



Τ.Ε.Ι. Κρήτης



Τμήμα Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος



Παραμετρική Μοντελοποίηση και Οικονομική Ανάλυση Εγκατάστασης Φ/Β σε Στέγες

ΔΟΥΔΟΥΜΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής

Ιωάννης Κατσιγιαννης

Χανιά

Ιούνιος 2013

Όνοματεπώνυμο: Δουδουμόπουλος Κωνσταντίνος Ιωάννης

Τίτλος: Παραμετρική Μοντελοποίηση και Οικονομική Ανάλυση
Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών σε Στέγες

Title: Parametric Modeling and Economic Analysis of Installing
Photovoltaics on Roofs

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να αποδώσω ευχαριστίες σε όσους προσέφεραν την πολύτιμη βοήθειά τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της. Κατ' αρχήν θα ήθελα ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τον επιβλέπον καθηγητή μου, κ. Ιωάννη Κατσιγιαννη, ο οποίος προσέφερε την πολύτιμη στήριξη, ενθάρρυνση αλλά και τις εξαιρετικές γνώσεις του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας. Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου τους φίλους μου και τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας, για την ηθική και πρακτική υποστήριξη τους.

Περίληψη

Η εξάντληση των συμβατικών καυσίμων στις μέρες μας λόγω της απερισκεπτης χρήσης τους, έχει κάνει επιτακτική την εύρεση νέων μορφών ενέργειας. Οι επιστήμονες έχουν στραφεί προς την αξιοποίηση όλο και περισσότερων Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας. Στην εργασία αυτή, γίνεται αναφορά μία από τις πιο σημαντικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, την ηλιακή ενέργεια, καθώς και στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει η εκμετάλλευσή της. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με την βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία έχουν ουσιαστικά την δυνατότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η τεχνολογία αυτών των συστημάτων αναλύεται στην παρούσα εργασία, καθώς επίσης και η δυνατότητα εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος στην στέγη μιας οικίας στο βόρειο μέρος της Αττικής στην περιοχή του Ωρωπού, σύμφωνα με τους νόμους, κανονισμούς και τιμές που ίσχυαν έως και το Φεβρουάριο του 2013.

Η πτυχιακή χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος δίνονται οι απαραίτητες πληροφορίες για να κατανοηθεί η ηλιακή γεωμετρία, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, καθώς και το νομικό πλαίσιο που υφίσταται για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε στέγες. Ο υπολογισμός της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη συγκεκριμένη μελέτη εφαρμογής έγινε χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας του νομού Αττικής για το έτος 2005, με την βοήθεια ενός κώδικα που αναπτύχθηκε στο λογισμικό MATLAB για να υπολογιστεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για την διάρκεια ενός έτους, μέσω των τύπων της ηλιακής γεωμετρίας. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται το υπό μελέτη κτίριο και αναπτύσσεται η οικονομοτεχνική μελέτη που αξιολογεί τη συγκεκριμένη επένδυση.

Λέξεις κλειδιά: ηλιακή ενέργεια, φωτοβολταϊκά (Φ/Β), Φ/Β σε στέγες, ηλιακή γεωμετρία, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), τεχνοοικονομική ανάλυση

Abstract

Depletion of fossil fuels nowadays because of careless use, has made it imperative to find new energy sources. Scientists have turned to the use of more and more renewable energy. In this paper, reference is one of the most important renewable energy sources, solar energy, and the ways in which it can be exploited. Solar energy can be harnessed with the help of photovoltaic systems, which have essentially the ability to convert solar energy into electricity. In this work, the technology of these systems is analyzed, as well as the ability to install such a system on the roof of a house in the northern part of Attica (Oropos village) in accordance with the laws, regulations and rates applicable to February 2013.

The thesis is divided into two major parts. In the first part, necessary information is given in order to understand solar geometry, photovoltaic systems (PVs), and the legal framework exists for the installation of PV on roofs. The calculation of the incident radiation in this case study was using real solar radiation data of Attica for year 2005, with the help of a code developed in MATLAB in order to calculate the annual electricity production. In the second part, the studied building is presented and the feasibility study that evaluates the investment is developed.

