμός φορτιών ανέμου και χιονιού.
Solar Pro	Solar Pro 4.3		✓ Πάνω από 30 κατασκευαστές και 580 είδη πλαισίων (+Δεδομένα πλαισίων Photon)			✓ World 1,360 places (2001) MONSOLA-11 (2012) Actual measured data (CSV format) Meteonorm annual data (Over 8,000 places) SolarGIS (TMY data) NSRDB (SUNY 10-km gridded data) TMY 3 data (1,020 places) METPV-11 (2012)	✓ Εισαγωγή αρχείων εικόνας (Bing Maps ή άλλα) 3D σχεδιασμός	✓ Εφαρμογή 3D CAD.	✓ 3D				✓				Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Βάζει περιορισμούς στον αριθμό των πλαισίων που μπορούν να εγκατασταθούν. Καταλληλότερο για στέγες.
PV-Design-PRO	PV-DesignPro v6.0	US $ 249.00 (+ $ 10.00 for shipping and handling)	✓	✓		✓		✓ Σκίαση ορίζοντα			✓ Καλώδια		✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Δε βρήκα trial version.

HELIOS 3D	HELIOS 3D	3 μήνεςs: 3.510,5 € 1 έτος: 8.270,5 €	✓	✓	✓ Καλώδια	✓	✓ 3D	✓ 3D	✓ 3D	✓			(κατάλογος εξαρτημάτων)		✓ βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των πλαισίων για μέγιστη απόδοση		Report	Δεν βρήκα trial version. Κάνει εκτίμηση της καταλληλότητας του εδάφους για εγκατάσταση ΦΒ.
HOMER	Homer Pro 3.4	Single User License ($ 500-1000/έτος) Academic License ($ 250-500/έτος) Student License ($ 125-250/έτος)				✓ National Reniewable Energy Lab-NREL			✓ Σχηματική			✓	✓	✓	✓		Μοντέλο συστήματος	
HelioScope	HELIOSCOPE	$ 79/μήνας $ 950/έτος	✓	✓	✓ Καλώδια (υλικό και διάμετρο) Optimizers	✓ Google Map, Meteonorm	✓ Google Map	✓ SketchUp (3D)	✓ Google Map, Σχηματικό διάγραμμα		✓				✓ Με το HelioScope's design-driven approach αξιολογεί εναλλακτικές σχεδιασμού και καταλήγει στην καλύτερη.		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Για διασυνδεδεμένα ΦΒ συστήματα. On-line βοήθεια μέσω chat με άμεση επίλυση αποριών. Δεν χρειάζεται εγκατάσταση.
SOLergo	Solergo 7.1		✓	✓	✓ Καλώδια Μετ/στές Απαγωγείς Υπερτάσεων	✓ Προσδιορισμός της μέσης ακτινοβολίας σύμφωνα με το UNI 10349 ή τους πίνακες ENEA. Εισαγωγή δεδομένων από το PV-GIS.	✓ DWG	✓	✓ DWG	✓	✓	✓	✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Δε βρήκα trial version.
PV Designer			✓	✓		✓	✓	✓	✓						✓ Σύγκριση διαφορετικών σεναρίων σχεδιασμού		Αναφορά σε PDF με διαγράμματα και πίνακες	
BlueSol	BlueSol Express :V.3.0.008 BlueSol Design: V.3.0.008	290,00 € + VAT 490,00 € + VAT	✓ Πάνω από 20.000 πλαίσια	✓ Πάνω από 1600 inverters	✓ Αποζεύκτες Διακόπτες Ασφάλειες Δίοδοι Μετ/στές Απαγωγείς Υπερτάσεων	✓ Παγκόσμιες ακτινοβολίες NASA-SSE PV-GIS Εισαγωγή δεδομένων χρήστη.	✓ Φόντο επιπεδομετρίας ως DXF, DWG ή εικόνα. Εισαγωγή εμποδίων. 3D απεικόνιση.	✓	✓ 3D	✓	✓		✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	

INSEL	INSEL 8.2 (with Matlab/Simulink support)	1700 € (+VAT) (Πανεπιστήμια : 50% έκπτωση Μαθητές:85 €+VAT)	✓	✓		✓ 2000 περιοχές παγκοσμίως, καθώς και νέα δεδομένα από το χρήστη		✓ Λόγω αλλαγής θέσης ηλίου στη διάρκεια της ημέρας	✓ Μοντέλο του συστήματος		✓ Λόγω μεταβολής ακτινοβολίας						Μοντέλο συστήματος.	Για γραφικό προγραμματισμό και μοντελοποίηση του ΦΒ συστήματος.
Skelion	Free Version (Skelion v5.1.9) Pro Version	$ 200 USD (1 license)	✓	✓		✓ TMY PV-GIS PVWatts	✓ Google Map+3D σχεδιασμός στο χάρτη	✓	✓ 3D		✓ Ό, τι το PVsyst		✓ Αφού συνεργάζεται με PVsyst.	✓ Αφού συνεργάζεται με PVsyst.			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Plugin του Sketch up. Συνεργασία Sketch up, PVsyst, PV-GIS, PVwatts, Google Map, Google Earth.

Πίνακας 3.1 Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών της κατηγορίας 1.

Λογισμικό	Τελευταία έκδοση	Κόστος	Βάση Δεδομένων για ΦΒ πλαίσια	Βάση Δεδομένων για Inverter	Βάσεις Δεδομένων Ηλεκτρικών Εξαρτημάτων	Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων	Απεικόνιση χώρου εγκατάστασης	Υπολογισμός σκιάσεων	Απεικόνιση Συστήματος	Ηλεκτρολογικό σχέδιο	Υπολογισμός απωλειών	Ανάλυση εκπομπών	Ανάλυση κόστους συστήματος	Οικονομική Ανάλυση	Βελτιστοποίηση συστήματος	Σχεδιασμός Επιτήρησης	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	Παρατηρήσεις
SAM	SAM 2016.3.14	Δωρεάν	✓	✓		✓					✓		✓	✓	✓		Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις	Για διασυνδεδεμένα συστήματα.
RETScreen	RETScreen 4	Δωρεάν	✓			✓ 6.700 θέσεις σε όλη την υδρόγειο και ενσωμάτωση του βελτιωμένου συνόλου δεδομένων Μετεωρολογίας και Ηλιακής Ενέργειας Επιφανείας της NASA για τις κατοικημένες περιοχές.						✓	✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις.	Κάνει και ανάλυση ευαισθησίας και επικινδυνότητας.
Solarius-PV Free Upp	Solarius-PV 7.00g	Δωρεάν	✓	✓			✓ Φωτογραφική αποτύπωση	✓ Φωτογραφική αποτύπωση	✓ Φωτογραφική αποτύπωση και ηλ. σχέδιο	✓			✓	✓			Report Διαγράμματα Γραφικές παραστάσεις.	Για διασυνδεδεμένα συστήματα. Πρέπει οπωσδήποτε να εισάγουμε εικόνα του σημείου εγκατάστασης.

Πίνακας 3.2 Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών της κατηγορίας 2.

Λογισμικό	Τελευταία έκδοση	Κόστος	Βάση Δεδομένων για ΦΒ πλαίσια	Βάση Δεδομένων για Inverter	Βάσεις Δεδομένων Ηλεκτρικών Εξαρτημάτων	Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων	Απεικόνιση χώρου εγκατάστασής	Υπολογισμός σκιάσεων	Απεικόνιση Συστήματος	Ηλεκτρολογικό σχέδιο	Υπολογισμός απωλειών	Ανάλυση εκπομπών	Ανάλυση κόστους συστήματος	Οικονομική Ανάλυση	Βελτιστοποίηση συστήματος	Σχεδιασμός Επιτήρησης	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	Παρατηρήσεις
pvPlanner	pvPlanner v1.8	1500 €/έτος (full coverage)				✓	✓ Google Map	✓ Σκίαση ορίζοντα			✓						PDF Πίνακες Διαγράμματα	
SOLAR DESIGN TOOL		\$ 500 / έτος \$50 / μήνας	✓	✓	✓ Καλώδια Διακόπτες Power optimizers OCPDs	✓	✓ Αεροφωτογραφίες		✓	✓					✓ Μέσω της πλατφόρμας Solar Electric Design.		Αναλυτική τεχνική έκθεση σε PDF με ηλ. σχέδιο, κατάλογο και datasheets εξοπλισμού.	Για τη δοκιμαστική έκδοση χρειάζεται αριθμός πιστωτικής κάρτας.

Πίνακας 3.3 Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών της κατηγορίας 3.

Λογισμικό	Τελευταία έκδοση	Κόστος	Βάση Δεδομένων για ΦΒ πλαίσια	Βάση Δεδομένων για Inverter	Βάσεις Δεδομένων Ηλεκτρικών Εξαρτημάτων	Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων	Απεικόνιση χώρου εγκατάστασής	Υπολογισμός σκιάσεων	Απεικόνιση Συστήματος	Ηλεκτρολογικό σχέδιο	Υπολογισμός απωλειών	Ανάλυση εκπομπών	Ανάλυση κόστους συστήματος	Οικονομική Ανάλυση	Βελτιστοποίηση συστήματος	Σχεδιασμός Επιτήρησης	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	Παρατηρήσεις
PV-GIS	PV-GIS	Δωρεάν				✓ Ευρώπη, Ασία, Αφρική											Report Γραφικές παραστάσεις σε Web page, Text file, PDF	Εκτίμηση της μηνιαίας και ετήσιας παραγόμενης ενέργειας βάσει των μετεωρολογικών δεδομένων του σημείου εγκατάστασης.
PVWatts	PVWatts v.2	Δωρεάν				✓ TMY2 TMY3 International	✓ Google Map		✓ Σχεδιασμός συστήματος πάνω στο χάρτη		✓			✓			Report PDF	Για διασυνδεδεμένα συστήματα. Λειτουργεί μόνο για κρυσταλλικά πλαίσια.
Easy-PV	Easy-PV 1.32	Δωρεάν	✓	✓	✓	✓	✓		✓									Μόνο για ΦΒ στέγες.

Πίνακας 3.4 Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών της κατηγορίας 4.

Λογισμικό	Τελευταία έκδοση	Κόστος	Βάση Δεδομένων για ΦΒ πλαίσια	Βάση Δεδομένων για Inverter	Βάσεις Δεδομένων Ηλεκτρικών Εξαρτημάτων	Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων	Απεικόνιση χώρου εγκατάστασής	Υπολογισμός σκιάσεων	Απεικόνιση Συστήματος	Ηλεκτρολογικό σχέδιο	Υπολογισμός απωλειών	Ανάλυση εκπομπών	Ανάλυση κόστους συστήματος	Οικονομική Ανάλυση	Βελτιστοποίηση συστήματος	Σχεδιασμός Επιτήρησης	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	Παρατηρήσεις
Sunny Design (SMA)	Sunny Design Web Sunny Design 3 (3.40.1.4)	Δωρεάν	✓	✓ Μόνο inverters SMA.		✓ Δυνατότητα δημιουργίας τοποθεσιών με τη βοήθεια. στοιχείων από τη βάση δεδομένων Sunny Design ή εισηγμένων μετεωρολογικών στοιχείων.						✓ Μόνο για ΦΒ υβριδικά έργα.	✓	✓	✓ προτείνει ένα συνδυασμό πλαισίων-inverter που να ανταποκρίνεται, στις απαιτήσεις του χρήστη.	✓	Report, Διαγράμματα	Μόνο inverters SMA.

Πίνακας 3.5 Πίνακας αξιολόγησης λογισμικών της κατηγορίας 5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^{o}–ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

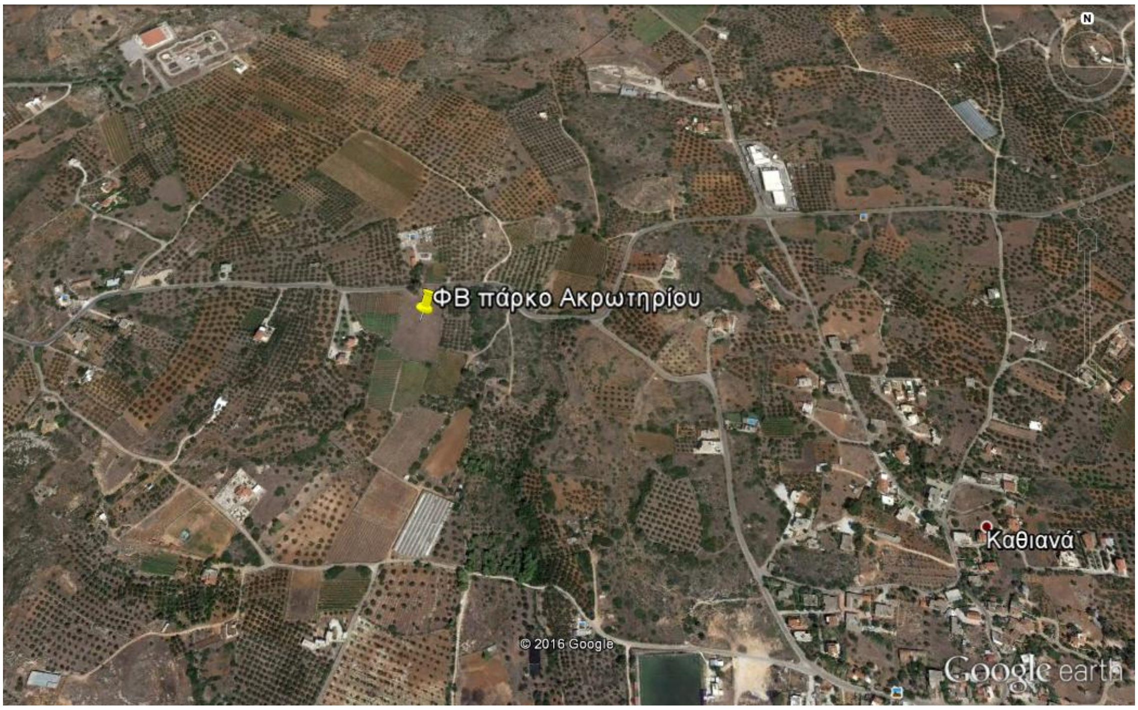
4.1 Εισαγωγή

Μέτα την αναλυτική περιγραφή και αξιολόγηση των λογισμικών, που χρησιμοποιούνται για την μελέτη και προσομοίωση φωτοβολταϊκών συστημάτων, που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ακολουθεί η μελέτη εγκατάστασης συγκεκριμένων φωτοβολταϊκών σταθμών, στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης. Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά, θα καθοριστούν οι συγκεκριμένες θέσεις εγκατάστασης των σταθμών, καθώς και τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους, που θα είναι κοινά, για όλα τα υπό μελέτη φωτοβολταϊκά συστήματα. Στη συνέχεια, με χρήση επιλεγμένων λογισμικών, του προηγούμενου κεφαλαίου, θα γίνει η προσομοίωση, η διαστασιολόγηση και η αποτίμηση της ενεργειακής παραγωγής, ενός από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάρκα. Κατόπιν, θα επιλεχθεί το επικρατέστερο από τα χρησιμοποιηθέντα λογισμικά, με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η ίδια διαδικασία για τα υπόλοιπα συστήματα και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που εξάγονται σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή τους.

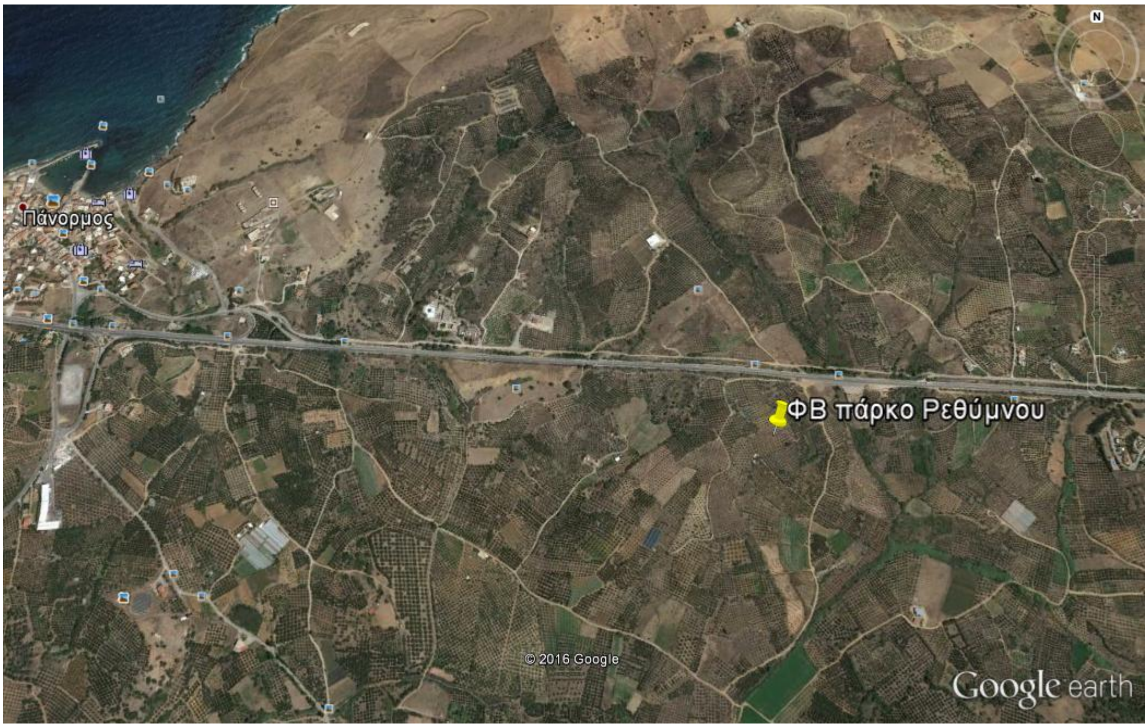
4.2 Θέσεις εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης

Εγκαταστάθηκαν, συνολικά, πέντε φωτοβολταϊκοί σταθμοί, με ίδιες προδιαγραφές, στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης, προκειμένου να έχουμε συγκριτικά στοιχεία για την ενεργειακή απόδοση σε κάθε νομό του νησιού. Έτσι, τοποθετήθηκαν δύο πάρκα στο νομό Χανίων: ένα στην περιοχή της Αγιάς και ένα στην περιοχή του Ακρωτηρίου, ένα στο νομό Ρεθύμνου, ένα στο νομό Ηρακλείου, και τέλος, ένα στο νομό Λασιθίου. Τα σημεία εγκατάστασης επιλέχθηκαν μέσω του προγράμματος Google Earth και παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.

Εικόνα 4.1 Θέση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς.



Εικόνα 4.2 Θέση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού Ακρωτηρίου.



Εικόνα 4.3 Θέση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού Ρεθύμνου.

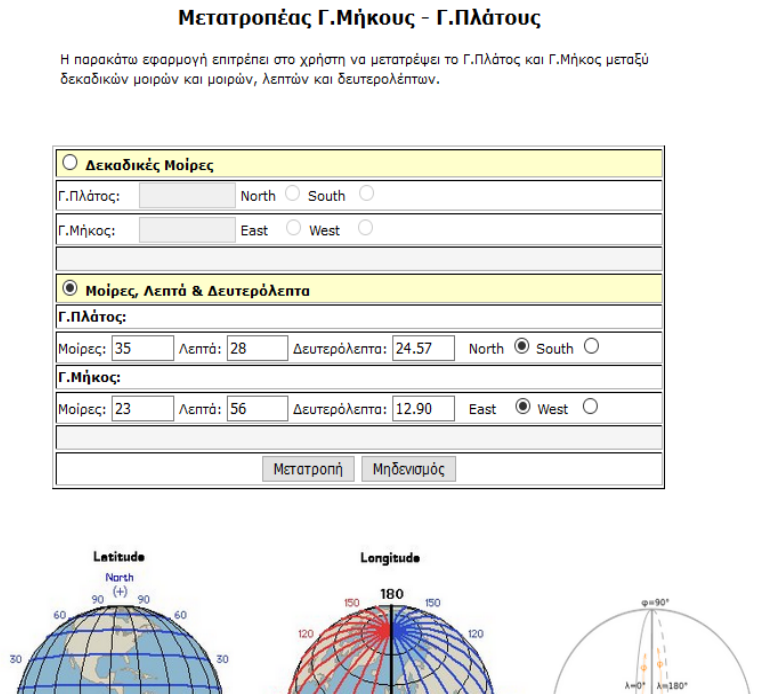
Εικόνα 4.4 Θέση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού Ηρακλείου.

Εικόνα 4.5 Θέση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού Λασιθίου.

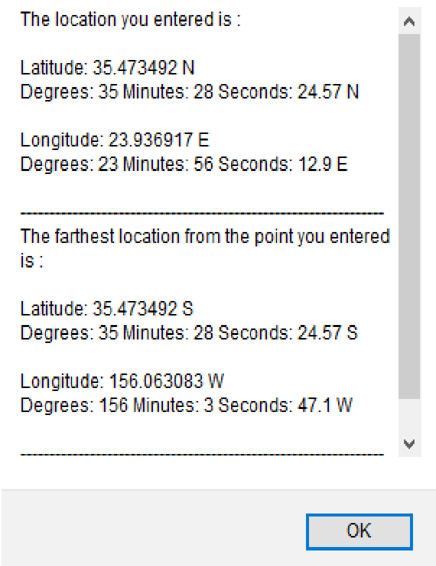
Για τον προσδιορισμό της κάθε θέσης, απαιτείται η γνώση των γεωγραφικών συντεταγμένων του σημείου (γεωγραφικό πλάτος, Γ.Π., και γεωγραφικό μήκος, Γ.Μ.), καθώς και το υψόμετρό του, πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Το πρόγραμμα Google Earth, παρέχει τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε μορφή μοιρών λεπτών και δευτερολέπτων. Προκειμένου οι τιμές αυτές να εισαχθούν στα λογισμικά προσομοίωσης και μελέτης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, είναι απαραίτητο να μετατραπούν στη μορφή δεκαδικών μοιρών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή «Μετατροπέας Γ.Μήκους-Γ.Πλάτους», που βρίσκεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.meteothes.gr/wxLonLatConv.php.

Στις εικόνες 4.6 και 4.7 , φαίνεται η χρήση της εφαρμογής για το φωτοβολταϊκό πάρκο στην περιοχή της Αγιάς. Στην αρχική οθόνη της εφαρμογής, εισάγουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες που μας δίνει το Google Earth, σε μορφή μοιρών, λεπτών, δευτερολέπτων (εικόνα 4.6) και επιλέγοντας «Μετατροπή», προκύπτουν οι τιμές σε δεκαδικές μοίρες (εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.6 Αρχική οθόνη «Μετατροπέα Γ. Μήκους - Γ. Πλάτους».



Εικόνα 4.7 Αποτελέσματα μετατροπής συντεταγμένων σε μορφή δεκαδικών μοιρών.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για τις θέσεις εγκατάστασης των υπολοίπων τεσσάρων φωτοβολταϊκών σταθμών, βρίσκουμε τις γεωγραφικές συντεταγμένες τους σε μορφή δεκαδικών μοιρών. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μετατροπών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Περιοχή	**Υψόμετρο** (m)	**Γεωγραφικές συντεταγμένες** (μοίρες, λεπτά δευτερόλεπτα)	**Γεωγραφικές συντεταγμένες** (δεκαδικές μοίρες)
Αγιά	50	Γ.Π. :35^{o}28’24.57’’ N	35.473 N
		Γ.Μ.:23^{o}56’12.90’’ E	23.937 E
Ακρωτήρι	124	Γ.Π. :35^{o}32’17.78’’ N	35.538 N
		Γ.Μ.: 24^{o}6’33.71’’ E	24.109 E
Ρέθυμνο	60	Γ.Π. : 35^{o}24’46.86’’ N	35.413 N
		Γ.Μ.: 24^{o}42’35.22’’ E	24.71 E
Ηράκλειο	22	Γ.Π. : 35^{o}19’30.06’’ N	35.325 N
		Γ.Μ.: 25^{o}12’4.34’’ E	25.201 E
Λασίθι	61	Γ.Π. : 35^{o}5’54.85’’ N	35.099 N
		Γ.Μ.: 25^{o}49’44.30’’ E	25.829 E

Πίνακας 4.1 Προσδιορισμός θέσεων εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σταθμών (υψόμετρο, Γεωγραφικές συντεταγμένες).

4.3 Χαρακτηριστικά των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών σταθμών

Όσον αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη φωτοβολταϊκών σταθμών, δεν έχουμε συγκεκριμένες προδιαγραφές. Έτσι, προσπαθήσαμε απλώς, να κάνουμε μια ρεαλιστική προσέγγιση, λαμβάνοντας τεχνικές κατευθύνσεις, από εταιρία που δραστηριοποιείται στο χώρο της μελέτης και κατασκευής φωτοβολταϊκών συστημάτων, ενώ, τα επιμέρους συστατικά τους (πλαίσια, μετατροπείς κλπ.), επιλέχθηκαν να είναι όμοια και στα πέντε πάρκα, συνολικής ισχύος 100kWp έκαστο, που εγκαταστάθηκαν.

Η επιλογή της ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων που χρησιμοποιούνται σε ένα φωτοβολταϊκό έργο, είναι υποκειμενική και έγκειται στον μελετητή να αποφασίσει την εταιρία και την ισχύ, ώστε να πλησιάζει περισσότερο τον στόχο του και να επιτυγχάνει καλύτερη τιμή για την αγορά των υλικών. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου της εταιρίας aleo solar AG, και συγκεκριμένα το μοντέλο aleo S_18 250 W_p, με ονομαστική ισχύ 250 W_p. Προκειμένου να καλυφθεί η συνολική ισχύς των 100

kW_p, σε καθένα από τα φωτοβολταϊκά πάρκα, τοποθετούνται 400 πλαίσια των 250 W_p έκαστο. Αξίζει να σημειωθεί, ότι δοκιμάστηκαν προσομοιώσεις και με άλλους τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων (μονοκρυσταλλικού πυριτίου, thin film κλπ.), χωρίς, όμως, να παρατηρηθούν διαφορές στην ενεργειακή απόδοση των εγκαταστάσεων.

Όσον αφορά στην επιλογή των μετατροπέων, προκειμένου να καλυφθεί η συνολική ισχύς των 100 kW_p, επιλέχθηκαν 10 μετατροπείς των 10 kW_p έκαστος. Γνωρίζουμε ότι, μια αξιόπιστη λύση είναι η επιλογή μετατροπέων της εταιρίας SMA και επιλέξαμε τον τριφασικό, SMA Sunny Tripower STP 10000TL-20.

Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I**, στο τέλος της διατριβής, υπάρχουν εγχειρίδια με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μοντέλων φωτοβολταϊκού πλαισίου και μετατροπέα που χρησιμοποιήθηκαν.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, εύκολα συμπεραίνεται, ότι το κάθε φωτοβολταϊκό πάρκο αποτελείται από 10 επιμέρους φωτοβολταϊκές συστοιχίες των 40 πλαισίων (2 strings * 20 πλαίσια) έκαστη και καθεμιά από αυτές καταλήγει ως είσοδος σε ένα μετατροπέα.

Σχετικά με τον τρόπο στήριξης των ηλιακών συλλεκτών, επιλέχθηκε σταθερή στήριξη στα τέσσερα από τα πέντε πάρκα, ενώ στο πάρκο του Ακρωτηρίου χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου (ηλιοτρόπιο ή tracker), προκειμένου να εξεταστούν πρακτικά, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τρόπου στήριξης, καθώς και οι διαφορές στην ενεργειακή απόδοση και το κόστος των συστημάτων.

Για τα πάρκα με σταθερή στήριξη φωτοβολταϊκών συλλεκτών, η κλίση τους θα πρέπει να είναι η βέλτιστη δυνατή, προκείμενου να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Για τον υπολογισμό της βέλτιστης κλίσης, χρησιμοποιήθηκε ο προσεγγιστικός τύπος 1.5:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi|, \qquad (4.1)$$

όπου:

β_{opt}: η βέλτιστη γωνία κλίσης και

ϕ: το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Αντικαθιστώντας τα γεωγραφικά πλάτη των σημείων εγκατάστασης από τον πίνακα 4.1 στον τύπο 4.1, προκύπτει ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης για όλες τις θέσεις εγκατάστασης είναι ίδια, περίπου ίση με 28^o. Επιπλέον, για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της προσπίπτουσας, στην εκάστοτε θέση, ηλιακής ακτινοβολίας και εφόσον όλες οι θέσεις εγκατάστασης βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο, ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών συλλεκτών επιλέγεται να είναι νότιος, γ(αζιμούθιο)=0^o.

Είναι γνωστό, ότι σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, βασική επιδίωξη είναι να επιτευχθούν οι μικρότερες δυνατές απώλειες, προκειμένου να εξασφαλιστεί η μεγαλύτερη δυνατή ενεργειακή απολαβή. Επομένως, όσον αφορά στις καλωδιακές απώλειες, το άθροισμα τους στα AC και DC καλώδια πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Ορίζουμε την τιμή του αθροίσματος αυτού, για όλα τα πάρκα, στο 1%.

Προκειμένου να πραγματοποιήσουμε τις προσομοιώσεις στα διάφορα λογισμικά, χρειαζόμαστε μετεωρολογικά δεδομένα (μηνιαίες μέσες τιμές προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας) για την κάθε θέση εγκατάστασης. Κάθε λογισμικό, διαθέτει τη δικιά του βάση μετεωρολογικών δεδομένων, ενώ ορισμένα επιτρέπουν στο χρήστη να εισάγει δικές του τιμές. Προκειμένου, όμως, να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που εξάγονται, θα πρέπει τα μετεωρολογικά δεδομένα των διαφόρων λογισμικών να βρίσκονται σε συμφωνία μεταξύ τους. Έτσι, επιλέγουμε ως κοινή πηγή των δεδομένων αυτών (σε όσα λογισμικά μας το επιτρέπουν), την σελίδα του **Joint Research Center** (ινστιτούτου ενέργειας και μεταφοράς, Institute for Energy and Transport-IET), στο τμήμα της έρευνας ακτινοβολίας ανά περιοχή για την Ευρώπη (Photovoltaic Geographical Information System - PV-GIS): http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php# .

Στη σελίδα αυτή, εισάγοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες του τόπου που μας ενδιαφέρει, προκύπτει αρχείο με τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας που χρειαζόμαστε. Έτσι, για την περιοχή της Αγιάς, λαμβάνεται ο παρακάτω πίνακας:

JRC EUROPEAN COMMISSION Photovoltaic Geographical Information System

Incident global irradiation for the chosen location

Location: 35°28'22" North, 23°56'13" East, Elevation: 55 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 28 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.1 %

Month	Hh	Hopt	D/G	T24h
Jan	2280	3280	0.46	13.0
Feb	2990	3910	0.46	12.6
Mar	4830	5740	0.40	14.2
Apr	6060	6450	0.34	16.1
May	7190	7010	0.29	19.2
Jun	8270	7670	0.21	22.3
Jul	8070	7640	0.19	25.3
Aug	7300	7530	0.21	25.4
Sep	5700	6590	0.29	23.8
Oct	4030	5200	0.38	21.0
Nov	2760	3960	0.41	17.8
Dec	1930	2820	0.49	14.7
Year	5130	5660	0.30	18.8

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

D/G: Ratio of diffuse to global irradiation (-)

T24h: 24 hour average of temperature (°C)

Εικόνα 4.8 Ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή της Αγιάς (PV-GIS).

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, λαμβάνουμε αντίστοιχους πίνακες και για τα υπόλοιπα τέσσερα πάρκα.

Μια επιπλέον δυνατότητα τουPV-GIS, είναι ο αυτόματος υπολογισμός της βέλτιστης γωνίας κλίσης φωτοβολταϊκών πλαισίων, σε κάθε περιοχή. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή της βέλτιστης κλίσης που υπολογίζει το PV-GIS, βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του προσεγγιστικού τύπου (4.1) που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω.

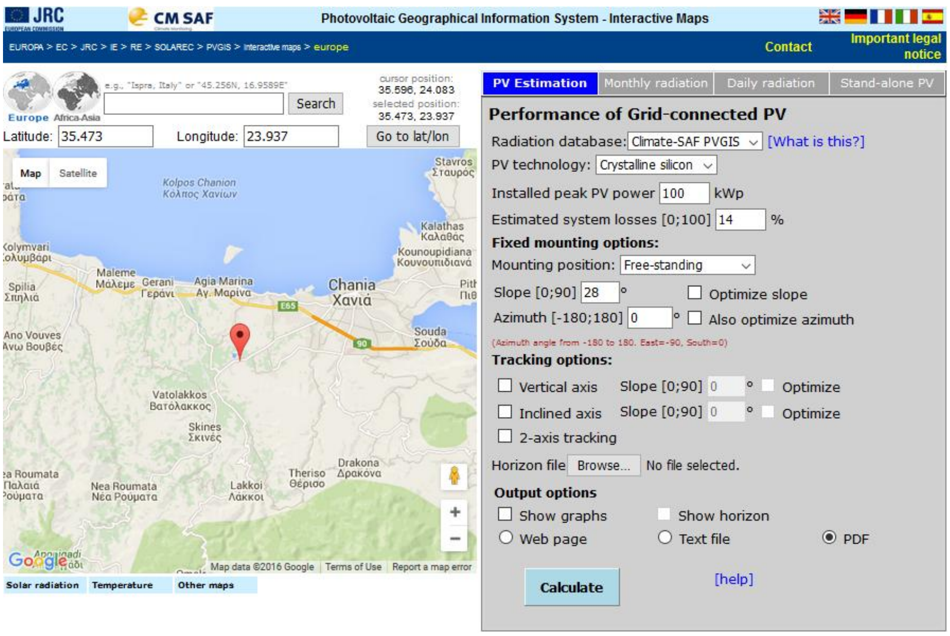
Τέλος, όσον αφορά στη σκίαση, υποθέτουμε ότι η έκταση των σημείων εγκατάστασης είναι τόση, ώστε να μας επιτρέπει την τοποθέτηση των στοιχειοσειρών με τέτοιο τρόπο, που να αποφεύγονται τα φαινόμενα της μεταξύ τους σκίασης. Επιπλέον, θεωρούμε ότι δεν παρουσιάζονται εμπόδια φυσικά ή τεχνητά και η βέλτιστη επιλογή είναι η χωροθέτηση να είναι κατά το δυνατότερο κοντά σε δρόμο, όπου θα γίνει και σε επόμενο στάδιο η σύνδεση του σταθμού με το δίκτυο, προκειμένου να μειώσουμε τα καλώδια, το κόστος και τις απώλειες.

4.4 Προσομοίωση φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς με διάφορα λογισμικά

4.4.1 Προσομοίωση με το λογισμικό PV-GIS

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2.4.1 του προηγούμενου κεφαλαίου, το PV-GIS, είναι μια on-line, δωρεάν, μηχανή υπολογισμού της ενέργειας που παράγουν αυτόνομα ή διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα και πάρκα.

Στην εικόνα 4.9, παρουσιάζεται η αρχική οθόνη τουPV-GIS. Συμπληρώνοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή της Αγιάς (πίνακας 4.1), μεταφερόμαστε απευθείας, μέσω του χάρτη Google Map, στο σημείο εγκατάστασης. Κατόπιν, στο φύλλο “PV Estimation”, συμπληρώνουμε τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πάρκου (τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων που χρησιμοποιήθηκε, εγκατεστημένη ισχύς, τρόπος στήριξης πλαισίων, κλίση, αζιμούθιο). Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.3, το PV-GIS, έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει αυτόματα τη βέλτιστη γωνία κλίσης, καθώς και το βέλτιστο προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων, στην περίπτωση που τα μεγέθη αυτά δεν έχουν υπολογιστεί εκ των προτέρων.



Εικόνα 4.9 Αρχική οθόνη PV-GIS.

Επιλέγοντας εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε PDF, λαμβάνονται, για τον φωτοβολταϊκό σταθμό της Αγιάς, η μηνιαία και ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας Ε (kWh), όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

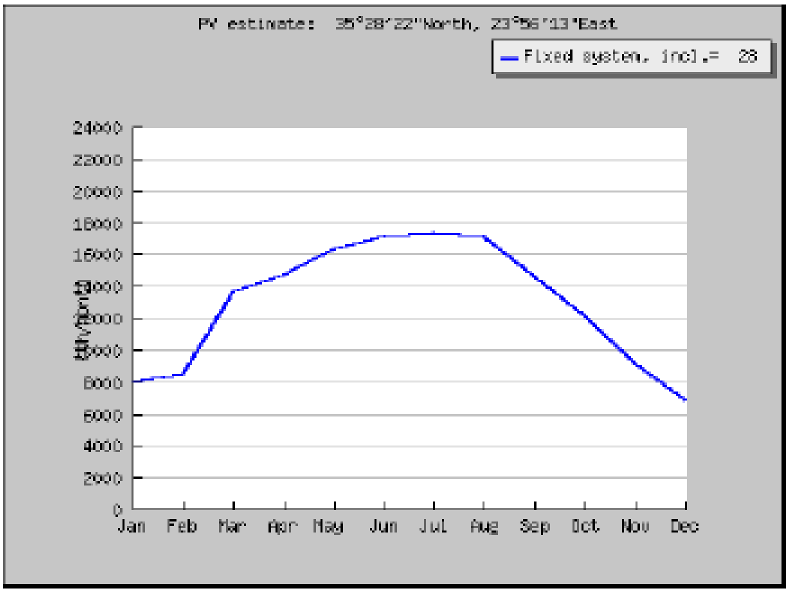
Location: 35°28'22" North, 23°56'13" East, Elevation: 55 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 100.0 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.2% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.5%
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
Combined PV system losses: 24.7%

	Fixed system: inclination=28 deg., orientation=0 deg.			
Month	**Ed**	**Em**	**Hd**	**Hm**
Jan	258.00	7990	3.28	102
Feb	303.00	8480	3.91	109
Mar	440.00	13600	5.74	178
Apr	488.00	14700	6.45	193
May	527.00	16300	7.01	217
Jun	570.00	17100	7.67	230
Jul	558.00	17300	7.64	237
Aug	551.00	17100	7.53	233
Sep	485.00	14600	6.59	198
Oct	390.00	12100	5.20	161
Nov	304.00	9130	3.96	119
Dec	220.00	6820	2.82	87.3
Year	425.00	12900	5.66	172
Total for year		155000		2070

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)
Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)
Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

Εικόνα 4.10 Μηναία και ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς από το PV-GIS.

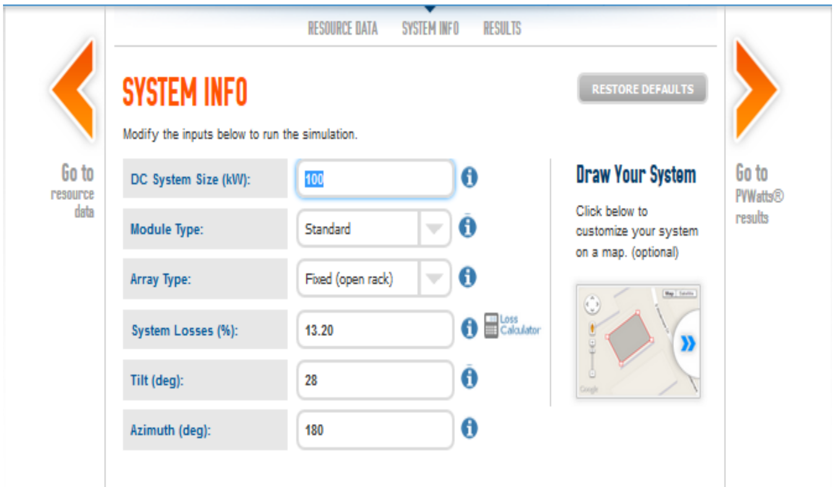


Εικόνα 4.11 Γραφική παράσταση ενεργειακής παραγωγής φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς στο PV-GIS.

4.4.2 Προσομοίωση με το λογισμικό PVwatts

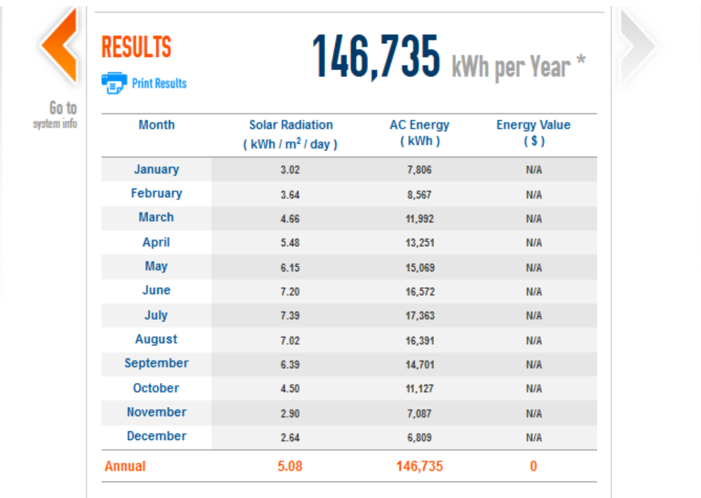
Όπως στην προηγούμενη περίπτωση, έτσι και στο λογισμικό PVwatts, εισάγοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες για την περιοχή της Αγιάς (πίνακας 4.1), μεταφερόμαστε απευθείας μέσω του χάρτη στο σημείο εγκατάστασης. Όσον αφορά στα μετεωρολογικά δεδομένα, το λογισμικό, διαθέτει βάση δεδομένων, για συγκεκριμένες μόνο τοποθεσίες και δεν επιτρέπει την εισαγωγή από άλλες πηγές. Έτσι, εντοπίζει τις κοντινές, στο σημείο που επιλέξαμε περιοχές της βάσης δεδομένων και προτείνει εκείνη που είναι κλιματολογικά παρόμοια με την επιθυμητή, στην περίπτωσή μας, την Αθήνα.

Κατόπιν, προσδιορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος (εγκατεστημένη ισχύς, τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων που χρησιμοποιήθηκε, τρόπος στήριξης πλαισίων, κλίση, αζιμούθιο).



Εικόνα 4.12 Διαμόρφωση φωτοβολταϊκού σταθμού στο PVwatts.

Το PVWatts, υπολογίζει τη μηνιαία και ετήσια ακτινοβολία και την παραγωγή ενέργειας του πάρκου, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.13, ενώ τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε μορφή PDF.



Month	Solar Radiation (kWh / m² / day)	AC Energy (kWh)	Energy Value ($)
January	3.02	7,806	N/A
February	3.64	8,567	N/A
March	4.66	11,992	N/A
April	5.48	13,251	N/A
May	6.15	15,069	N/A
June	7.20	16,572	N/A
July	7.39	17,363	N/A
August	7.02	16,391	N/A
September	6.39	14,701	N/A
October	4.50	11,127	N/A
November	2.90	7,087	N/A
December	2.64	6,809	N/A
Annual	5.08	146,735	0

Εικόνα 4.13 Αποτελέσματα PVwatts για τον φωτοβολταϊκό σταθμό της Αγιάς.

4.4.3 Προσομοίωση με το λογισμικό RETScreen

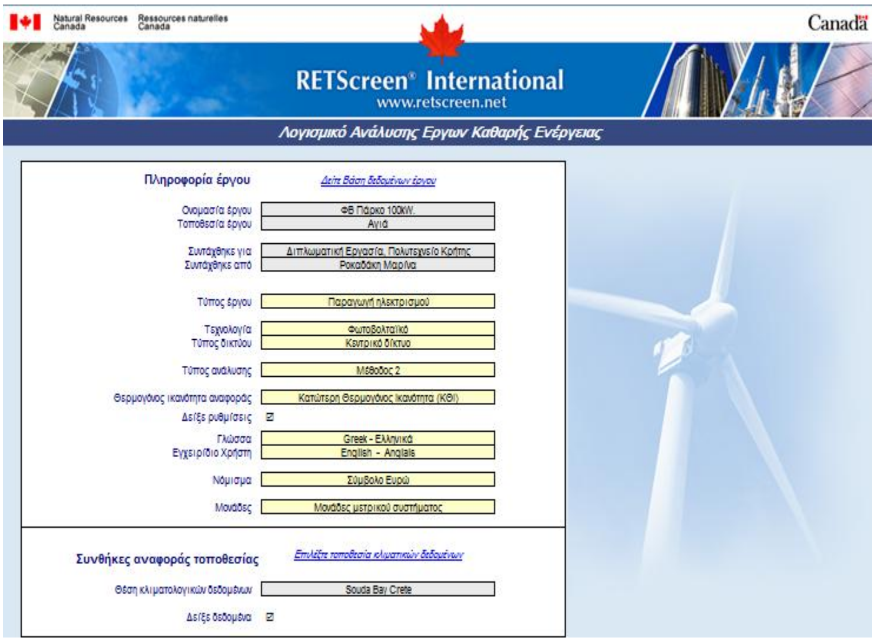
Στο πρώτο στάδιο της προσομοίωσης με το λογισμικό RETScreen (φύλλο εκκίνησης), εισάγουμε τις πληροφορίες του έργου, όπως η ονομασία, η τοποθεσία, για ποιόν και από ποιόν συντάσσεται η μελέτη και επιλέγεται ο τύπος του έργου(παραγωγή ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκό σύστημα). Στην επιλογή του τύπου δικτύου, μπορούμε να επιλέξουμε ανάμεσα στο κεντρικό δίκτυο, στο κεντρικό δίκτυο με εσωτερικό φορτίο, στο απομονωμένο δίκτυο και στην εγκατάσταση εκτός δικτύου.

Ακόμα, δίνεται η δυνατότητα επιλογής του βαθμού ανάλυσης της μελέτης του έργου και των στοιχείων που θα προκύψουν. Η μέθοδος 1 επιλέγεται για απλοποιημένη μελέτη, ενώ η μέθοδος 2 για μεγαλύτερη ανάλυση, επομένως επιλέγουμε τη μέθοδο 2.