Key words: solar energy, photovoltaics (PVs), PV on roofs, solar geometry, renewable energy sources (RES), techno economic analysis

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Περιεχόμενα.....	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 2 : Ηλιακή ακτινοβολία	11
2.1 Ήλιος	11
2.2 Δομή του ήλιου	11
2.3 Η Ηλιακή ακτινοβολία	13
2.4 Η γη και οι κινήσεις της.....	14
2.5 Ηλιακή Γεωμετρία.....	19
Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκά Συστήματα	31
3.1 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά.....	31
3.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	32
3.3 Ορολογία	33
3.4 Τεχνολογία	35
3.5 Κλίση Φ/Β Συστήματος	37
3.6 Επίδραση της Σκίασης στα Φ/Β Συστήματα	39
3.7 Μοντελοποίηση Φωτοβολταϊκών Κελιών	40
3.8 Καμπύλες Λειτουργίας I-V , P-V.....	41
3.9 Ισχύς εξόδου Φ/Β συστοιχίας.....	46
3.10 Αντιστροφείς.....	48
3.11 Εφαρμογές	54
Κεφάλαιο 4 : Νομικό πλαίσιο και προϋποθέσεις.....	57
4.1 Γενικά στοιχεία:.....	57
4.2 Βασικές προϋποθέσεις	58
4.3 Σύνδεση στο δίκτυο.....	61

Κεφάλαιο 5: Οικονομική Μελέτη της εγκατάστασης - Παρουσίαση	
Κτιρίου.....	66
5.1 Οικονομικά Χαρακτηριστικά Επένδυσης.....	66
5.2 Περιγραφή Κτιρίου και Χώρου Εγκατάστασης.....	71
5.3 Οικονομική Μελέτη Εγκατάστασης.....	76
Κεφάλαιο 6: Σχολιασμός Αποτελεσμάτων και Αξιολόγηση Επένδυσης	
.....	82
Βιβλιογραφία.....	84

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Σήμερα ένα από τα μεγάλα θέματα για το μέλλον της ανθρωπότητας είναι και το θέμα του περιβάλλοντος. Οι παρεμβάσεις του ανθρώπου, ιδιαίτερα τους τελευταίους 1-2 αιώνες, δημιούργησαν προβλήματα και καταστροφικές προοπτικές για την ανθρωπότητα. Μια από τις παρεμβάσεις του ανθρώπου, που δημιουργούν τεράστια προβλήματα για το φυσικό περιβάλλον, είναι οι αναγκαίες σήμερα μεγάλες ποσότητες ενέργειας, που απαιτούνται στη σύγχρονη κοινωνία, θέρμανση, ηλεκτρισμός, μεταφορές είναι αναγκαία σε κάθε νοικοκυριό, ενώ και η παραγωγή αγαθών βασίζεται σήμερα στην ενέργεια (βιομηχανία, βιοτεχνία, γεωργία, ορυκτός πλούτος). Για να περιοριστεί η ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος από την παραγωγή ενέργειας, γίνονται πολλές προτάσεις, μια από τις οποίες είναι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ είναι οι εξής: Η Ηλιακή ενέργεια (η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας), η Αιολική Ενέργεια (η εκμετάλλευση της κίνησης του ανέμου), η Βιομάζα (η εκμετάλλευση καταλοίπων που προέρχονται από οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς), η Γεωθερμική Ενέργεια ή Γεωθερμία (εκμετάλλευση της φυσικής θερμικής ενέργειας της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια), η Ενέργεια Κυμάτων - Ωκεανών (εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των κυμάτων), Υδροηλεκτρική Ενέργεια (εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του νερού κατά την κίνηση του σε χαμηλότερα υψόμετρα). Καταρχήν πρέπει να τονιστεί ότι και η εκμετάλλευση των ΑΠΕ έχει αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όμως σε μικρότερο βαθμό από την παραγωγή ενέργειας με καύσιμη πρώτη ύλη. 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 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

ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπολογικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η γεωγραφική της θέση εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της ανάγλυφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα. Τέλος, η συνύπαρξη ηπειρωτικού - νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Βέβαια, πέρα των φυσικών χαρακτηριστικών, μια σειρά άλλων παραμέτρων καθορίζει την δυνατότητα εφαρμογής των ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα το διαθέσιμο δίκτυο μεταφοράς και η περιορισμένη ζήτηση των νησιών (αυτόνομα δίκτυα), που θέτει όρια στην αξιοποίηση των ΑΠΕ.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) ακολουθώντας πράσινη πολιτική έχει θεσπίσει νόμους για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ. Για να επιτευχθεί η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, η συνολική ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη δεν θα πρέπει να υπερβεί τους 2 C σε σύγκριση με τα προ - βιομηχανικής εποχής επίπεδα. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50 % έναντι των επιπέδων του 1990. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην Κοινότητα θα πρέπει να συνεχίσουν να μειώνονται και πέραν του 2020 ως τμήμα των προσπάθειών της Κοινότητας να συμβάλει στην επίτευξη αυτού του παγκόσμιου στόχου μείωσης των εκπομπών. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007 αποφάσισε ότι, έως ότου συναφθεί

παγκόσμια και συνολική συμφωνία για τη μετά το 2012 περίοδο, η Κοινότητα αναλαμβάνει μονομερή δέσμευση να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20 % έως το 2020, σε σχέση με το 1990. Επιπλέον, το Συμβούλιο, ενέκρινε για την Κοινότητα στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 30 % μέχρι το 2020, σε σχέση με το 1990, ώστε να συμβάλει στην επίτευξη παγκόσμιας και συνολικής συμφωνίας για τη μετά το 2012 εποχή, εφόσον και άλλες ανεπτυγμένες χώρες δεσμευθούν για ανάλογες μειώσεις εκπομπών και εφόσον οι οικονομικά πιο προηγμένες αναπτυσσόμενες χώρες συμβάλουν καταλλήλως ανάλογα με τις ευθύνες και τις δυνατότητές τους.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική με στόχο την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ, ενισχύοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητα της και την μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική από ενεργειακή άποψη οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Οι απαιτήσεις που υιοθετήθηκαν από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων αφορούσαν:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990
- 20% της κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές
- Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Οι παραπάνω απαιτήσεις είναι γνωστές ως στόχοι 20-20-20. Τον Ιανουάριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε δεσμευτική νομοθεσία για την υλοποίηση των στόχων 20-20-20. Η γνωστή ως «δέσμη για το κλίμα και την ενέργεια», η οποία συμφωνήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο τον Δεκέμβριο του 2008 και έγινε νόμος τον Ιούνιο του 2009.

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιάσει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να γίνει η εκμετάλλευση μια εκ των σημαντικότερων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, της ηλιακής ενέργειας, μετατρέποντας την σε ηλεκτρική με την βοήθεια

των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εν συνεχεία, με τη βοήθεια ενός κώδικα που αναπτύχθηκε στο λογισμικό Matlab, υπολογίζεται παραμετρικά η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά σε περιοχή της Αττικής (Ωρωπός), χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές για το έτος 2005. Τέλος, γίνεται χρηματοοικονομική μελέτη για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος, στην στέγη μιας μονοκατοικίας στην περιοχή του Ωρωπού για τα δεδομένα που ίσχυαν έως το Φεβρουάριο του 2013.

Η δομή της εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο Κεφάλαιο 2: «Ηλιακή ακτινοβολία», δίνονται οι βασικές πληροφορίες για τον ήλιο, περιγράφεται ο τρόπος που προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο, και παρουσιάζονται οι τύποι με τους οποίους αναπτύχθηκε ο κώδικας υπολογισμού προσπίπτουσας ακτινοβολίας και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 3: «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», αρχικά γίνεται επεξήγηση του Φ/Β φαινομένου. Στην συνέχεια αναλύονται όλα τα μέρη ενός Φ/Β συστήματος, η τεχνολογία, καθώς και οι καμπύλες λειτουργίας των Φ/Β.