Στη συνέχεια, επιλέγεται Ανώτερη ή Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα, που αποτελεί μέθοδο αποτίμησης του καυσίμου. Στη συγκεκριμένη μελέτη εφαρμόζεται η Κατώτερη Θερμογόνος Ικανότητα. Η θερμογόνος δύναμη, μετρά την ικανότητα παραγωγής θερμικής ενέργειας ενός υλικού κατά την καύση του και είναι η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση ενός κιλού στερεού ή υγρού καυσίμου, ή ενός κυβικού μέτρου αερίου καυσίμου που βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες. Διακρίνεται σε Κατώτερη και Ανώτερη θερμογόνο δύναμη. Η Ανώτερη Θερμογόνος δύναμη επιλέγεται όταν στα προϊόντα καύσης, το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, δεν έχει απορροφήσει, δηλαδή, ενέργεια. Η Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη αναφέρεται σε προϊόντα καύσης που το νερό βρίσκεται σε αέρια κατάσταση (υδρατμοί), το νερό έχει απορροφήσει ενέργεια και η θερμογόνος δύναμη που έχει, είναι κατά συνέπεια μικρότερη της ανώτερης και ονομάζεται Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη.

Τέλος, το RETScreen δίνει την δυνατότητα πρόσβασης σε μια βάση μετεωρολογικών δεδομένων ανά τον κόσμο, ενώ, δεν επιτρέπεται η εισαγωγή δεδομένων από άλλες πηγές.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία, συμπληρωμένα για το φωτοβολταϊκό πάρκο στην περιοχή της Αγιάς, φαίνονται στην εικόνα 4.14, ενώ, όσον αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, επιλέξαμε την περιοχή της Σούδας, που είναι η πλησιέστερη στην Αγιά, περιοχή της βάσης δεδομένων (εικόνα 4.15).



Εικόνα 4.14 Αρχική οθόνη RETScreen με δεδομένα φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς.

	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία έργου
Γεωγραφικό πλάτος	°Β	35,5	35,5
Γεωγραφικό μήκος	°Α	24,2	24,2
Υψόμετρο	m	146	146
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμο	°C	5,8	
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	33,1	
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφου	°C	9,3	

Μήνας		Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης	Βαθμο-ημέρες ψύξης
		°C	%	kWh/m²/ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτ	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος		11,0	77,3%	2,31	101,2	3,2	15,1	217	31
Φεβρουάριος		10,8	76,4%	3,20	101,1	3,3	14,9	202	22
Μάρτιος		12,6	74,4%	4,57	101,0	3,6	15,9	167	81
Απρίλιος		15,7	70,5%	6,30	100,8	3,7	17,9	69	171
Μαΐος		20,1	64,4%	7,45	100,8	3,3	21,2	0	313
Ιούνιος		24,6	57,2%	8,45	100,7	3,2	24,7	0	438
Ιούλιος		26,6	57,9%	8,41	100,5	2,9	26,8	0	515
Αύγουστος		26,1	59,8%	7,58	100,5	3,0	27,3	0	499
Σεπτέμβριος		23,3	65,9%	6,14	100,8	2,9	25,8	0	399
Οκτώβριος		19,9	71,8%	4,28	101,1	2,8	22,8	0	307
Νοέμβριος		15,6	75,8%	2,65	101,1	2,8	19,3	72	168
Δεκέμβριος		12,1	78,7%	2,05	101,2	3,2	16,4	183	65
Ετήσιο		18,2	69,1%	5,29	100,9	3,2	20,7	910	3.009
Μετρημένο σε	m					10,0	0,0		

Εικόνα 4.15 Μετεωρολογικά δεδομένα περιοχής Σούδας.

Στο φύλλο «Ενεργειακό μοντέλο», καθορίζουμε παραμέτρους που περιγράφουν τον προσανατολισμό, τον τύπο και την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος, τον τύπο του συλλέκτη και του αντιστροφέα, την τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας και τις απώλειες του συστήματος. Τα στοιχεία αυτά, συμπληρωμένα για το φωτοβολταϊκό πάρκο στην περιοχή της Αγιάς, φαίνονται στην εικόνα 4.16, ενώ, παράλληλα, υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του έργου και ο ετήσιος συντελεστής χρησιμοποίησης.

Αξιολόγηση πηγών		
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου		Σταθεροποιημένα
Κλίση	°	28,0
Αζιμούθιο	°	0,0

☒ Δείξε δεδομένα

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m²/ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - κεκλιμένο kWh/m²/ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού €/MWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh
Ιανουάριος	2,31	3,26	115,0	9,633
Φεβρουάριος	3,20	4,10	115,0	10,893
Μάρτιος	4,57	5,27	115,0	15,243
Απρίλιος	6,30	6,58	115,0	18,001
Μαΐος	7,45	7,12	115,0	19,709
Ιούνιος	8,45	7,73	115,0	20,187
Ιούλιος	8,41	7,84	115,0	20,914
Αύγουστος	7,58	7,66	115,0	20,469
Σεπτέμβριος	6,14	6,95	115,0	18,274
Οκτώβριος	4,28	5,47	115,0	15,273
Νοέμβριος	2,65	3,69	115,0	10,328
Δεκέμβριος	2,05	2,96	115,0	8,752
Ετήσιο	**6,28**	**6,78**	**115,00**	**187,876**

Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο	MWh/m²	1,93
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο	MWh/m²	2,09
Φωτοβολταϊκό		
Τύπος		Πολυ-Si
Ηλεκτρική ισχύς	kW	100,00
Κατασκευαστής		
Μοντέλο		
Βαθμός απόδοσης	%	15,2%
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελλιού	°C	45
Συντελεστής θερμοκρασίας	% / °C	0,40%
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m²	658
Λοιπές απώλειες	%	1,0%
Μετατροπέας (Inverter)		
Βαθμός απόδοσης	%	97,6%
Ισχύς	kW	100,0
Λοιπές απώλειες	%	0,0%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	21,4%
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	187,675

Εικόνα 4.16 Ενεργειακό μοντέλο RETScreen για το φωτοβολταϊκό σταθμό της Αγιάς.

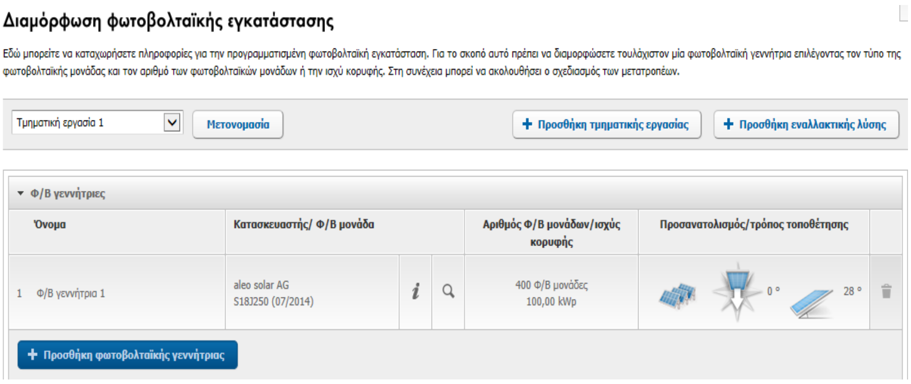
4.4.4 Προσομοίωση με το λογισμικό Sunny Design (SMA)

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Παράγραφος 3.2.5.1), η εκάστοτε εταιρία κατασκευής μετατροπέων, παρέχει ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα για διαστασιολόγηση και σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για την μελέτη των φωτοβολταϊκών σταθμών της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκαν μετατροπείς της εταιρίας SMA και συγκεκριμένα ο τριφασικός μετατροπέας SMA Sunny Tripower STP 10000TL-20. Επομένως, για την προσομοίωση και την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης των σταθμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Sunny Design, που παρέχεται από την συγκεκριμένη κατασκευάστρια εταιρία.

Η διαδικασία της προσομοίωσης ξεκινά με την καταχώρηση των βασικών δεδομένων του έργου (όνομα έργου, στοιχεία σχετικά με την τοποθεσία εγκατάστασης και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, επίπεδο τάσης, τύπος εγκατάστασης μετατροπέα), καθώς και, διευρυμένα δεδομένα, για τα οποία έχουν καταχωρηθεί από το λογισμικό, τυπικές τιμές.

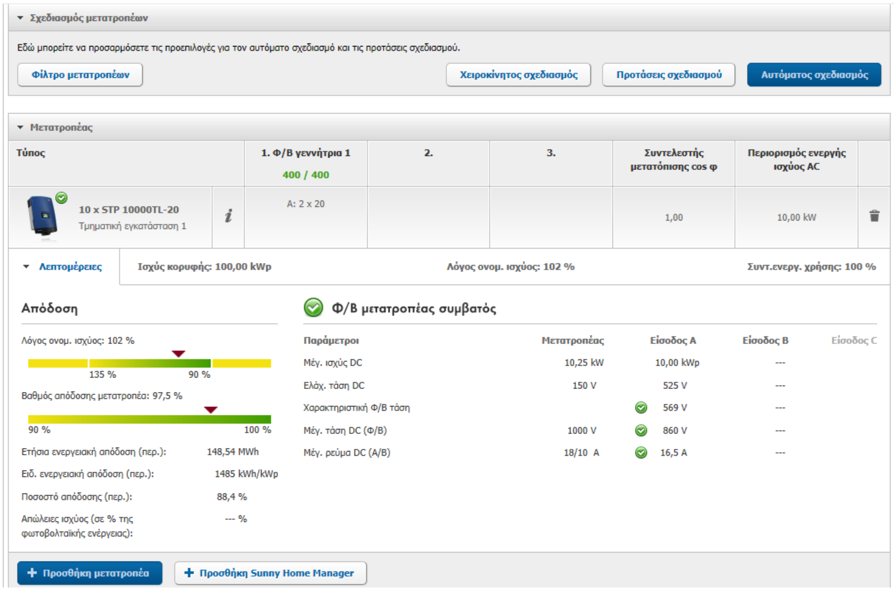
Όσον αφορά στα μετεωρολογικά στοιχεία, διατίθεται βάση δεδομένων με διάφορες τοποθεσίες, καθώς και η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από το χρήστη. Στο σημείο αυτό αντιμετωπίστηκε πρόβλημα, καθώς, το Sunny Design υποστηρίζει εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων τριών μορφών: μορφή Energy Plus Weather (EPW) (.epw), η οποία δε δίνει δεδομένα για τις περιοχές που μας ενδιαφέρουν, μορφή εξαγωγής Meteonorm 6.1 Standard (.dat), της οποίας η δοκιμαστική έκδοση δεν επιτρέπει την αποθήκευση αρχείων και μορφή εισαγωγής Sunny Design (.csv), δηλαδή διαμόρφωση αρχείου excel με 8760 γραμμές. Έτσι, για την προσομοίωση του φωτοβολταϊκού σταθμού της Αγιάς χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που παρέχει για την Κρήτη, αυτόματα, το Sunny Design.

Στο επόμενο στάδιο, γίνεται η διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Αρχικά, επιλέγουμε το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου από τη βάση δεδομένων του προγράμματος, το πλήθος των πλαισίων που θα τοποθετηθούν, τον τρόπο στήριξης, την κλίση και τον προσανατολισμό τους.



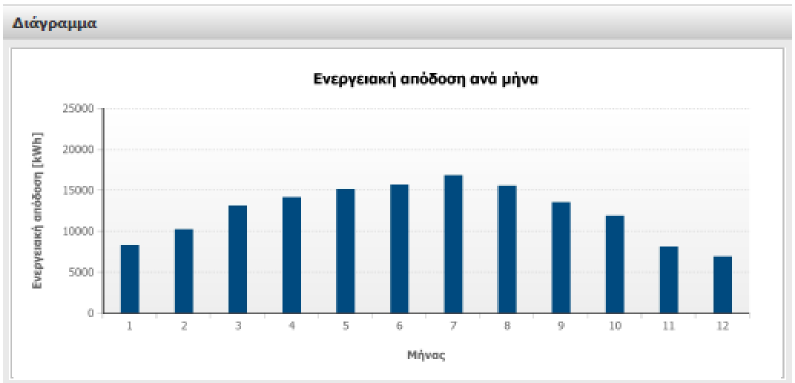
Εικόνα 4.17 Διαμόρφωση φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο SunnyDesign.

Ακολουθεί ο σχεδιασμός του μετατροπέα. Στο σημείο αυτό υπάρχουν τρεις επιλογές: αυτόματος σχεδιασμός από το πρόγραμμα, επιλογή μετατροπέα από μια από τις προτάσεις του λογισμικού ή χειροκίνητος σχεδιασμός από το χρήστη. Στην περίπτωσή μας, εφόσον το μοντέλο του μετατροπέα είναι επιλεγμένο εκ των προτέρων, πραγματοποιήθηκε χειροκίνητος σχεδιασμός.



Εικόνα 4.18 Σχεδιασμός μετατροπέα στο Sunny Design.

Στη συνέχεια, το λογισμικό πραγματοποιεί αναλυτική διαστασιολόγηση των αγωγών (DC και AC), όπου στην περίπτωσή μας ορίστηκε απλώς το άθροισμά τους στο 1%. Τέλος, τα αποτελέσματα εξάγονται σε αναλυτική αναφορά σε μορφή PDF.



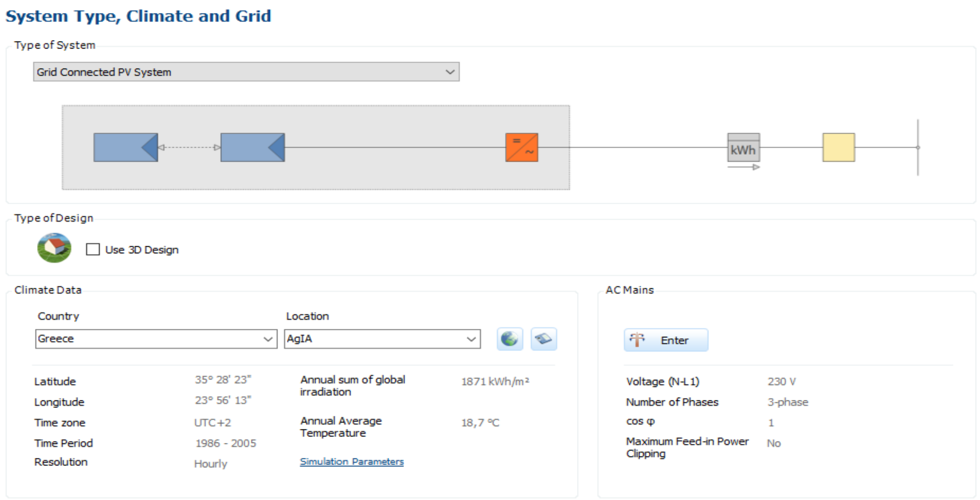
Πίνακας

Μήνας	Ενεργειακή απόδοση [kWh]	Ποσοστό απόδοσης
1	8270 (5,6 %)	92 %
2	10136 (6,8 %)	93 %
3	13056 (8,8 %)	91 %
4	14033 (9,4 %)	89 %
5	15067 (10,1 %)	88 %
6	15587 (10,5 %)	87 %
7	16747 (11,3 %)	86 %
8	15463 (10,4 %)	86 %
9	13460 (9,1 %)	87 %
10	11784 (7,9 %)	89 %
11	8070 (5,4 %)	89 %
12	6867 (4,6 %)	91 %

Εικόνα 4.19 Αποτελέσματα Sunny Design για τον φωτοβολταϊκό σταθμό της Αγιάς.

4.4.5 Προσομοίωση με το λογισμικό PV*SOL

Η διαδικασία προσομοίωσης του φωτοβολταϊκού σταθμού της Αγιάς από το λογισμικό PV*SOL ξεκινάει, όπως στα περισσότερα λογισμικά, με τη εισαγωγή των βασικών στοιχείων του έργου (όνομα έργου, συνοπτική περιγραφή, διεύθυνση εγκατάστασης, στοιχεία μελετητή, στοιχεία πελάτη) και κατόπιν, εισάγουμε στοιχεία σχετικά με τον τύπο του συστήματος, τα μετεωρολογικά δεδομένα και τη σύνδεση με το δίκτυο (αν υπάρχει). Στο σημείο αυτό, δίνεται η επιλογή του τρισδιάστατου σχεδιασμού, προκειμένου να γίνει αναλυτικός υπολογισμός σκιάσεων, αλλά καθώς έχουμε υποθέσει μηδενικές γειτονικές σκιάσεις, στην περίπτωσή μας δεν χρειάστηκε.

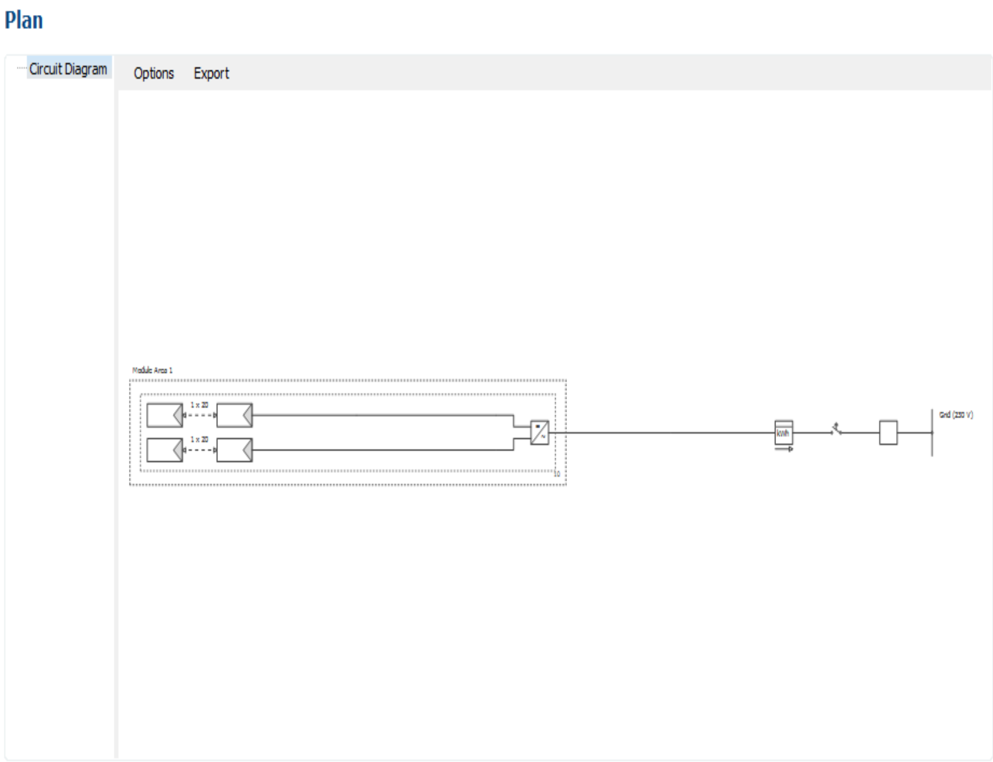


Εικόνα 4.20 Εισαγωγή βασικών στοιχείων έργου στο PV*SOL.

Όσον αφορά στα μετεωρολογικά δεδομένα, το λογισμικό διαθέτει βάση με πλήθος σημείων ανά τον κόσμο, αλλά παρέχει στο χρήστη την επιπλέον δυνατότητα να δημιουργήσει νέα τοποθεσία και να εισάγει τα δικά του μετεωρολογικά στοιχεία. Έτσι, μέσα από το χάρτη, εντοπίστηκε το σημείο εγκατάστασης και στη συνέχεια έγινε εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων από το PV-GIS (εικόνα 4.8) χειροκίνητα.

Ακολουθούν, η διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (επιλογή μοντέλου φωτοβολταϊκού πλαισίου από τη βάση δεδομένων του προγράμματος, πλήθους πλαισίων που θα τοποθετηθούν, τρόπου στήριξης, κλίσης και προσανατολισμού) και ο σχεδιασμός του μετατροπέα. Το πρόγραμμα παρέχει προτάσεις σχεδιασμού, προκειμένου να επιλεχθεί η καλύτερη, όμως, εφόσον το μοντέλο του μετατροπέα είναι επιλεγμένο εκ των προτέρων, στην περίπτωσή μας, έγινε χειροκίνητος σχεδιασμός.

Σε επόμενο στάδιο, πραγματοποιείται υπολογισμός των καλωδιακών απωλειών (τις ορίσαμε στο 1%) και το λογισμικό δημιουργεί αυτόματα το ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης.



Εικόνα 4.21 Ηλεκτρολογικό σχέδιο φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς στο PV*SOL.

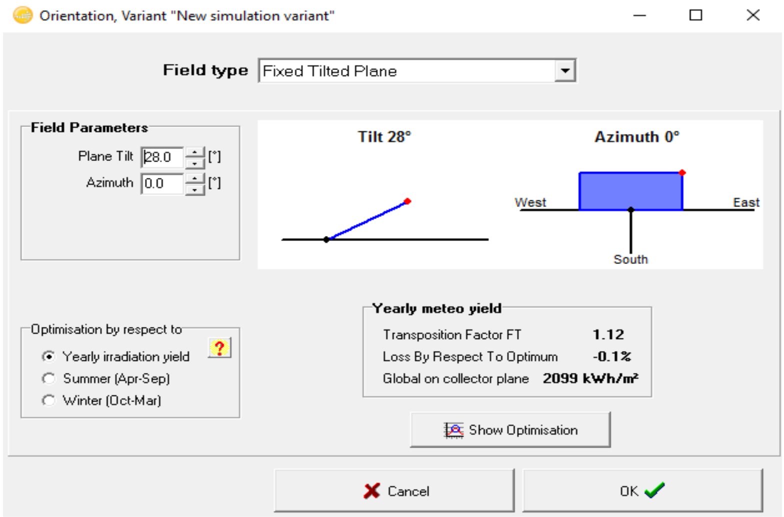
Μετά το πέρας του σχεδιασμού, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με τις τιμές διαφόρων μεγεθών σε πίνακες, ραβδογράμματα και γραφικές παραστάσεις.

4.4.6 Προσομοίωση με το λογισμικό PVsyst

Ξεκινώντας τη διαδικασία προσομοίωσης με το λογισμικό PVsyst, καλούμαστε να επιλέξουμε μεταξύ του προκαταρκτικού σχεδιασμού, μιας δηλαδή, πρόχειρης εκτίμησης των μεγεθών του συστήματος, και του κύριου σχεδιασμού. Εφόσον θέλουμε να προβούμε σε μια αναλυτική μελέτη του συστήματος, επιλέγουμε τον κύριο σχεδιασμό.

Στη συνέχεια, ορίζουμε το όνομα του έργου και καθώς το λογισμικό το επιτρέπει, εισάγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα από το PV-GIS (εικόνα 4.8) και τα εδαφολογικά δεδομένα της θέσης εγκατάστασης.

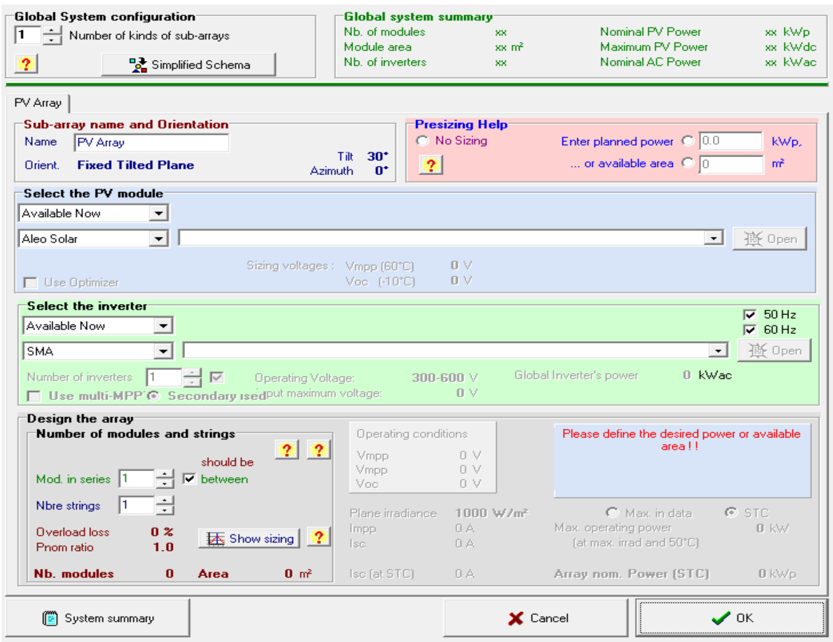
Ακολουθεί η φάση διαμόρφωσης του συστήματος. Εδώ, ορίζουμε τον τρόπο στήριξης, τη γωνία και το αζιμούθιο των φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Εικόνα 4.22 Καθορισμός κλίσης και αζιμούθιου φωτοβολταϊκών πλαισίων στο PVsyst.

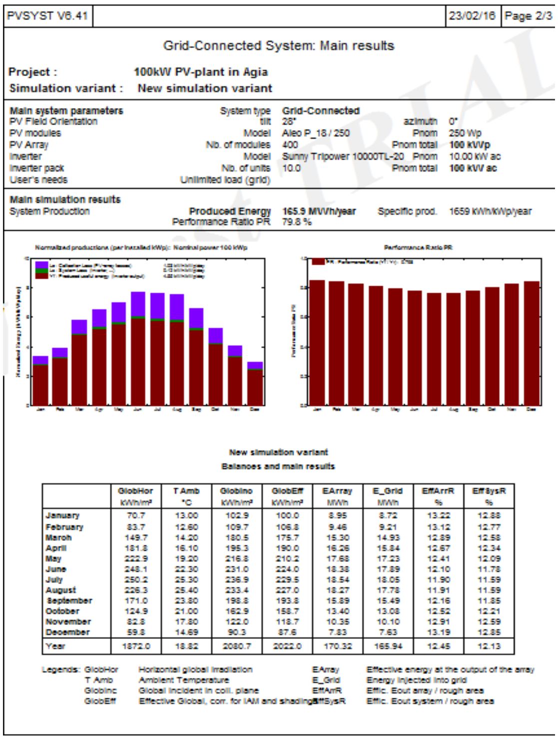
Στη συνέχεια, εισάγουμε την τιμή της εγκατεστημένης ισχύος και επιλέγουμε το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και του μετατροπέα που θα τοποθετηθούν στο σύστημα, από τις βάσεις δεδομένων που διαθέτει το λογισμικό.

Με τα στοιχεία αυτά, υπολογίζεται ο αριθμός των πλαισίων που απαιτούνται για να καλυφθεί η τιμή της επιθυμητής ισχύος και προτείνεται ένας ενδεικτικός τρόπος σύνδεσης των πλαισίων στους μετατροπείς, τον οποίο μπορούμε, αν κριθεί σκόπιμο, να μεταβάλλουμε.



Εικόνα 4.23 Παράθυρο διαμόρφωσης φωτοβολταϊκού συστήματος στο PVsyst.

Κατόπιν, ορίζουμε τις καλωδιακές απώλειες στο 1% και εφόσον έχουμε θεωρήσει μηδενικές γειτονικές σκιάσεις, προχωράμε στην προσομοίωση. Τα αποτελέσματα λαμβάνονται σε μία αναλυτική τεχνική έκθεση σε μορφή PDF.



PVSYST V6.41 | 23/02/16 | Page 2/3

Grid-Connected System: Main results

Project : 100kW PV-plant in Agia
Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	28°	azimuth	0°
PV modules	Model	Aleo P_18 / 250	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	400	Pnom total	**100 kWp**
Inverter	Model	Sunny Tripower 10000TL-20	Pnom	10.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	10.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

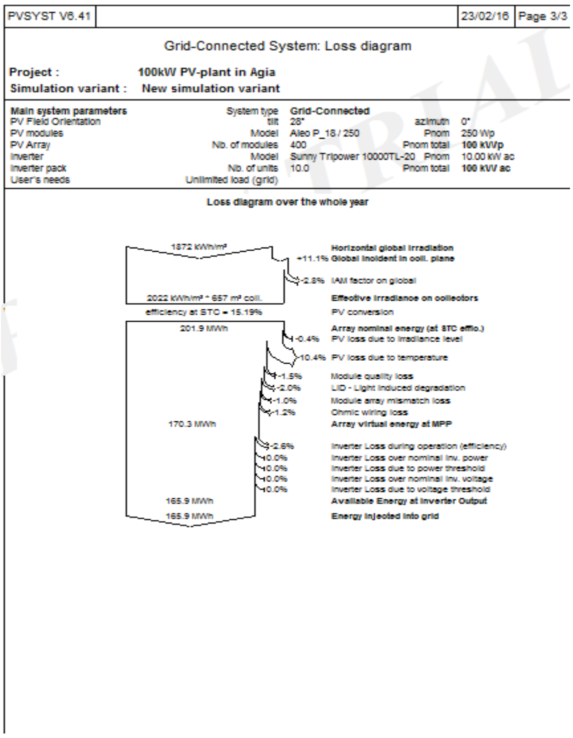
Main simulation results				
System Production	**Produced Energy**	**165.9 MWh/year**	Specific prod.	1659 kWh/kWp/year
	Performance Ratio PR	79.8 %		

New simulation variant
Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	70.7	13.00	102.9	100.0	8.95	8.72	13.22	12.88
February	83.7	12.60	109.7	106.8	9.46	9.21	13.12	12.77
March	149.7	14.20	180.5	175.7	15.30	14.93	12.89	12.58
April	181.8	16.10	195.3	190.0	16.26	15.84	12.67	12.34
May	222.9	19.20	216.8	210.2	17.68	17.23	12.41	12.09
June	248.1	22.30	231.0	224.0	18.38	17.89	12.10	11.78
July	250.2	25.30	236.9	229.5	18.54	18.05	11.90	11.59
August	226.3	25.40	233.4	227.0	18.27	17.78	11.91	11.59
September	171.0	23.80	198.8	193.8	15.89	15.49	12.16	11.85
October	124.9	21.00	162.9	158.7	13.40	13.08	12.52	12.21
November	82.8	17.80	122.0	118.7	10.35	10.10	12.91	12.59
December	59.8	14.69	90.3	87.6	7.83	7.63	13.19	12.85
Year	1872.0	18.82	2080.7	2022.0	170.32	165.94	12.45	12.13

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation; T Amb Ambient Temperature; GlobInc Global incident in coll. plane; GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings; EArray Effective energy at the output of the array; E_Grid Energy injected into grid; EffArrR Effic. Eout array / rough area; EffSysR Effic. Eout system / rough area

(α)



PVSYST V6.41 | 23/02/16 | Page 3/3

Grid-Connected System: Loss diagram

Project : 100kW PV-plant in Agia
Simulation variant : New simulation variant

Main system parameters	System type	**Grid-Connected**		
PV Field Orientation	tilt	28°	azimuth	0°
PV modules	Model	Aleo P_18 / 250	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	400	Pnom total	**100 kWp**
Inverter	Model	Sunny Tripower 10000TL-20	Pnom	10.00 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	10.0	Pnom total	**100 kW ac**
User's needs	Unlimited load (grid)			

(β)

Εικόνα 4.24 (α) Αποτελέσματα PVsyst για τον φωτοβολταϊκό σταθμό της Αγιάς.
(β) Ετήσιο διάγραμμα απωλειών φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς.

4.4.7 Προσομοίωση με το λογισμικό HelioScope

Για την προσομοίωση του φωτοβολταϊκού πάρκου με το λογισμικό HelioScope, αρχικά, εισάγουμε της γεωγραφικές συντεταγμένες της Αγιάς από τον πίνακα 4.1 και το λογισμικό, μέσω της εφαρμογής Google Map που διαθέτει, μας μεταφέρει αυτόματα στη θέση εγκατάστασης.

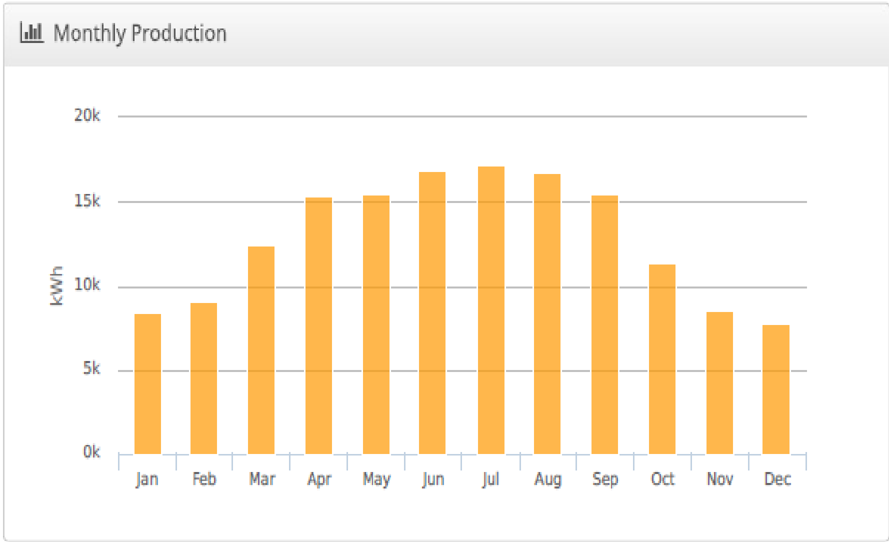
Εκεί, σχεδιάζουμε το σύστημά μας, απευθείας, πάνω στο χάρτη. Ορίζουμε το περίγραμμα της εγκατάστασης, την εγκατεστημένη ισχύ, επιλέγουμε το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου που θα χρησιμοποιηθεί, μέσα από μια πλήρως ενημερωμένη βάση δεδομένων, επιλέγουμε τον τρόπο στήριξης των πλαισίων, ορίζουμε τις αποστάσεις μεταξύ των συστοιχιών κλπ.. Το στάδιο αυτό ονομάζεται μηχανολογικός σχεδιασμός.

Ακολουθεί το στάδιο του ηλεκτρολογικού σχεδιασμού. Σε αυτό, επιλέγουμε το μοντέλο του αντιστροφέα από τη βάση δεδομένων που διατίθεται, καθώς και πλήθος των αντιστροφέων που θα εγκατασταθούν. Το πρόγραμμα τους τοποθετεί αυτόματα στο σχέδιο και το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι να τους χωροθετήσουμε.

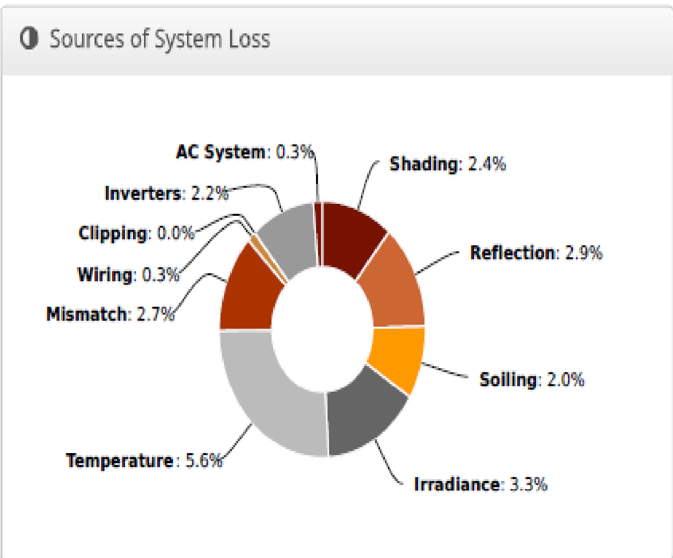
Σύμφωνα με τις τεχνικές κατευθύνσεις που λάβαμε, από εταιρία που δραστηριοποιείται στον κλάδο των φωτοβολταϊκών συστημάτων, σε μια εγκατάσταση, είναι προτιμότερο να «τρέχει» DC καλώδιο και όχι AC. Βάσει αυτού του συλλογισμού, οι αντιστροφείς τοποθετούνται σε κεντρικό σημείο του χώρου εγκατάστασης, όλοι μαζί και σε απόσταση 50cm ο ένας από τον άλλο, ώστε να εξασφαλίζεται ο επαρκής αερισμός τους.

Μετά την τοποθέτηση των αντιστροφέων στην επιθυμητή θέση, το λογισμικό εισάγει αυτόματα τα καλώδια και υπολογίζει τις καλωδιακές απώλειες. Επομένως, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα λογισμικά, στο HelioScope, δε μπορούμε να ορίσουμε το άθροισμα των AC και DC, καλωδιακών απωλειών στο 1%. Όσον αφορά στον τύπο των καλωδίων, αφήσαμε αυτά που έχει προεπιλέξει το λογισμικό. Το HelioScope, διαθέτει βάση μετεωρολογικών δεδομένων, ενώ, δε μπορούν να εισαχθούν δεδομένα από άλλες πηγές.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συστήματός μας, παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 4.25 Αποτελέσματα ενεργειακής παραγωγής του φωτοβολταϊκού σταθμού της Αγιάς στο HelioScope.



Εικόνα 4.26 Υπολογισμός απωλειών συστήματος στο HelioScope.

Annual Production

	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m^2)	Annual Global Horizontal Irradiance	1,739.1	
	POA Irradiance	1,928.9	10.9%
	Shaded Irradiance	1,882.3	-2.4%
	Irradiance after Reflection	1,828.3	-2.9%
	Irradiance after Soiling	1,791.7	-2.0%
	Total Collector Irradiance	**1,791.7**	**0.0%**
Energy (kWh)	Nameplate	178,488.9	
	Output at Irradiance Levels	172,657.4	-3.3%
	Output at Cell Temperature Derate	163,064.5	-5.6%
	Output After Mismatch	158,729.9	-2.7%
	Optimal DC Output	158,272.8	-0.3%
	Constrained DC Output	158,270.6	0.0%
	Inverter Output	154,867.0	-2.2%
	Energy to Grid	**154,402.0**	**-0.3%**

Εικόνα 4.27 Πίνακας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και ετήσιας ενεργειακής παραγωγής στο HelioScope.

4.4.8 Προσομοίωση με το λογισμικό Polysun

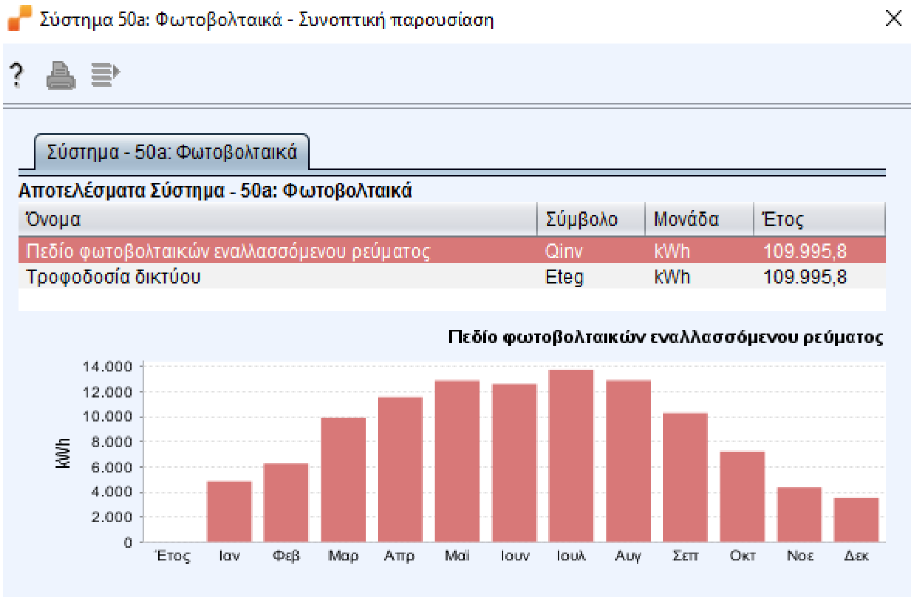
Το λογισμικό Polysun, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Παράγραφος 3.2.1.1), διαθέτει μια βιβλιοθήκη προδιαμορφωμένων συστημάτων, πάνω στα οποία βασίζεται ο σχεδιασμός του εκάστοτε συστήματος και ο χρήστης καλείται να επιλέξει το καταλληλότερο για το έργο που σχεδιάζει. Έτσι, επιλέγουμε το προδιαμορφωμένο σύστημα 50a, που αντιστοιχεί σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η δοκιμαστική έκδοση του λογισμικού, επιτρέπει την πραγματοποίηση μελετών, μόνο για την περιοχή Rapperswil της Ελβετίας. Όμως, επειδή πρόκειται για ένα αρκετά αξιόλογο λογισμικό, πραγματοποιήσαμε το σχεδιασμό του συστήματός μας στην περιοχή αυτή και για να υπολογίσουμε την ετήσια παραγόμενη ενέργεια στην περιοχή της Αγιάς, χρησιμοποιήσαμε την παρακάτω προσέγγιση:

$$\text{Ετήσια παραγωγή Αγιάς} = \frac{\text{Ετήσια ακτινοβολία Αγιάς}}{\text{Ετήσια ακτινοβολία Rapperswil}} \times \text{Ετήσια παραγωγή Rapperswil} \qquad (4.2)$$

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η διαμόρφωση του συστήματος. Εδώ, επιλέγουμε το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου, το πλήθος των πλαισίων που τοποθετούνται στο σύστημα, τη γωνία κλίσης και το αζιμούθιο. Επιπλέον, επιλέγουμε το μοντέλο και το πλήθος των μετατροπέων και ορίζουμε τις καλωδιακές απώλειες του συστήματός μας, στο 1%.

Κατόπιν, πραγματοποιούμε την προσομοίωση και λαμβάνουμε τα αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή του συστήματος.



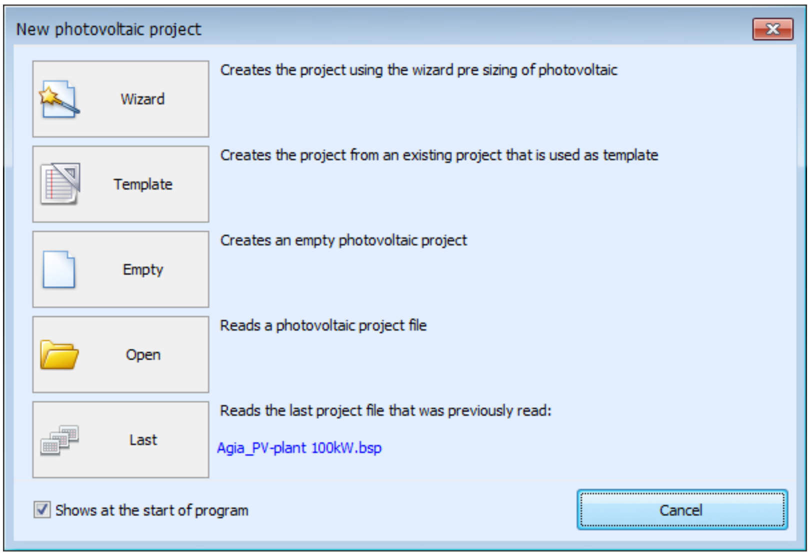
Εικόνα 4.28 Αποτελέσματα ενεργειακής παραγωγής φωτοβολταϊκού σταθμου Rapperswil στο Polysun.

Επομένως, με βάση τον τύπο 4.2, υπολογίζουμε την ενεργειακή παραγωγή για την περιοχή της Αγιάς:

$$\text{Ετήσια παραγωγή Αγίας} = \frac{2070\,\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1103{,}5\,\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} \times 109.995{,}8 = 206.335{,}5\text{kWh}$$

4.4.9 Προσομοίωση με το λογισμικό BlueSol

Ανοίγοντας ένα νέο αρχείο στο λογισμικό BlueSol, ανοίγει αυτόματα το παράθυρο της εικόνας 4.30.

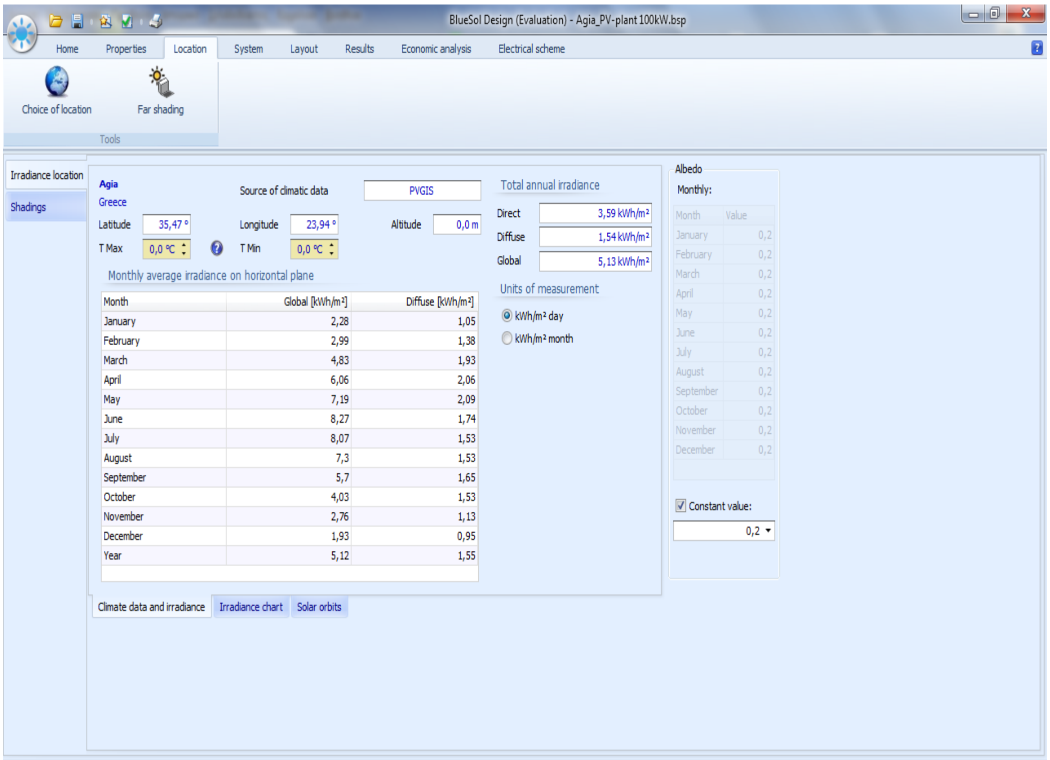


Εικόνα 4.29 Επιλογή τρόπου σχεδιασμού φωτοβολταϊκού συστήματος στο BlueSol.

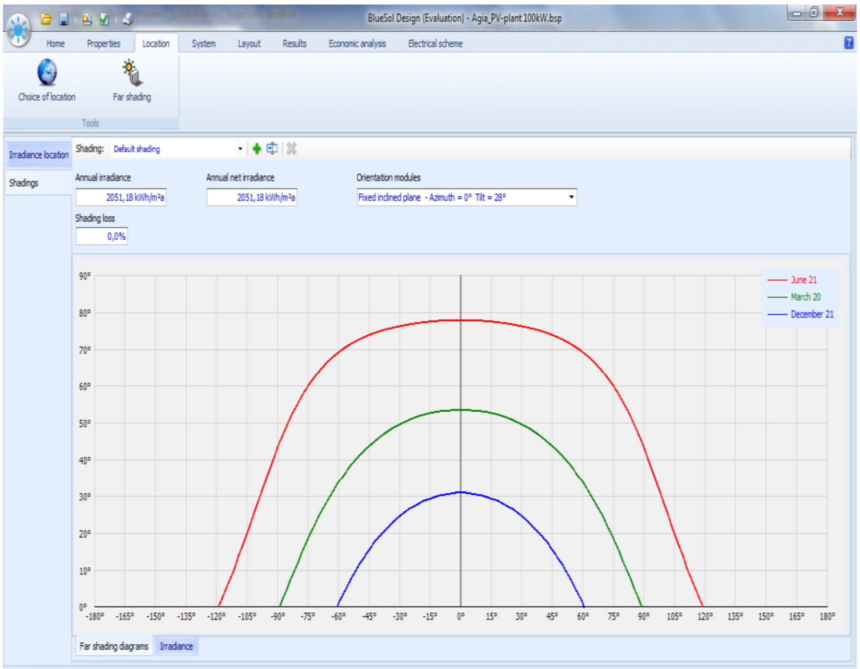
Εδώ, καλούμαστε να επιλέξουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε τον βοηθό (wizard) διαστασιολόγησης που διαθέτει το λογισμικό, αν θα βασιστούμε σε κάποιο από τα προδιαμορφωμένα συστήματα που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του λογισμικού ή αν θα πραγματοποιήσουμε το σχεδιασμό του συστήματός μας χειροκίνητα.

Επιλέγοντας χειροκίνητο σχεδιασμό, αρχικά ζητούνται κάποιες βασικές πληροφορίες σχετικά με το έργο (όνομα έργου, στοιχεία σχεδιαστή, στοιχεία πελάτη, διεύθυνση συστήματος), ενώ μπορούν να γίνουν κάποιες επιπλέον ρυθμίσεις σχετικά με τις συνθήκες της προσομοίωσης (θερμοκρασία, επιμέρους απώλειες φωτοβολταϊκών πλαισίων, καλωδιακές απώλειες, επιλογή νομίσματος για οικονομική ανάλυση κλπ.). Έτσι, ορίσαμε τις καλωδιακές απώλειες στο 1%, ενώ για τα υπόλοιπα, αφήσαμε τις ήδη καταχωρημένες τιμές του προγράμματος.

Στη συνέχεια, εισάγουμε δεδομένα σχετικά με τη θέση εγκατάστασης (προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και σκίαση). Όσον αφορά στα μετεωρολογικά δεδομένα, εφόσον το πρόγραμμα το επιτρέπει, εισάγονται χειροκίνητα από το PV-GIS, ενώ για τη σκίαση αφήνουμε τις τιμές που έχουν καταχωρηθεί εκ των προτέρων.



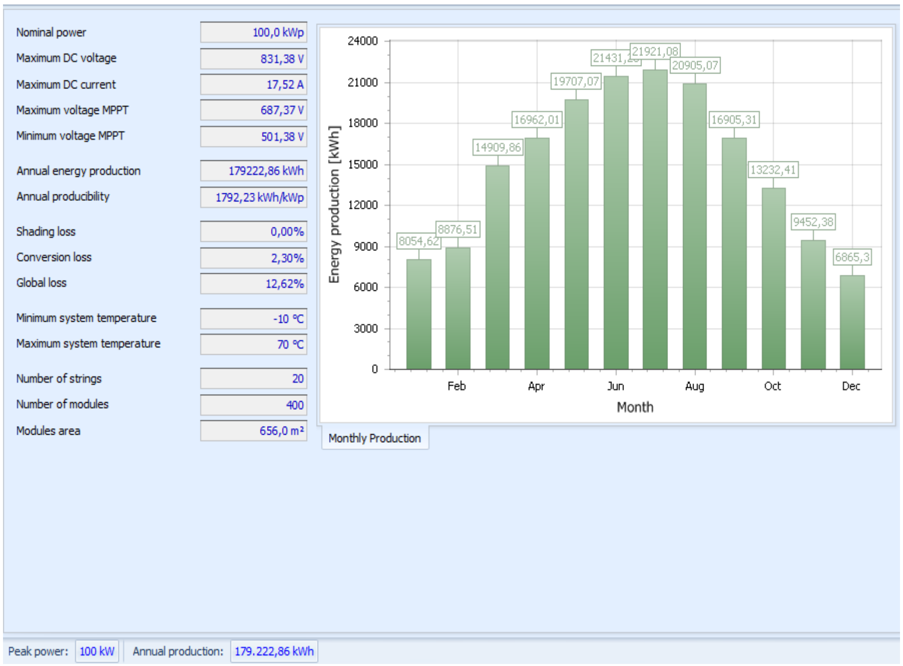
Εικόνα 4.30 Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων Αγιάς από το PV-GIS.



Εικόνα 4.31 Γραφική απεικόνιση σκίασης στη διάρκεια ενός έτους στο BlueSol.

Ακολουθεί αναλυτικός σχεδιασμός του συστήματος, που περιλαμβάνει το ηλεκτρικό δίκτυο, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τους μετατροπείς και πλήθος ηλεκτρικών εξαρτημάτων. Μέσα από τις βάσεις δεδομένων του λογισμικού, επιλέξαμε τα μοντέλα για τα πλαίσια και τους μετατροπείς και καθορίσαμε τον τρόπο σύνδεσης μεταξύ τους.

Μετά το τέλος του σχεδιασμού, πραγματοποιείται η προσομοίωση και εξάγονται τα αποτελέσματα σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή του συστήματος, καθώς και το μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης.



Εικόνα 4.32 Αποτελέσματα ενεργειακής παραγωγής φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς στο BlueSol..

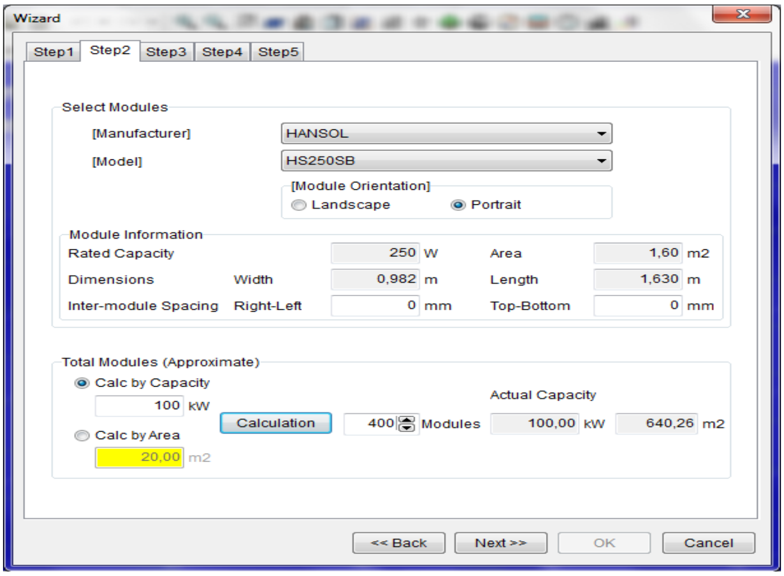
4.4.10 Προσομοίωση με το λογισμικό Solar Pro

Η διαδικασία προσομοίωσης του φωτοβολταϊκού μας συστήματος με το λογισμικό Solar Pro, ξεκινάει ανοίγοντας ένα νέο αρχείο, οπότε ανοίγει αυτόματα και ο βοηθός (wizard) που διαθέτει το λογισμικό, προκειμένου να διευκολύνει το χρήστη στο σχεδιασμό.

Η διαδικασία του σχεδιασμού διακρίνεται σε πέντε επιμέρους βήματα.

Στο πρώτο βήμα, εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα της θέσης εγκατάστασης. Το λογισμικό, έχει τη δυνατότητα να εισάγει δεδομένα από διάφορες πηγές, ενώ, παρέχει στο χρήστη την επιπλέον δυνατότητα να εισάγει τα δικά του δεδομένα, όπως έχουν προκύψει από μετρήσεις. Στη δοκιμαστική έκδοση που χρησιμοποιούμε, εφόσον δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή της Αγίας, χρησιμοποιούμε αυτά, της πλησιέστερης περιοχής του Ελλαδικού χώρου που υπάρχει στη βάση δεδομένων του λογισμικού, που είναι η Αθήνα.

Στο επόμενο βήμα, πραγματοποιείται ο καθορισμός της εγκατεστημένης ισχύος και η επιλογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα τοποθετηθούν. Το πρόγραμμα διαθέτει βάση δεδομένων φωτοβολταϊκών πλαισίων, όμως δεν περιλαμβάνει πλαίσια της εταιρίας aleo solar AG. Επομένως, επιλέξαμε ένα παρεμφερές πλαίσιο, με ισχύ 250 kWp από τη βάση δεδομένων (το μοντέλο HS250SB της εταιρίας HANSOL). Έχοντας επιλέξει το μοντέλο του πλαισίου και την τιμή της εγκατεστημένης ισχύος, το λογισμικό υπολογίζει αυτόματα τον αριθμό των πλαισίων που θα χρειαστεί να τοποθετηθούν στο σύστημα.



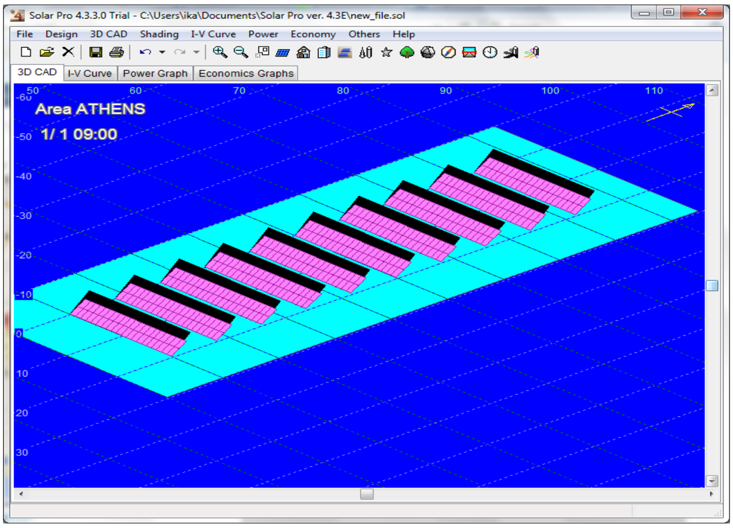
Εικόνα 4.33 Επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων στο Solar Pro.

Στο τρίτο βήμα της διαδικασίας, επιλέγεται το σχήμα της οροφής στην οποία είναι εγκατεστημένο το σύστημα ή αν αυτό είναι τοποθετημένο στο έδαφος, όπως συμβαίνει στην περίπτωσή μας.

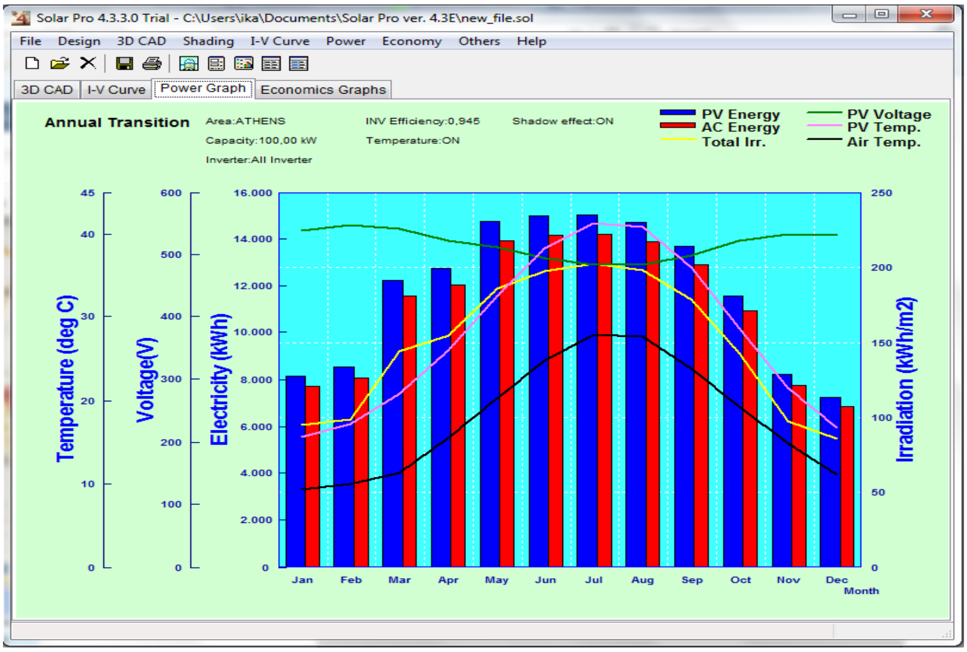
Κατόπιν, ζητούνται στοιχεία σχετικά με τη χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στο σημείο εγκατάστασης. Έτσι, πραγματοποιείται (αν είναι απαραίτητο) ο διαχωρισμός του συστήματος σε επιμέρους συστοιχίες, καθορίζονται οι αποστάσεις μεταξύ τους, καθώς και η διαμόρφωση της κάθε μιας από αυτές (αριθμός πλαισίων οριζόντια και κατακόρυφα).

Τέλος, επιλέγουμε την κλίση και το αζιμούθιο των φωτοβολταϊκών πλαισίων, καθώς και το πλήθος των μετατροπέων που θα εγκατασταθούν. Εφόσον η προσομοίωση πραγματοποιείται για την περιοχή της Αθήνας, επιλέγουμε την βέλτιστη κλίση στο σημείο αυτό, η οποία προκύπτει από το PV-GIS ίση με 32^{o}.

Μετά το πέρας του σχεδιασμού, το λογισμικό εξάγει αυτόματα τρισδιάστατο σχέδιο του συστήματος, βάσει των προδιαγραφών που ορίστηκαν προηγουμένως και εκτελώντας την προσομοίωση, λαμβάνονται τα γραφικά αποτελέσματα της ενεργειακής παραγωγής.



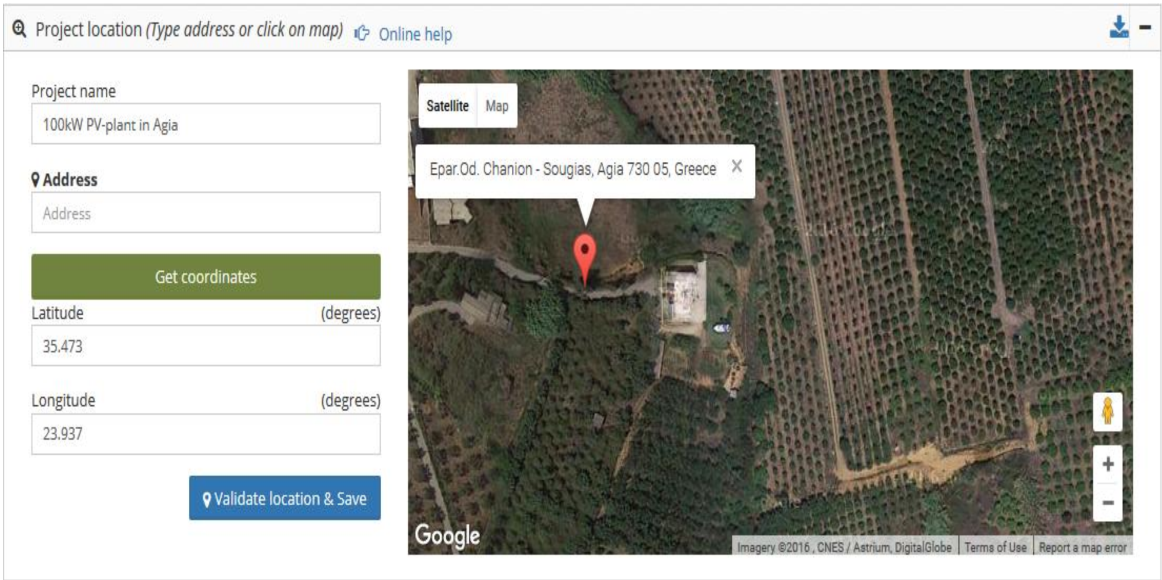
Εικόνα 4.34 Τρισδιάστατη απεικόνιση φωτοβολταϊκού συστήματος στο Solar Pro.



Εικόνα 4.35 Αποτελέσματα ενεργειακής παραγωγής φωτοβολταϊκού πάρκου Αθήνας στο Solar Pro.

4.4.11 Προσομοίωση με το λογισμικό Archelios PRO

Η προσομοίωση του φωτοβολταϊκού σταθμού στην περιοχή της Αγιάς με το λογισμικό Archelios PRO, ξεκινάει δίνοντας κάποια βασικά στοιχεία, όπως, το όνομα και τη διεύθυνση της εταιρίας που συνθέτει τη μελέτη και μια συνοπτική περιγραφή του έργου που σχεδιάζεται.



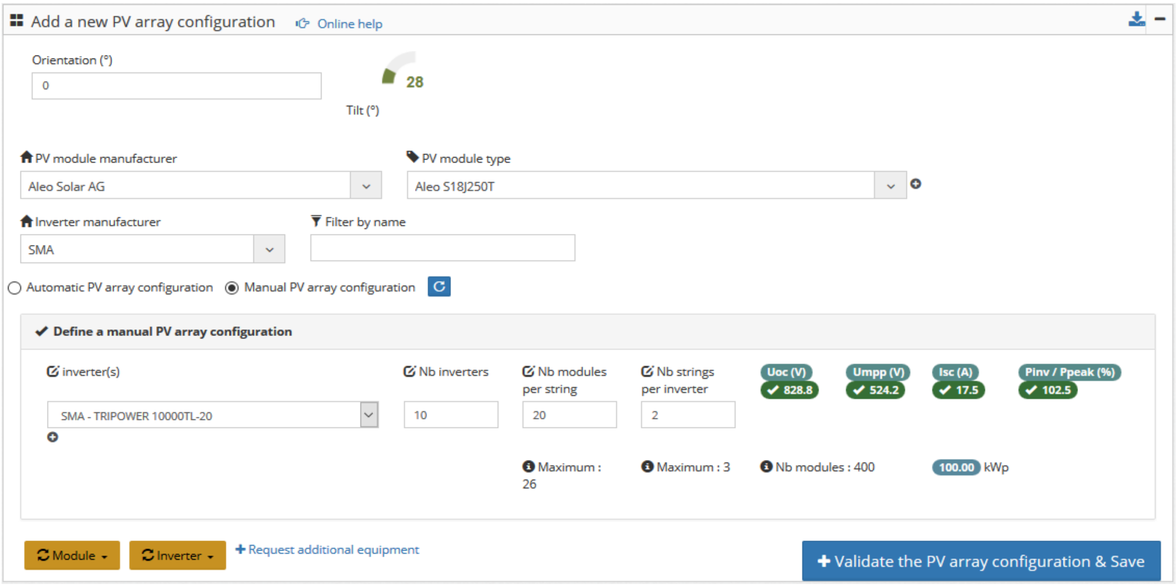
Εικόνα 4.36 Προσδιορισμός θέσης εγκατάστασης στο Archelios PRO.

Στη συνέχεια, εισάγοντας της γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου εγκατάστασης σε μορφή δεκαδικών μοιρών, μέσω της εφαρμογής Google Map που διαθέτει το λογισμικό, μεταφερόμαστε απευθείας στο επιθυμητό σημείο.

Το πρόγραμμα διαθέτει βάση μετεωρολογικών δεδομένων με πολλές τοποθεσίες και προτείνει αυτόματα την πλησιέστερη στην περιοχή εγκατάστασης, προκειμένου τα μετεωρολογικά δεδομένα να είναι παραπλήσια και, κατά συνέπεια, οι υπολογισμοί όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικοί.

Κατόπιν, υλοποιείται η διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Από μια πλήρως ενημερωμένη βάση δεδομένων, επιλέγουμε το μοντέλο του φωτοβολταϊκού πλαισίου που επιθυμούμε και καθορίζουμε την κλίση και τον προσανατολισμό.

Σε αυτό το στάδιο, πραγματοποιείται αυτόματα ή χειροκίνητα και η διαμόρφωση του μετατροπέα, επιλέγοντας το μοντέλο του από τη βάση δεδομένων του προγράμματος και ορίζοντας το πλήθος των μετατροπέων προκειμένου να καλυφθεί η επιθυμητή τιμή ισχύος.



Εικόνα 4.37 Διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος της Αγιάς στο Archelios PRO.

Τέλος, εφόσον το λογισμικό πραγματοποιήσει έλεγχο της ορθότητας του σχεδιασμού, τρέχουμε την προσομοίωση και λαμβάνουμε τα αποτελέσματα της ενεργειακής παραγωγής του συστήματος.

Στο σημείο αυτό, παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω προσομοιώσεις, σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή, για το φωτοβολταϊκό πάρκο 100 kW_p στην περιοχής της Αγιάς:

Λογισμικό	Παραγωγή (MWh/έτος)
PVGIS	155
PV WATTS	146,735
RETScreen	187,675
Sunny Design (SMA)	148,54
PVSOL	168,49
PVsyst	165,94
HelioScope	154,4
Polysun	206,336
BlueSol	179,773
Solar Pro(Αθήνα)	133,7
Archelios PRO	152,8

Πίνακας 4.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα λογισμικών για τον φωτοβολταϊκό σταθμό της Αγιάς.

4.5 Προσομοίωση εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών σταθμών με το λογισμικό PV*SOL-Αποτελέσματα

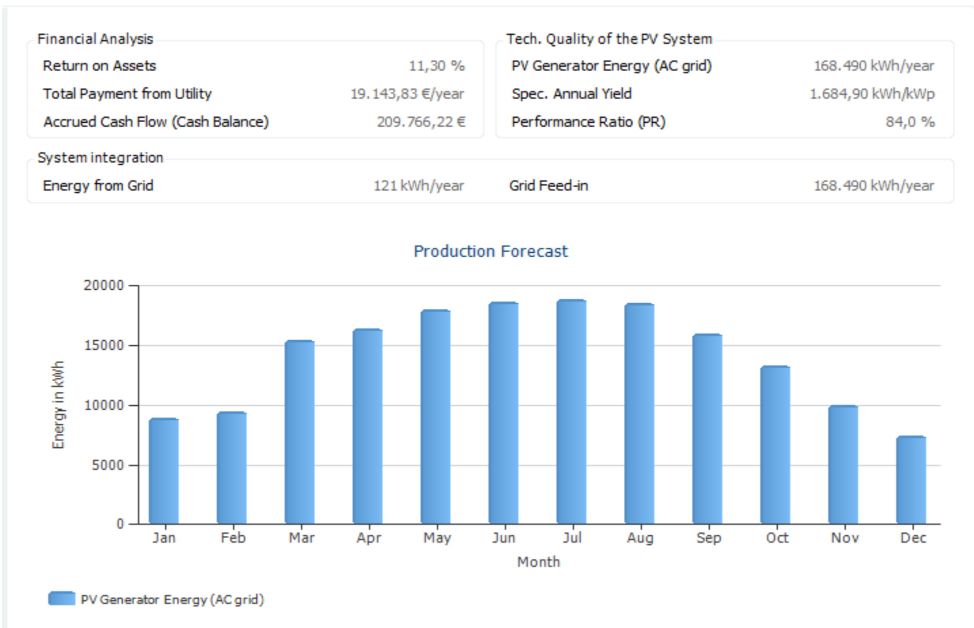
Η διαδικασία προσομοίωσης του φωτοβολταϊκού σταθμού της Αγιάς με το λογισμικό PV*SOL, όπως παρουσιάστηκε στο προηγουμένως (Παράγραφος 4.4.5), πραγματοποιήθηκε για όλους τους εγκατεστημένους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, στους τέσσερις νομούς της περιφέρειας Κρήτης.

4.5.1 Προσομοίωση και αποτελέσματα φωτοβολταϊκών σταθμών σταθερής κλίσης

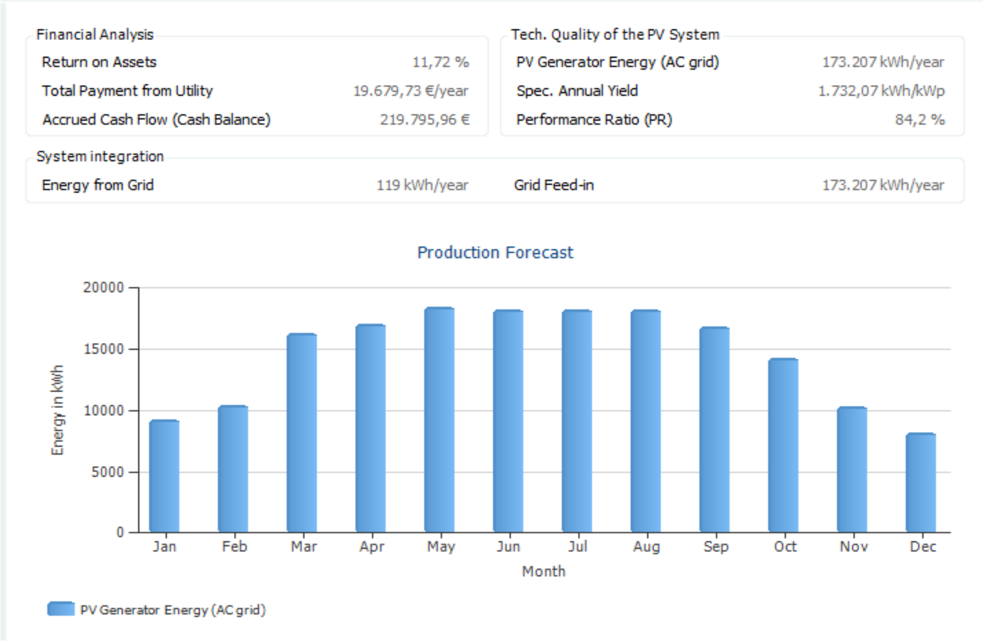
Στον Πίνακα 4.3, καθώς και στις εικόνες 4.38-4.41, που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, σχετικά με την ετήσια παραγωγή ενέργειας των τεσσάρων φωτοβολταϊκών σταθμών σταθερής κλίσης (28^o), όπως αυτά προέκυψαν από το PV*SOL.

Θέση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού 100kW$_p$	Ετήσια παρεχόμενη ενέργεια στο δίκτυο (MWh/έτος)
1.Αγιά	168,490
2.Ρέθυμνο	173,207
3.Ηράκλειο	169,474
4.Λασίθι	170,466

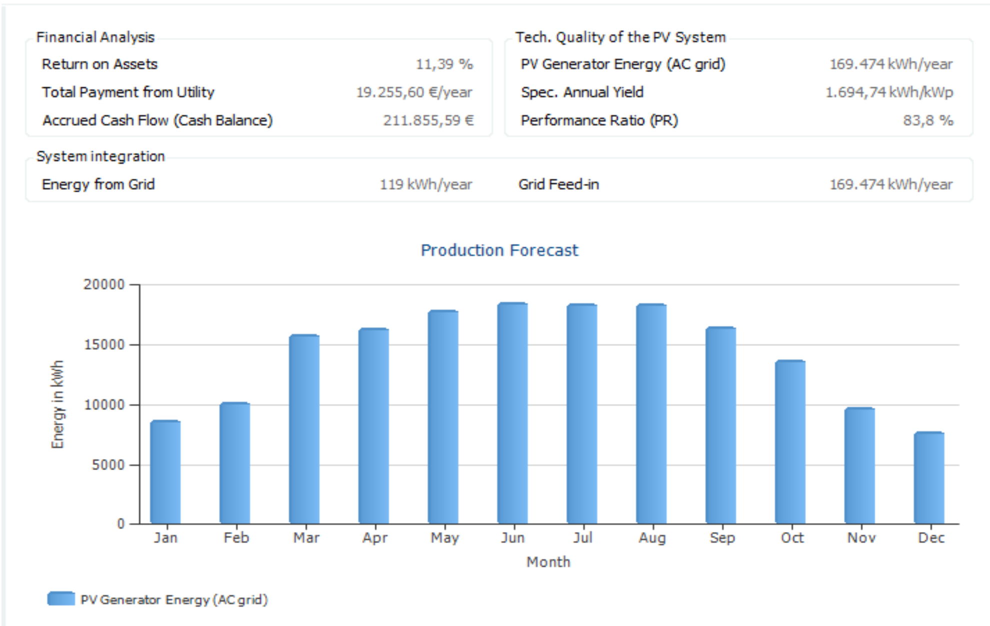
Πίνακας 4.3 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών σταθμών σταθερής κλίσης.



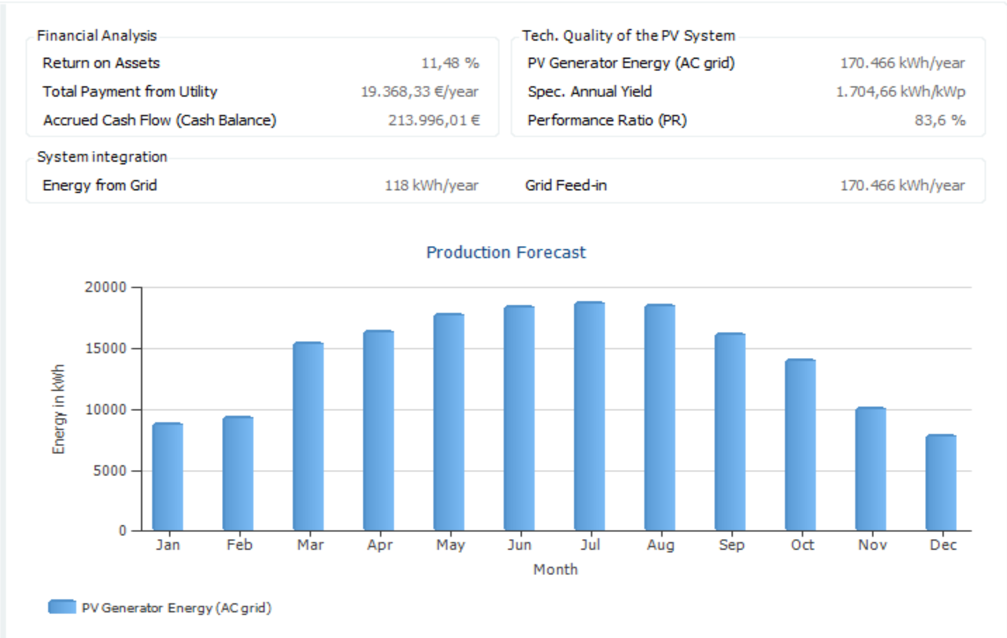
Εικόνα 4.38 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς στο PV*SOL.



Εικόνα 4.39 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ρεθύμνου στο PV*SOL.



Εικόνα 4.40 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ηρακλείου στο PV*SOL.



Εικόνα 4.41 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Λασιθίου στο PV*SOL.

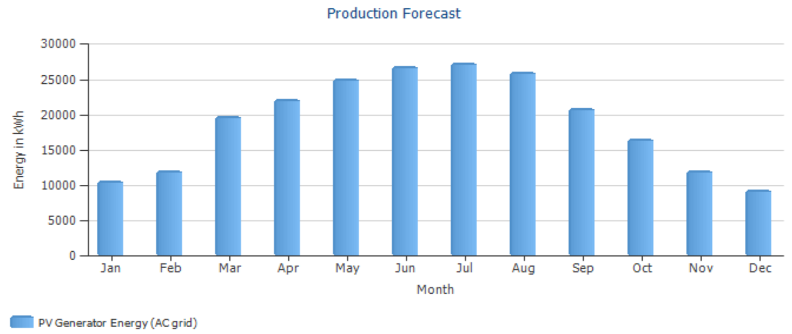
4.5.2 Προσομοίωση και αποτελέσματα φωτοβολταϊκου σταθμού με tracker

Στον Πίνακα 4.4 και στις εικόνες 4.42-4.45, που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, σχετικά με την ετήσια παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού σταθμού που εγκαταστάθηκε στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους τέσσερις φωτοβολταϊκούς σταθμούς (στους οποίους η γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι σταθερή), στο φωτοβολταϊκό πάρκο του Ακρωτηρίου έχουν τοποθετηθεί συστήματα συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου (trackers) και εξετάζεται η ενεργειακή απολαβή για τους διάφορους τύπους tracker που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2 (Παράγραφος 2.1.8).

Τύπος tracker	Ετήσια παρεχόμενη ενέργεια στο δίκτυο (MWh/έτος)
1. Στροφή γύρω από κατακόρυφο άξονα	225,1
2.Στροφή γύρω από οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση Ανατολή-Δύση (E-W)	190,644
3.Στροφή γύρω από οριζόντιο άξονα στη διεύθυνση Βορρά- Νότου (N-S)	240,052
4.Στροφή γύρω από δύο άξονες	247,235

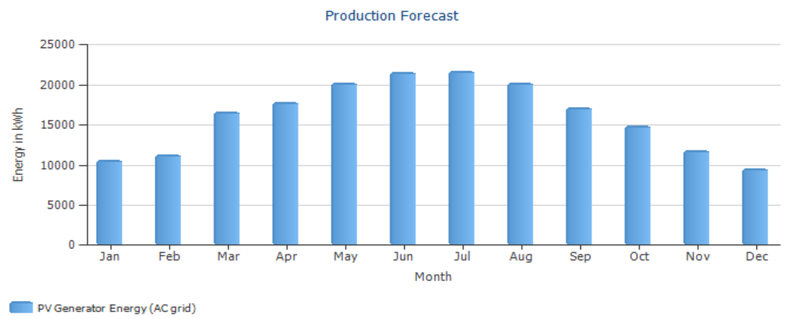
Πίνακας 4.4 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ακρωτηρίου για τους διάφορους τύπους tracker.

Financial Analysis		Tech. Quality of the PV System	
Return on Assets	15,99 %	PV Generator Energy (AC grid)	225.100 kWh/year
Total Payment from Utility	25.575,84 €/year	Spec. Annual Yield	2.251,00 kWh/kWp
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	324.456,89 €	Performance Ratio (PR)	85,9 %
System integration			
Energy from Grid	118 kWh/year	Grid Feed-in	225.100 kWh/year



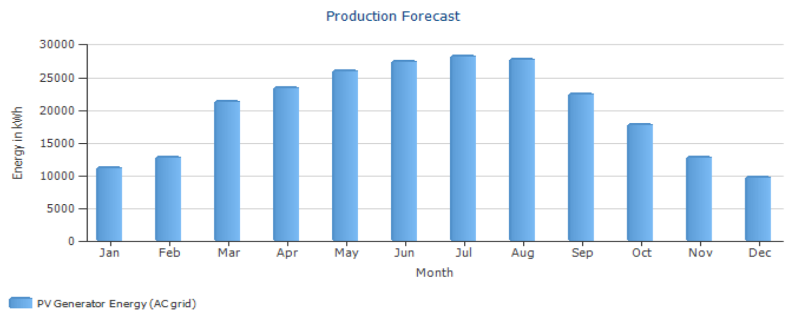
Εικόνα 4.42 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ακρωτηρίου με tracker τύπου 1 στο PV*SOL.

Financial Analysis		Tech. Quality of the PV System	
Return on Assets	13,11 %	PV Generator Energy (AC grid)	190.644 kWh/year
Total Payment from Utility	21.660,99 €/year	Spec. Annual Yield	1.906,44 kWh/kWp
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	251.758,81 €	Performance Ratio (PR)	84,9 %
System integration			
Energy from Grid	126 kWh/year	Grid Feed-in	190.644 kWh/year

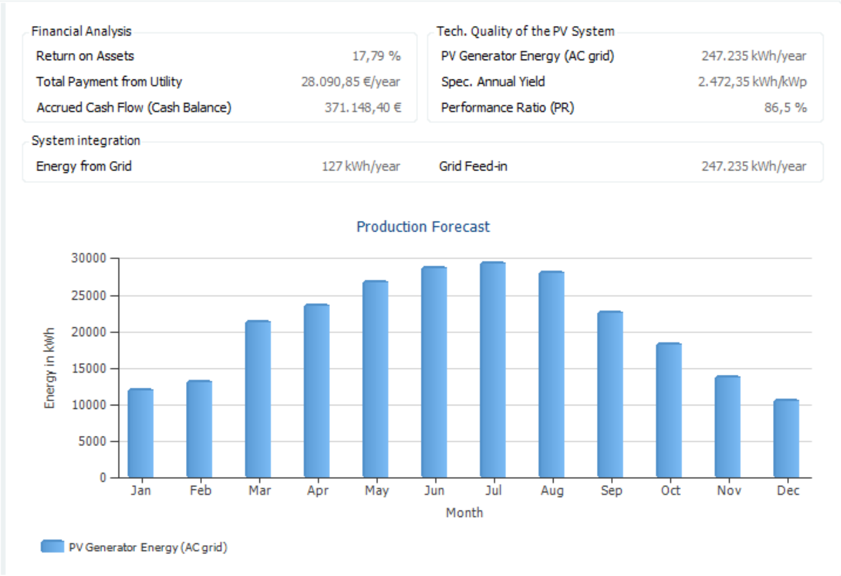


Εικόνα 4.43 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ακρωτηρίου με tracker τύπου 2 στο PV*SOL.

Financial Analysis		Tech. Quality of the PV System	
Return on Assets	17,21 %	PV Generator Energy (AC grid)	240.052 kWh/year
Total Payment from Utility	27.274,76 €/year	Spec. Annual Yield	2.400,52 kWh/kWp
Accrued Cash Flow (Cash Balance)	355.954,60 €	Performance Ratio (PR)	86,4 %
System integration			
Energy from Grid	125 kWh/year	Grid Feed-in	240.052 kWh/year



Εικόνα 4.44 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ακρωτηρίου με tracker τύπου 3 στο PV*SOL.



Εικόνα 4.45 Ετήσια παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού σταθμού Ακρωτηρίου με tracker τύπου 4 στο PV*SOL.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο–ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Είναι γνωστό, πως προκειμένου ένα ενεργειακό επενδυτικό σχέδιο να προσελκύσει το ενδιαφέρον των επενδυτών, θα πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμο. Η διαδικασία επιλογής ενός σχεδίου επένδυσης περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα στάδια:

1. Προσδιορισμός των εφικτών εναλλακτικών παραλλαγών του σχεδίου επένδυσης. Πρόκειται τεχνικά ασυμβίβαστα σχέδια επενδύσεων, με την έννοια ότι η πραγματοποίηση του ενός αποκλείει την πραγματοποίηση των άλλων.
2. Εκτίμηση της ροής των εσόδων και των δαπανών που συνοδεύουν το έργο.
3. Αξιολόγηση των εναλλακτικών σχεδίων και επιλογή εκείνου που θα κατασκευασθεί.
4. Παρακολούθηση και καταγραφή των αποκλίσεων ως προς τις προβλέψεις, μετά την πραγματοποίησή του σχεδίου.

Από όλα τα στάδια που αναφέρθηκαν, το πρώτο είναι ίσως το πιο σημαντικό, γιατί περιλαμβάνει την καταγραφή των εναλλακτικών σχεδίων και γενικότερα τις νέες ιδέες και τα σχέδια για καρποφόρες επενδύσεις σε όλους τους τομείς.

Στο παρόν κεφάλαιο, θα γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης της οικονομικής βιωσιμότητας των φωτοβολταϊκών σταθμών που εγκαταστάθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης. Για το σκοπό αυτό, αρχικά, περιγράφονται συνοπτικά τα βασικά οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης μιας επένδυσης και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το λογισμικό RETScreen, τα χαρακτηριστικά του οποίου αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3 (Παράγραφος 3.2.2.2), πραγματοποιείται οικονομική μελέτη ενός από τους εγκατεστημένους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητά του.

5.2 Αξία του χρήματος

Η Παρούσα Αξία (Present Value) ενός ποσού μετά από n χρόνια, δίνεται από τον τύπο:

$$\mathrm{PV} = \frac{\mathrm{X}}{(1+\mathrm{i})^{\mathrm{n}}} \qquad (5.1)$$

όπου, i: ο πληθωρισμός.

Η Παρούσα Αξία ποσών X_j, συντελούμενων στο τέλος κάθε χρόνου για n χρόνια είναι:

$$PV = \sum_{j=1}^{n} \frac{X_j}{(1+i)^j} \tag{5.2}$$

Αν τα ποσά είναι ίδια, A, τότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$PV = A \cdot \frac{1-(1+i)^{-n}}{i} \tag{5.3}$$

Η Μελλοντική Αξία, F, μετά από n χρόνια, ίδιων ποσών A, συντελούμενων στο τέλος κάθε χρόνου, δίνεται από τον τύπο:

$$F = A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i} \tag{5.4}$$

Τέλος, η Ισοδύναμη Ετήσια Αξία (Equivalent Annual Value), ποσού X, για n χρόνια δίνεται από τον τύπο:

$$EAV = X \cdot \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \tag{5.5}$$

5.3 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια συνοπτική θεωρητική περιγραφή των βασικών χρηματοοικονομικών δεικτών, που αποτελούν κριτήρια αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων.

5.3.1 Καθαρή Παρούσα Αξία-ΚΠΑ (Net Present Value-NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης, στην χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας, ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$NPV = -K + \sum_{t=1}^{N} \frac{F_t}{(1+d)^t} + \frac{SV_N}{(1+d)^N} \tag{5.6}$$

όπου:
K: η αρχική επένδυση
F_t: το ετήσιο καθαρό όφελος
N: ο οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης
d: το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία (επιθυμητή απόδοση κεφαλαίου)
SV_N: η υπολειμματική αξία της επένδυσης, στο τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής της.

Διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις περιπτώσεις:

- NPV>0: Η επένδυση είναι βιώσιμη.
- NPV<0: Η επένδυση δεν είναι βιώσιμη.

- NPV=0: Η επένδυση είναι βιώσιμη με ετήσιο ρυθμό απόδοσης ίσο με d (οριακή κατάσταση).

Κατά την αξιολόγηση αμοιβαία αποκλειόμενων επενδυτικών σχεδίων, επιλέγεται εκείνο με το μεγαλύτερο NPV.

Πρέπει να τονιστεί, ότι η εφαρμογή του κριτηρίου προϋποθέτει την ίδια διάρκεια ζωής των επενδύσεων. Στην περίπτωση που έχουμε διαφορετική διάρκεια ζωής, διαμορφώνονται νέα επενδυτικά σχέδια, με διάρκεια ζωής, είτε θεωρητικά άπειρη, είτε ίση με το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο της διάρκειας των επενδύσεων. Η καθεμία από τις επενδύσεις θα περιλαμβάνει μια σειρά επαναλαμβανόμενων επενδύσεων, σε τακτό χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια ζωής κάθε αρχικής επένδυσης αντίστοιχα. Τελικά, το κριτήριο εφαρμόζεται στις νέες επενδύσεις, οι οποίες τώρα έχουν την ίδια διάρκεια ζωής.

5.3.2 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης-ΕΒΑ (Internal Rate of Return-IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης, ορίζεται ως το επιτόκιο αναγωγής που μηδενίζει το NPV και προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mathrm{NPV}_{(\mathrm{d}=\mathrm{IRR})} = 0 \qquad (5.7)$$

$$-\mathrm{K} + \sum_{t=1}^{N} \frac{F_t}{(1+\mathrm{IRR})^t} + \frac{SV_N}{(1+\mathrm{IRR})^N} = 0 \qquad (5.8)$$

Ο επενδυτής θέτει ένα ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο για την τιμή του IRR, κάτω από το οποίο απορρίπτεται η επένδυση. Το επιτόκιο αυτό, είναι το κόστος ευκαιρίας της επένδυσης, δηλαδή το επιτόκιο αναγωγής d. Τελικά εάν το IRR προκύψει μεγαλύτερο από το επιτόκιο αναγωγής, η επένδυση είναι αποδεκτή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση, η επένδυση απορρίπτεται.

Μεταξύ δύο εναλλακτικών επενδύσεων , επιλέγεται αυτή με το μεγαλύτερο IRR.

5.3.3 Λόγος Οφέλους/Κόστους (Benefit/Cost Ratio-BCR)

Το BCR ορίζεται, ως το πηλίκο του συνολικού οφέλους προς το συνολικό κόστος μιας επένδυσης, κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, με όλα τα ποσά ανηγμένα σε παρούσα αξία:

$$\mathrm{BCR} = \frac{\sum_{t=1}^{N} \frac{B_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=0}^{N} \frac{C_t}{(1+d)^t}} \qquad (5.9)$$

όπου:

B_t: το όφελος κατά το έτος t
C_t: το κόστος κατά το έτος t (η τιμή C_o αντιστοιχεί στην αρχική επένδυση).

Μια επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη, όταν ο λόγος οφέλους-κόστους είναι μεγαλύτερος ή ίσος της μονάδας. Σε αντίθετη περίπτωση, η επένδυση δεν είναι βιώσιμη.

5.3.4 Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής-ΕΠΑ (Discounted Pay Back Period-DPB)

Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής, είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης, καθώς και των τόκων που θα μπορούσαν να ληφθούν από μια εναλλακτική τοποθέτηση του αρχικού κεφαλαίου. Προσδιορίζεται ως λύση της εξίσωσης:

$$\mathrm{NPV}_{(\mathrm{N=DPB})} = 0 \qquad (5.10)$$

όπου:
η ένδειξη N=DPB, υπονοεί ότι η εξίσωση λύνεται ως προς N.

Εάν η υπολειμματική αξία της επένδυσης είναι ίση με το μηδέν, και επιπλέον, θεωρηθεί ότι το λειτουργικό ετήσιο όφελος παραμένει σταθερό σε σταθερές τιμές, τότε η λύση της εξίσωσης της παραπάνω σχέσης παίρνει την αναλυτική μορφή:

$$\mathrm{DPB} = \frac{-\ln\left(1-\frac{\mathrm{d}\cdot \mathrm{K}}{\mathrm{F}}\right)}{\ln(1+\mathrm{d})} \qquad (5.11)$$

Μια επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη, όταν η τιμή του DPB ικανοποιεί τις προσδοκίες του επενδυτή ως προς τον χρόνο αποπληρωμής.

5.4 Μέθοδοι εξόφλησης δανείων

Οι διάφοροι οικονομικοί οργανισμοί για την κάλυψη των συνολικών αναγκών τους σε κεφάλαια, πραγματοποιούν δάνεια, εφόσον τα έσοδά τους δεν αρκούν. Τα δάνεια χωρίζονται ανάλογα με τη διάρκειά τους, σε βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Τα βραχυπρόθεσμα ιδιωτικά δάνεια γίνονται κυρίως με γραμμάτια και συναλλαγματικές, ενώ τα κρατικά βραχυπρόθεσμα, με έντοκα γραμμάτια. Ένα μακροπρόθεσμο δάνειο, είναι μια σύμβαση μεταξύ δανειστή και δανειζομένου. Όταν υπάρχει ένας δανειστής και ένας οφειλέτης το δάνειο ονομάζεται ενιαίο, ενώ όταν οι δανειστές είναι πολλοί και ένας ο οφειλέτης ονομάζεται ομολογιακό δάνειο.

Υπάρχουν πάρα πολλοί τρόποι εξόφλησης δανείων. Παρακάτω εξετάζονται τέσσερις από τους πιο συνηθισμένους. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών, είναι ότι προβλέπουν είτε εφάπαξ εξόφληση του δανείου σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, είτε βαθμιαία εξόφληση εντός ορισμένου χρόνου. Τα ποσά της βαθμιαίας εξόφλησης λέγονται χρεολύσια. Τα χρεολύσια μαζί με τους εκάστοτε πληρωτέους τόκους σχηματίζουν τα τοκοχρεολύσια, τα οποία αποτελούν τις δόσεις εξόφλησης του δανείου.

5.4.1 Εφάπαξ εξόφληση δανείου με απλό τόκο

Στο τέλος κάθε χρόνου καταβάλλεται ο τόκος και με τη λήξη της περιόδου του δανείου εξοφλείται το δάνειο. Δίνονται οι παρακάτω διευκρινίσεις:

- Οι οφειλόμενοι τόκοι υπολογίζονται κάθε φορά από τον τόκο του ανεξόφλητου δανείου στο τέλος του προηγούμενου έτους, από το υπόλοιπο της οφειλής τόκων του προηγούμενου έτους και από τον τόκο τους.
- Ως πληρωμή τόκων ορίζεται, κάθε φορά, οι τόκοι που πληρώνονται στον δανειστή.
- Ως χρεολύσιο, ορίζεται το ποσό που πληρώνεται στον δανειστή για την εξόφληση του δανείου.
- Το ανεξόφλητο δάνειο υπολογίζεται κάθε φορά μετά την αφαίρεση των μέχρι τότε χρεολυσίων από το συνολικό δάνειο.
- Ως τοκοχρεολύσιο ορίζεται το άθροισμα του χρεολυσίου και των πληρωτέων τόκων.
- Η τελική αξία των εκάστοτε τοκοχρεολυσίων, στο τέλος της περιόδου δανεισμού, υπολογίζεται με ανατοκισμό προς το επιτόκιο και για την αντίστοιχη κάθε φορά χρονική περίοδο.
- Η παρούσα αξία των εκάστοτε τοκοχρεολυσίων στην αρχή του πρώτου έτους υπολογίζεται με επιτόκιο.

5.4.2 Εφάπαξ εξόφληση δανείου με ανατοκισμό

Στο τέλος κάθε χρόνου, δεν καταβάλλεται κανένα ποσό έναντι των οφειλόμενων τόκων και με την λήξη της περιόδου του δανείου, εξοφλείται το δάνειο και οι τόκοι μαζί.

5.4.3 Βαθμιαία εξόφληση με ισόποσα χρεολύσια

Στο τέλος κάθε χρόνου, για την εξόφληση του δανείου, θα καταβάλλεται ένα ποσό (χρεολύσιο), που είναι ίσο με το μέρος του δανείου που θα αντιστοιχούσε σε κάθε χρόνο χωρίς το επιτόκιο, καθώς επίσης ο τόκος, ο οποίος υπολογίζεται επί του ποσού που είχε στα χέρια του ο δανειζόμενος στην αρχή κάθε χρόνου.

5.4.4 Βαθμιαία εξόφληση με ίσα τοκοχρεολύσια

Στο τέλος κάθε χρόνου καταβάλλονται ισόποσα τοκοχρεολύσια. Ο τόκος από χρόνο σε χρόνο μειώνεται, ενώ το χρεολύσιο αυξάνει.

5.5 Οικονομική μελέτη φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς με το λογισμικό RETScreen

5.5.1 Παραδοχές

Στην Παράγραφο 4.4.3, του προηγούμενου κεφαλαίου, παρουσιάστηκε η προσομοίωση του φωτοβολταϊκού σταθμού στην περιοχή της Αγιάς, καθώς και τα αποτελέσματα που δίνει το λογισμικό RETScreen, σχετικά με την ενεργειακή παραγωγή του εν λόγω πάρκου. Για την πραγματοποίηση της οικονομικής μελέτης, λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθες οικονομικές θεωρήσεις:

- Συνολικό, αρχικό κόστος φωτοβολταϊκού πάρκου: 1200 €/kW_p.
- Ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης (Λ&Σ): 3000 €/έτος.
- Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου, ο οποίος αντιπροσωπεύει το ποσοστό με το οποίο αυξάνονται σε ετήσια βάση οι τιμές των καυσίμων: 2%.
- Τιμή πληθωρισμού, η οποία αντιπροσωπεύει τη συνεχή αύξηση του γενικού επιπέδου των τιμών μιας οικονομίας, μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο: 1%.
- Ετήσιο επιτόκιο αναγωγής, το οποίο χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η Παρούσα Αξία μιας σειράς μελλοντικών εισροών ή εκροών και εκφράζει, είτε το κόστος κεφαλαίου της επιχείρησης, είτε το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο για τον αποφασίζοντα, προκειμένου να καλυφθεί ο κίνδυνος της εξεταζόμενης επένδυσης έναντι μιας πιο ασφαλούς τοποθέτησης: 6%.
- Διάρκεια ζωής φωτοβολταϊκού πάρκου: 27 έτη.
- Όσον αφορά στη χρηματοδότηση του έργου, θεωρήσαμε ότι το 70% του συνολικού, αρχικού κόστους καλύπτεται από δάνειο, ενώ το υπόλοιπο 30% αποτελεί ίδια κεφάλαια.
- Επιτόκιο δανεισμού: 7%.
- Περίοδος χρέους, που αντιπροσωπεύει το χρόνο αποπληρωμής του δανείου: 10 έτη.
- Αποζημίωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πάρκου: 90 €/MWh.

5.5.2 Αποτελέσματα του λογισμικού RETScreen

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, πραγματοποιείται η οικονομική ανάλυση του έργου, που θα αποδείξει αν τελικά η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη. Στο φύλλο «Οικονομική Ανάλυση», του λογισμικού, καταγράφονται οι οικονομικές παράμετροι σχετικά με το φωτοβολταϊκό σύστημα που αξιοποιείται και τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν.

Στην εικόνα 5.1, φαίνονται συμπληρωμένες οι οικονομικές παράμετροι που παρουσιάστηκαν παραπάνω (Παράγραφος 5.5.1). Το συνολικό, αρχικό κόστος της επένδυσης ανέρχεται στα 120.000 €, εκ των οποίων τα 84.000 € προέρχονται από δάνειο, ενώ τα υπόλοιπα 36.000 € αποτελούν ίδια κεφάλαια. Το δάνειο εξοφλείται βαθμιαία με ίσα τοκοχρεολύσια, ενώ μια ανάλυση του δανείου υπάρχει στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ της παρούσας εργασίας.

Οικονομικοί Παράμετροι		
Γενικά		
Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου	%	2,0%
Τιμή πληθωρισμού	%	1,0%
Επιτόκιο αναγωγής	%	6,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος	27
Χρηματοδότηση		
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€	
Τοκοχρεολύσιο	%	70,0%
Χρέος	€	84.000
Μετοχή	€	36.000
Επιτόκιο δανεισμού	%	7,00%
Περίοδος χρέους	έτος	10
Πληρωμές χρέους	€/ετος	11.960
Ανάλυση φόρου εισοδήματος	☐	

Εικόνα 5.1 Οικονομικές παράμετροι RETScreen.

Στην εικόνα 5.2, παρουσιάζονται τα ετήσια έσοδα από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού σταθμού, όπως έχει προκύψει από το Ενεργειακό Μοντέλο (Παράγραφος 4.4.3) ανέρχεται στις 188 MWh. Η τιμή της πωλούμενης ενέργειας είναι 90 €/MWh, οπότε τα ετήσια έσοδα προκύπτουν 16.891 €/έτος.

Ετήσια έσοδα		
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	188
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/MWh	90,00
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	16.891
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%	0,0%
Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ		☐
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tn CO2/έτος	36
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ - 27 έτη	tn CO2	974

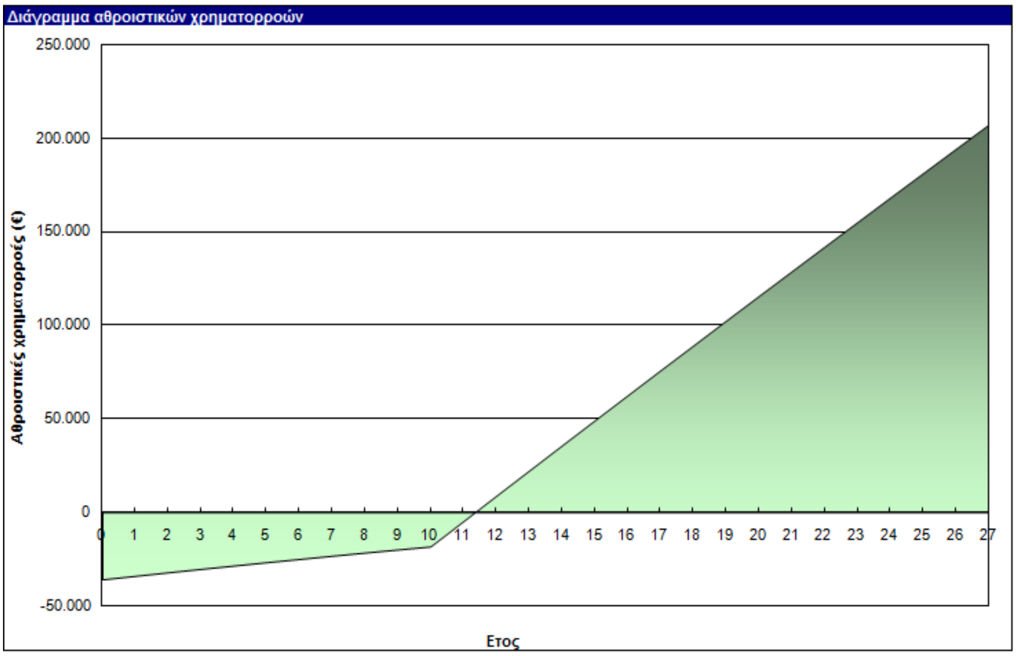
Εικόνα 5.2 Υπολογισμός εσόδων από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην εικόνα 5.3, παρουσιάζονται οι ετήσιες ταμειακές ροές του έργου. Η αρνητική τιμή, τον πρώτο χρόνο, οφείλεται στο αρχικό κόστος επένδυσης. Το διάγραμμα των ετήσιων ταμειακών ροών παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.4.

Ετήσια χρηματορροή

Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-36.000	-36.000	-36.000
1	1.901	1.901	-34.099
2	1.871	1.871	-32.228
3	1.840	1.840	-30.388
4	1.809	1.809	-28.579
5	1.778	1.778	-26.801
6	1.746	1.746	-25.055
7	1.715	1.715	-23.340
8	1.682	1.682	-21.658
9	1.650	1.650	-20.008
10	1.617	1.617	-18.391
11	13.544	13.544	-4.847
12	13.510	13.510	8.663
13	13.476	13.476	22.140
14	13.442	13.442	35.582
15	13.408	13.408	48.990
16	13.373	13.373	62.363
17	13.338	13.338	75.701
18	13.302	13.302	89.003
19	13.266	13.266	102.269
20	13.230	13.230	115.500
21	13.194	13.194	128.693
22	13.157	13.157	141.850
23	13.119	13.119	154.969
24	13.082	13.082	168.050
25	13.043	13.043	181.094
26	13.005	13.005	194.099
27	12.966	12.966	207.065

Εικόνα 5.3 Ετήσιες ταμειακές ροές έργου.



Εικόνα 5.4 Διάγραμμα ετήσιων ταμειακών ροών.

Το λογισμικό εξάγει ως αποτελέσματα τις τιμές:

- της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ),
- του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR),
- της αναλογίας Οφέλους-Κόστους και
- της απλής αποπληρωμής

τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα της οικονομικής βιωσιμότητας (πίνακας 5.1).

Μεγέθη οικονομικής Βιωσιμότητας RETScreen	Μονάδα Μέτρησης	Τιμή
ΚΠΑ	€	54.950
IRR μετά-φόρου-μετοχές	%	13
Αναλογία Οφέλους/Κόστους		2,53
Απλή αποπληρωμή	έτη	8,6

Πίνακας 5.1 Οικονομική βιωσιμότητα φωτοβολταϊκού σταθμού Αγιάς.

Με βάση την περιγραφή των χρηματοοικονομικών δεικτών που πραγματοποιήθηκε στην αρχή του κεφαλαίου και τα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης του λογισμικού RETScreen για το φωτοβολταϊκό πάρκο, εγκατεστημένης ισχύος 100 kW_p στην περιοχή της Αγίας, εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Έτσι, η θετική τιμή της ΚΠΑ και το γεγονός ότι η τιμή του συντελεστή απόδοσης είναι μεγαλύτερη του επιτοκίου αναγωγής, μας οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι η επένδυση κρίνεται επιτυχής, εκτός αν επιβληθεί περαιτέρω φορολογία η οποία θα αλλάξει τα δεδομένα. Επιπλέον, ο δείκτης αναλογίας Οφέλους/Κόστους λαμβάνει τιμή, μεγαλύτερη της μονάδας (2,53), γεγονός που επαληθεύει την απόφαση εγκατάστασης.

Παρόμοια αποτελέσματα εξάγονται και για τα υπόλοιπα φωτοβολταϊκά πάρκα που εγκαταστάθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης.

Όσον αφορά στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς με σταθερή κλίση πλαισίων, αυτό εξηγείται, καθώς όλα τα πάρκα έχουν εγκατεστημένη ισχύ 100 kW_p και πανομοιότυπα χαρακτηριστικά, επομένως, το κόστος κατασκευής τους είναι παρόμοιο, ενώ, όσον αφορά στην ενεργειακή παραγωγή των σταθμών, αυτή, κυμαίνεται σε παραπλήσιες τιμές και στους τέσσερις νομούς της Κρήτης, όπου εγκαταστάθηκαν τα φωτοβολταϊκά πάρκα.

Σχετικά με τη φωτοβολταϊκή μονάδα στην περιοχή του Ακρωτηρίου, όπου τοποθετήθηκαν trackers, θα περιμέναμε διαφορετικά οικονομικά αποτελέσματα, καθώς, ως γνωστόν, το κόστος μιας μονάδας με σύστημα συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου, είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο μιας μονάδας με σταθερή κλίση φωτοβολταϊκών πλαισίων. Όμως, όπως εύκολα μπορούμε να παρατηρήσουμε στον πίνακα 4.4, του προηγούμενου κεφαλαίου, η ενεργειακή απολαβή των συστημάτων αυτών, είναι επίσης σημαντικά αυξημένη, αντισταθμίζοντας το υψηλό κόστος κατασκευής τους και δίνοντας παρόμοια αποτελέσματα, σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^{ο}-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, υλοποιήθηκε ολοκληρωμένη μελέτη εγκατάστασης και προσομοίωση λειτουργίας συνδυασμένων φωτοβολταϊκών πάρκων στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης, για παραγωγή ενέργειας και απευθείας διανομή της, στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Αρχικός στόχος ήταν, η αξιολόγηση των λογισμικών που υπάρχουν για προσομοίωση και μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε αναλυτική συγκριτική μελέτη και περιγραφή των χαρακτηριστικών των εξειδικευμένων λογισμικών και δημιουργήθηκαν πίνακες αξιολόγησής τους, βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων που κρίθηκαν σημαντικά.

Μέσα από τη διαδικασία αυτή, επιλέχθηκαν τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια της εργασίας, προκειμένου να πραγματοποιηθεί μελέτη ενεργειακής αποδοτικότητας και οικονομικής βιωσιμότητας πέντε φωτοβολταϊκών μονάδων που εγκαταστάθηκαν στην Κρήτη και να εξαχθούν συμπεράσματα.

Σε ό, τι αφορά την παραγωγή ενέργειας, στους τέσσερις φωτοβολταϊκούς σταθμούς με σταθερή κλίση πλαισίων (Αγιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Λασίθι), η ετήσια ενεργειακή απολαβή έχει παραπλήσιες τιμές, καθώς, τα επιμέρους χαρακτηριστικά των πάρκων επιλέχθηκαν να είναι πανομοιότυπα, ενώ, παρόμοια είναι, επίσης, τα κλιματολογικά δεδομένα στους τέσσερις νομούς του νησιού. Σημαντική αύξηση στην παραγωγή ενέργειας παρατηρείται στον φωτοβολταϊκό σταθμό του Ακρωτηρίου, όπου τοποθετήθηκαν trackers, ενώ, από τη σύγκριση των διάφορων τύπων tracker, διαπιστώθηκε πως τη μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή εξασφαλίζει ο tracker με δυνατότητα στροφής γύρω από δύο άξονες. Μια ακόμα χρήσιμη σύγκριση είναι αυτή μεταξύ φωτοβολταϊκών πάρκων με πολυκρυσταλλικούς και μονοκρυσταλλικούς συλλέκτες, μέσα από την οποία διαπιστώθηκε πως η ενεργειακή παραγωγή είναι πρακτικά ταυτόσημη.

Σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών μονάδων, η οικονομική ανάλυση του φωτοβολταϊκού σταθμού στην περιοχή της Αγιάς που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό RETScreen, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το έργο είναι βιώσιμο, υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα αλλάξουν τα φορολογικά δεδομένα, καθώς και η τιμή αποζημίωσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (90 €/MWh). Η απόσβεση της επένδυσης, όπως φαίνεται από το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών του λογισμικού, επιτυγχάνεται περίπου στα έντεκα χρόνια, διάστημα που κρίνεται ικανοποιητικό. Παρόμοια αποτελέσματα εξάγονται και για τα υπόλοιπα φωτοβολταϊκά πάρκα που εγκαταστάθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Ακολουθούν τα τεχνικά εγχειρίδια των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στα φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαταστάθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της περιφέρειας Κρήτης.

EN | EN | DE 245 - 255 W Solar module aleo S_18

More power due to High Efficiency

Strong Performance

aleo's commitment to strong performance makes the module through unique combination of components even more efficient. Whether by salt mist or barn vapour, high snow loads or strong wind pressure – the aleo S_18 delivers long-term high energy yields under extreme conditions. The quality of aleo modules is continuously tested and confirmed by independent institutes. aleo modules are sorted with a positive power classification. The performance is guaranteed by aleo solar for 25 years, the product guarantee is for 10 years.

HE

High Efficiency
Efficient use of sunlight due to unique combination of module components

Everything from a single source
Consultancy, complete system planning, delivery, financing, insurance, training, disposal (PV CYCLE)

Comprehensive quality management
Production to international quality and environmental standards, for example, ISO 9001 and ISO 14001 as well as stringent internal controlling

Known worldwide and certified
VDE (IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730-1 Ed. 1 and IEC 61730-2 Ed. 1), Clean Energy Council (approved PV module)

Our modules – Quality signed and sealed

Contact: aleo solar | Osterstrasse 15 | 26122 Oldenburg | Germany | www.aleo-solar.com

aleo

Solar module aleo S_18

Electrical data (STC)			S18.245	S18.250	S18.255
Rated power	P_{MPP}	[W]	245	250	255
Rated voltage	V_{MPP}	[V]	30.2	30.3	30.4
Rated current	I_{MPP}	[A]	8.11	8.24	8.38
Open-circuit voltage	V_{OC}	[V]	37.5	37.5	37.6
Short-circuit current	I_{SC}	[A]	8.63	8.76	8.88
Efficiency	η	[%]	14.9	15.2	15.5

Electrical values measured under standard test conditions (STC): 1000 W/m²; 25°C; AM 1.5

Electrical data (NOCT)			S18.245	S18.250	S18.255
Power	P_{MPP}	[W]	179	183	187
Voltage	V_{MPP}	[V]	27.3	27.4	27.5
Current	I_{MPP}	[A]	6.56	6.67	6.78
Open-circuit voltage	V_{OC}	[V]	34.5	34.5	34.6
Short-circuit current	I_{SC}	[A]	7.02	7.12	7.22
Efficiency	η	[%]	13.6	13.9	14.2

Electrical values measured under nominal operating conditions of cells: 800 W/m²; 20°C; AM 1.5; wind 1 m/s
NOCT: 48°C (nominal operating cell temperature)

Additional electrical data		
Reduction of STC efficiency from 1000 W/m² to 200 W/m²	[%] rel.	< 4
Classification range (positive classification)	[W]	0/+4.99

Loads			
Max. module pressure load		[Pa]	5400
Max. module suction load		[Pa]	5400
Max. system voltage		[V_{DC}]	1000
Reverse current load	I_R	[A]	15

Mechanical load acc. to IEC/EN 61215

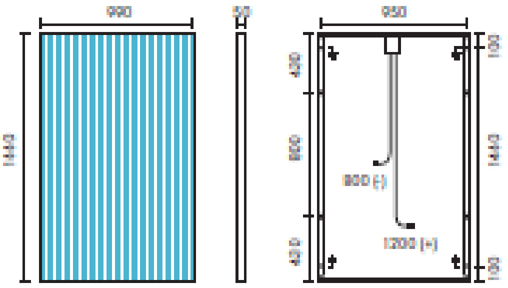
Temperature coefficients			
1st temperature coefficient	α (I_{SC})	[%/K]	+0.04
2nd temperature coefficient	β (V_{OC})	[%/K]	-0.31
3rd temperature coefficient	γ (P_{MPP})	[%/K]	-0.43

Basic module data		
Length x width x height	[mm³]	1660 x 990 x 50
Weight	[kg]	20
Number of cells		60
Cell size	[mm²]	156 x 156
Cell material		Polycrystalline Si
Front sheet		Solar glass (TSG)
Back sheet		Polymer sheet
Frame material		Al alloy

Basic data junction box		
Length x width x height	[mm³]	141 x 101 x 28
IP class		IP65
Cable length	[mm]	1200 (+), 800 (-)
Connectors		MC3
Bypass diodes		3

Measurement tolerance of P_{MPP} under STC -3/+3% | Accuracy of other electrical values -10/+10% | Efficiency relating to gross module area

Dimensions [mm]



Please contact your authorised aleo dealer

SUNNY TRIPOWER
5000TL – 12000TL

Economical
- Maximum efficiency of 98.3 %
- Shade management with OptiTrac Global Peak
- Active temperature management with OptiCool

Flexible
- DC input voltage of up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Reactive power supply
- Module-tailored system design with Optiflex

Communicative
- SMA Webconnect
- Sunny Portal communication
- Bluetooth® communication
- Simple country configuration
- Multifunction relay comes standard

Easy-to-Use
- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- SUNCLIX DC plug-in system
- Integrated ESS (Electronic Solar Switch)
- Easy wall mounting

SUNNY TRIPOWER 5000TL – 12000TL

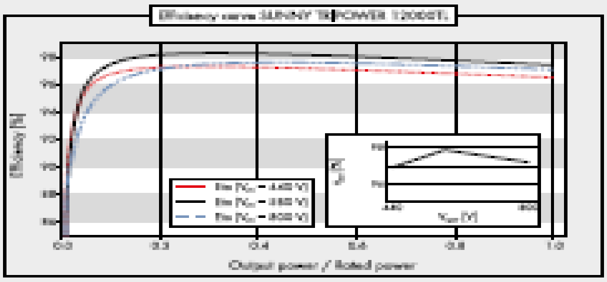
The Three-Phase Inverter – Not Only for Your Home...

...but also perfectly suited to the design of the traditional residential PV system up to the higher power outage range. After all, with the addition of the new 10 kVA and 12 kVA versions to the portfolio, the Sunny Tripower product range covers a broad spectrum of applications. Users benefit from numerous tried-and-tested product features. Highly flexible with its proven Optiflex technology and asymmetrical multistring, it delivers maximum yields with a top efficiency rating and OptiTrac Global Peak. In addition to Bluetooth communication, it also comes standard with a direct Sunny Portal connection via SMA Webconnect. Other standard features include integrated grid management functions, reactive power supply and suitability for operation with a 30 mA RCD. In summary, when it comes to system design in the 5 to 12 kW power classes, the Sunny Tripower is the optimum product solution – for applications ranging from use in your own home and larger PV rooftop systems to implementation of smaller-scale PV farms.

SUNNY TRIPOWER
5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL / 10000TL / 12000TL

Technical Data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
Input (DC)		
Max. DC power (@ cos φ = 1)	5100 W	6125 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V/580 V	295 V ... 800 V/580 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Output (AC)		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. AC apparent power	5000 VA	6000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 ... 280 V	160 V ... 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98 % / 97.1 %	98 % / 97.4 %
Protective devices		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / –	● / ● / –
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103)/overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
General data		
Dimensions (W / H / D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
Features		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485, Bluetooth, Speedwire / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and permits (more available on request)	AS 4777, CE, CEI 0-21[1], C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438[1], G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA, IEC 61727/PEA, IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014	
Type designation	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20

Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 9000TL
7175 W	8200 W	9225 W
1000 V	1000 V	1000 V
290 V ... 800 V / 580 V	330 V ... 800 V / 580 V	370 V ... 800 V / 580 V
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
7000 W	8000 W	9000 W
7000 VA	8000 VA	9000 VA
3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
160 V ... 280 V	160 V ... 280 V	160 V ... 280 V
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
10.2 A	11.6 A	13.1 A
1	1	1
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
3 / 3	3 / 3	3 / 3
98 % / 97.5 %	98 % / 97.6 %	98 % / 97.6 %
●	●	●
● / ●	● / ●	● / ●
● / ● / –	● / ● / –	● / ● / –
●	●	●
I / III	I / III	I / III
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)
37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
40 dB(A)	40 dB(A)	40 dB(A)
1 W	1 W	1 W
Transformerless / Optiocool	Transformerless / Optiocool	Transformerless / Optiocool
IP65	IP65	IP65
4K4H	4K4H	4K4H
100 %	100 %	100 %
SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal
Graphic	Graphic	Graphic
○ / ● / ●	○ / ● / ●	○ / ● / ●
● / ○	● / ○	● / ○
● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
AS 4777, CE, CEI 0-21[1], C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438[1], G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA[2], IEC 61727/PEA[2], IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 7000TL-20	STP 8000TL-20	STP 9000TL-20



Accessories

Power Control Module
PWCBRD-10

RS485 interface
485BRD-10

[1] Does not apply to all national appendices of EN 50438
[2] Only STP 9000TL-20
[3] Only with external NS protection
[4] AS 4777, SI4777 available as of September 1, 2014
[5] Available as of October 2014

● Standard feature ○ Optional feature – Not available
Last updated: August 2014
Data at nominal conditions

Sunny Tripower 10000TL	Sunny Tripower 12000TL[5]	
10250 W	12275 W	
1000 V	1000 V	
370 V ... 800 V / 580 V	440 V ... 800 V / 580 V	
150 V / 188 V	150 V / 188 V	
18 A / 10 A	18 A / 10 A	
18 A / 10 A	18 A / 10 A	
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	
10000 W	12000 W	
10000 VA	12000 VA	
3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	
160 V ... 280 V	160 V ... 280 V	
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	
14.5 A	17.4 A	
1	1	
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	
3 / 3	3 / 3	
98 % / 97.6 %	98.2 % / 97.9 %	
●	●	
● / ●	● / ●	
● / ● / –	● / ● / –	
●	●	
I / III	I / III	
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inch)	
37 kg (81.6 lb)	38 kg / 84 lbs	
-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	
40 dB(A)	40 dB(A)	
1 W	1 W	
Transformerless / Opticool	Transformerless / Opticool	
IP65	IP65	
4K4H	4K4H	
100 %	100 %	
SUNCLIX / spring-cage terminal	SUNCLIX / spring-cage terminal	
Graphic	Graphic	
○ / ● / ●	○ / ● / ●	
● / ○	● / ○	
● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	
AS 4777[4], CE, CEI 0-21[3], C10/11:2012, DIN EN 62109-1, EN 50438[1], G59/3, G83/2, IEC 61727/MEA, IEC 61727/PEA, IEC 62109-2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD 661/2007, RD 1699:2011, SI 4777[4], UTE C15-712-1, VDE0126-1-1, VDE AR-N 4105, VFR 2013, VFR 2014		
STP 10000TL-20	STP 12000TL-20	

www.SunnyPortal.com

Professional management, monitoring and presentation of PV plants

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ανάλυση του δανείου για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού σταθμού στην περιοχή της Αγιάς.

Υπολογισμός δανείου

Εισαγωγή τιμών	
Ποσό δανείου	84.000,00 €
Ετήσιο επιτόκιο	7,00 %
Περίοδος δανείου σε έτη	10
Αριθμός πληρωμών ανά έτος	12
Ημερομηνία έναρξης δανείου	30/12/2016
Προαιρετικές πρόσθετες πληρωμές	

Σύνοψη δανείου	
Προγραμματισμένη πληρωμή	975,31 €
Προγραμματισμένος αρ. πληρωμών	120
Πραγματικός αρ. πληρωμών	120
Σύνολο πληρωμών προεξόφλησης	0,00 €
Συνολικός τόκος	33.037,35 €

Όνομα δανειστή:

Αριθμός πληρωμής	Ημερομηνία πληρωμής	Αρχικό υπόλοιπο	Προγραμματισμένη πληρωμή	Πρόσθετη πληρωμή	Συνολική πληρωμή	Αρχικό κεφάλαιο	Τόκος	Τελικό υπόλοιπο
1	30/1/2017	84.000,00 €	975,31 €	0,00 €	975,31 €	485,31 €	490,00 €	83.514,69 €
2	2/3/2017	83.514,69	975,31	-	975,31	488,14	487,17	83.026,55
3	30/3/2017	83.026,55	975,31	-	975,31	490,99	484,32	82.535,56
4	30/4/2017	82.535,56	975,31	-	975,31	493,85	481,46	82.041,70
5	30/5/2017	82.041,70	975,31	-	975,31	496,73	478,58	81.544,97
6	30/6/2017	81.544,97	975,31	-	975,31	499,63	475,68	81.045,34
7	30/7/2017	81.045,34	975,31	-	975,31	502,55	472,76	80.542,79
8	30/8/2017	80.542,79	975,31	-	975,31	505,48	469,83	80.037,31
9	30/9/2017	80.037,31	975,31	-	975,31	508,43	466,88	79.528,88
10	30/10/2017	79.528,88	975,31	-	975,31	511,39	463,92	79.017,49
11	30/11/2017	79.017,49	975,31	-	975,31	514,38	460,94	78.503,12
12	30/12/2017	78.503,12	975,31	-	975,31	517,38	457,93	77.985,74
13	30/1/2018	77.985,74	975,31	-	975,31	520,39	454,92	77.465,34
14	2/3/2018	77.465,34	975,31	-	975,31	523,43	451,88	76.941,91
15	30/3/2018	76.941,91	975,31	-	975,31	526,48	448,83	76.415,43
16	30/4/2018	76.415,43	975,31	-	975,31	529,55	445,76	75.885,88
17	30/5/2018	75.885,88	975,31	-	975,31	532,64	442,67	75.353,23
18	30/6/2018	75.353,23	975,31	-	975,31	535,75	439,56	74.817,48
19	30/7/2018	74.817,48	975,31	-	975,31	538,88	436,44	74.278,61
20	30/8/2018	74.278,61	975,31	-	975,31	542,02	433,29	73.736,59
21	30/9/2018	73.736,59	975,31	-	975,31	545,18	430,13	73.191,41
22	30/10/2018	73.191,41	975,31	-	975,31	548,36	426,95	72.643,04
23	30/11/2018	72.643,04	975,31	-	975,31	551,56	423,75	72.091,48
24	30/12/2018	72.091,48	975,31	-	975,31	554,78	420,53	71.536,71
25	30/1/2019	71.536,71	975,31	-	975,31	558,01	417,30	70.978,69
26	2/3/2019	70.978,69	975,31	-	975,31	561,27	414,04	70.417,42
27	30/3/2019	70.417,42	975,31	-	975,31	564,54	410,77	69.852,88
28	30/4/2019	69.852,88	975,31	-	975,31	567,84	407,48	69.285,05
29	30/5/2019	69.285,05	975,31	-	975,31	571,15	404,16	68.713,90
30	30/6/2019	68.713,90	975,31	-	975,31	574,48	400,83	68.139,42
31	30/7/2019	68.139,42	975,31	-	975,31	577,83	397,48	67.561,59
32	30/8/2019	67.561,59	975,31	-	975,31	581,20	394,11	66.980,38
33	30/9/2019	66.980,38	975,31	-	975,31	584,59	390,72	66.395,79
34	30/10/2019	66.395,79	975,31	-	975,31	588,00	387,31	65.807,79
35	30/11/2019	65.807,79	975,31	-	975,31	591,43	383,88	65.216,36
36	30/12/2019	65.216,36	975,31	-	975,31	594,88	380,43	64.621,47
37	30/1/2020	64.621,47	975,31	-	975,31	598,35	376,96	64.023,12
38	1/3/2020	64.023,12	975,31	-	975,31	601,84	373,47	63.421,28
39	30/3/2020	63.421,28	975,31	-	975,31	605,35	369,96	62.815,92
40	30/4/2020	62.815,92	975,31	-	975,31	608,88	366,43	62.207,04
41	30/5/2020	62.207,04	975,31	-	975,31	612,44	362,87	61.594,60
42	30/6/2020	61.594,60	975,31	-	975,31	616,01	359,30	60.978,59
43	30/7/2020	60.978,59	975,31	-	975,31	619,60	355,71	60.358,99
44	30/8/2020	60.358,99	975,31	-	975,31	623,22	352,09	59.735,77
45	30/9/2020	59.735,77	975,31	-	975,31	626,85	348,46	59.108,92
46	30/10/2020	59.108,92	975,31	-	975,31	630,51	344,80	58.478,41
47	30/11/2020	58.478,41	975,31	-	975,31	634,19	341,12	57.844,22
48	30/12/2020	57.844,22	975,31	-	975,31	637,89	337,42	57.206,34
49	30/1/2021	57.206,34	975,31	-	975,31	641,61	333,70	56.564,73
50	2/3/2021	56.564,73	975,31	-	975,31	645,35	329,96	55.919,38
51	30/3/2021	55.919,38	975,31	-	975,31	649,11	326,20	55.270,27
52	30/4/2021	55.270,27	975,31	-	975,31	652,90	322,41	54.617,36
53	30/5/2021	54.617,36	975,31	-	975,31	656,71	318,60	53.960,65
54	30/6/2021	53.960,65	975,31	-	975,31	660,54	314,77	53.300,11
55	30/7/2021	53.300,11	975,31	-	975,31	664,39	310,92	52.635,72
56	30/8/2021	52.635,72	975,31	-	975,31	668,27	307,04	51.967,45
57	30/9/2021	51.967,45	975,31	-	975,31	672,17	303,14	51.295,28
58	30/10/2021	51.295,28	975,31	-	975,31	676,09	299,22	50.619,19
59	30/11/2021	50.619,19	975,31	-	975,31	680,03	295,28	49.939,16
60	30/12/2021	49.939,16	975,31	-	975,31	684,00	291,31	49.255,16
61	30/1/2022	49.255,16	975,31	-	975,31	687,99	287,32	48.567,17
62	2/3/2022	48.567,17	975,31	-	975,31	692,00	283,31	47.875,17
63	30/3/2022	47.875,17	975,31	-	975,31	696,04	279,27	47.179,13
64	30/4/2022	47.179,13	975,31	-	975,31	700,10	275,21	46.479,03
65	30/5/2022	46.479,03	975,31	-	975,31	704,18	271,13	45.774,85
66	30/6/2022	45.774,85	975,31	-	975,31	708,29	267,02	45.066,56
67	30/7/2022	45.066,56	975,31	-	975,31	712,42	262,89	44.354,13

68	30/8/2022	44.354,13	975,31	-	975,31	716,58	258,73	43.637,55
69	30/9/2022	43.637,55	975,31	-	975,31	720,76	254,55	42.916,79
70	30/10/2022	42.916,79	975,31	-	975,31	724,96	250,35	42.191,83
71	30/11/2022	42.191,83	975,31	-	975,31	729,19	246,12	41.462,64
72	30/12/2022	41.462,64	975,31	-	975,31	733,45	241,87	40.729,19
73	30/1/2023	40.729,19	975,31	-	975,31	737,72	237,59	39.991,47
74	2/3/2023	39.991,47	975,31	-	975,31	742,03	233,28	39.249,44
75	30/3/2023	39.249,44	975,31	-	975,31	746,36	228,96	38.503,09
76	30/4/2023	38.503,09	975,31	-	975,31	750,71	224,60	37.752,38
77	30/5/2023	37.752,38	975,31	-	975,31	755,09	220,22	36.997,29
78	30/6/2023	36.997,29	975,31	-	975,31	759,49	215,82	36.237,79
79	30/7/2023	36.237,79	975,31	-	975,31	763,92	211,39	35.473,87
80	30/8/2023	35.473,87	975,31	-	975,31	768,38	206,93	34.705,49
81	30/9/2023	34.705,49	975,31	-	975,31	772,86	202,45	33.932,63
82	30/10/2023	33.932,63	975,31	-	975,31	777,37	197,94	33.155,25
83	30/11/2023	33.155,25	975,31	-	975,31	781,91	193,41	32.373,35
84	30/12/2023	32.373,35	975,31	-	975,31	786,47	188,84	31.586,88
85	30/1/2024	31.586,88	975,31	-	975,31	791,05	184,26	30.795,83
86	1/3/2024	30.795,83	975,31	-	975,31	795,67	179,64	30.000,16
87	30/3/2024	30.000,16	975,31	-	975,31	800,31	175,00	29.199,85
88	30/4/2024	29.199,85	975,31	-	975,31	804,98	170,33	28.394,87
89	30/5/2024	28.394,87	975,31	-	975,31	809,67	165,64	27.585,20
90	30/6/2024	27.585,20	975,31	-	975,31	814,40	160,91	26.770,80
91	30/7/2024	26.770,80	975,31	-	975,31	819,15	156,16	25.951,65
92	30/8/2024	25.951,65	975,31	-	975,31	823,93	151,38	25.127,72
93	30/9/2024	25.127,72	975,31	-	975,31	828,73	146,58	24.298,99
94	30/10/2024	24.298,99	975,31	-	975,31	833,57	141,74	23.465,42
95	30/11/2024	23.465,42	975,31	-	975,31	838,43	136,88	22.626,99
96	30/12/2024	22.626,99	975,31	-	975,31	843,32	131,99	21.783,67
97	30/1/2025	21.783,67	975,31	-	975,31	848,24	127,07	20.935,43
98	2/3/2025	20.935,43	975,31	-	975,31	853,19	122,12	20.082,25
99	30/3/2025	20.082,25	975,31	-	975,31	858,16	117,15	19.224,08
100	30/4/2025	19.224,08	975,31	-	975,31	863,17	112,14	18.360,91
101	30/5/2025	18.360,91	975,31	-	975,31	868,21	107,11	17.492,70
102	30/6/2025	17.492,70	975,31	-	975,31	873,27	102,04	16.619,43
103	30/7/2025	16.619,43	975,31	-	975,31	878,36	96,95	15.741,07
104	30/8/2025	15.741,07	975,31	-	975,31	883,49	91,82	14.857,58
105	30/9/2025	14.857,58	975,31	-	975,31	888,64	86,67	13.968,94
106	30/10/2025	13.968,94	975,31	-	975,31	893,83	81,49	13.075,11
107	30/11/2025	13.075,11	975,31	-	975,31	899,04	76,27	12.176,07
108	30/12/2025	12.176,07	975,31	-	975,31	904,28	71,03	11.271,79
109	30/1/2026	11.271,79	975,31	-	975,31	909,56	65,75	10.362,23
110	2/3/2026	10.362,23	975,31	-	975,31	914,86	60,45	9.447,36
111	30/3/2026	9.447,36	975,31	-	975,31	920,20	55,11	8.527,16
112	30/4/2026	8.527,16	975,31	-	975,31	925,57	49,74	7.601,59
113	30/5/2026	7.601,59	975,31	-	975,31	930,97	44,34	6.670,63
114	30/6/2026	6.670,63	975,31	-	975,31	936,40	38,91	5.734,23
115	30/7/2026	5.734,23	975,31	-	975,31	941,86	33,45	4.792,36
116	30/8/2026	4.792,36	975,31	-	975,31	947,36	27,96	3.845,01
117	30/9/2026	3.845,01	975,31	-	975,31	952,88	22,43	2.892,13
118	30/10/2026	2.892,13	975,31	-	975,31	958,44	16,87	1.933,69
119	30/11/2026	1.933,69	975,31	-	975,31	964,03	11,28	969,65
120	30/12/2026	969,65	975,31	-	969,65	964,00	5,66	0,00

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», 3η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, 2009.

[2] Γιαννακόπουλος Γ. Β. Βοβός Ν. Α., «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006.

[3] Θωμάς Ζ., « Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.

[4] Καγκαράκη Κ., Καθηγητή Ε.Μ Πολυτεχνείου, «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, 1992.

[5] Περράκη Β., «Φυσική των φωτοβολταϊκών στοιχείων», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2009.

[6] Ζαγούρας Ν. Γ., «Οικονομική Ανάλυση & Εισαγωγή στην Πολιτική Οικονομία», Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.

[7] Solar Engineering of Thermal Processes 2nd Edition, Duffie J., and Beckman W.

[8] Ροκαδάκη Μ., «Έλεγχος Αέργου Ισχύος Αιολικού Συστήματος Συνδεδεμένου στο Δίκτυο Μέσω Διασύνδεσης Συνεχούς Ρεύματος», διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2012.

[9] Κτενίδης Γ., «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW», διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008.

[10] Καλογεράκης Γ., «Μελέτη Εγκατάστασης και Λειτουργίας Φωτοβολταϊκού Πάρκου 80kW», διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Χανίων, 2013.

[11] Βρόντος Φ., «Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων: Νομοθεσία, διαδικασίες υλοποίησης και ανάλυση βιωσιμότητας επενδύσεων», διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Χανίων.

[12] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, «Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων», Θεσσαλονίκη, 2011.

[13] http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php

[14] www.ypeka.gr

[15] www.rae.gr

[16] www.admie.gr

[17] www.deddie.gr

[18] http://photovoltaic-software.com/professional.php

[19] http://photovoltaic-software.com/online-professional.php

[20]http://photovoltaic-software.com/free-online.php

[21]http://photovoltaic-software.com/free.php

[22]http://photovoltaic-software.com/inverters.php

[23] http://www.velasolaris.com/

[24] http://www.trace-software.com/products/archelios-pro/

[25] http://easysolar-app.com/?utm_expid=115886733-0.A4qLLx_QR4CSKUNZPdUIgw.0

[26] http://www.fchart.com/pvfchart/

[27] http://www.solarschmiede.de/en/pvscout-20-premium

[28] http://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/55/pvsol

[29] http://www.pvsyst.com/en/software

[30] http://www.gascad.at/index.php/en/produkte/photovoltaik

[31] http://www.lapsys.co.jp/english/products/pro.html

[32] http://www.mauisolarsoftware.com/

[33] http://www.helios3d.com/index.php/en/

[34] http://www.homerenergy.com/index.html

[35] http://www.solmetric.com/

[36] http://www.folsomlabs.com/

[37] http://www.electrographics.it/en/products/solergo.php

[38] http://www.bluesolpv.com/dnnsite/default.aspx

[39] http://www.insel.eu/index.php?id=301&L=1

[40] http://skelion.com/index.htm?v1.0.0

[41] https://sam.nrel.gov/

[42] http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465

[43] http://www.accasoftware.com/en/id55/solar-pv-system-design.html

[44] http://solargis.info/pvplanner/

[45] http://get.solardesigntool.com/

[46] http://www.solarmodel.com/

[47] http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe

[48] http://www.easy-pv.co.uk/

[49] http://pvwatts.nrel.gov/

[50] http://www.sma.de/

[51] http://www.meteothes.gr/wxLonLatConv.php

[52] Οδηγίες χρήσης SUNNY DESIGN 3 και SUNNY DESIGN WEB.

[53] Εγχειρίδιο aleo solar AG, aleo_S18 250W.

[54] Εγχειρίδιο SMA, SUNNY TRIPOWER 10000TL.