Στο Κεφάλαιο 4: «Νομικό πλαίσιο και προϋποθέσεις», παρουσιάζεται συνοπτικά η νομοθεσία των Φ/Β συστημάτων έως 10 kWp σε κτιριακές εγκαταστάσεις.

Στο Κεφάλαιο 5: «Παρουσίαση Κτιρίου - Οικονομική Μελέτη της εγκατάστασης», γίνεται παρουσίαση του κτιρίου που θα φιλοξενήσει το Φ/Β σύστημα η οποία περιλαμβάνει την γεωγραφική θέση του κτιρίου, τον προσανατολισμό του, καθώς και ο χώρος της στέγης που θα τοποθετηθεί το Φ/Β σύστημα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον κώδικα που αναπτύχθηκε, για διάφορες κλίσεις Φ/Β. Τέλος γίνεται οικονομική μελέτη της εγκατάστασης για 25 έτη, καθώς και αξιολόγηση της.

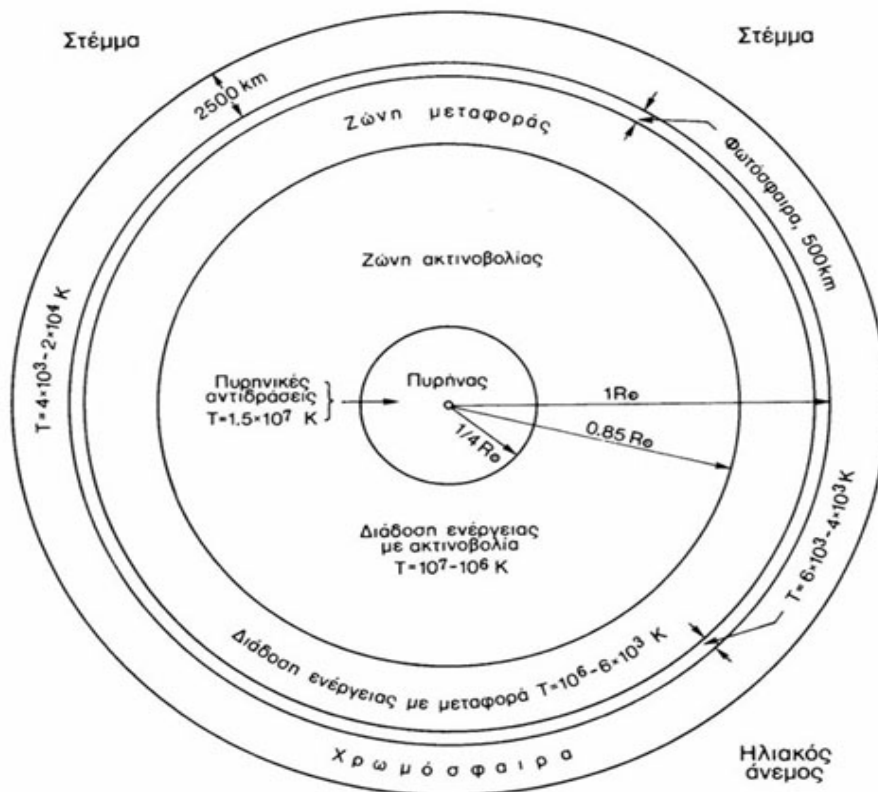
Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας.

Κεφάλαιο 2 : Ηλιακή ακτινοβολία

2.1 Ήλιος

Ο ήλιος είναι μια θερμή σφαίρα αερίων στο εσωτερικό της οποίας γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Αποτέλεσμα των αντιδράσεων είναι η παραγωγή ενέργειας η οποία ύστερα από εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια φτάνει στην επιφάνεια του ήλιου και στη συνέχεια μόλις σε 8,3 λεπτά φτάνει στη γη. Το μεγάλο ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μελέτη του ήλιου καθώς και οι ειδικές συνθήκες παρατήρησης του, δημιούργησαν έναν ιδιαίτερο κλάδο της αστροφυσικής, την ηλιακή φυσική.

2.2 Δομή του ήλιου



Εικόνα 1. Η δομή του ηλίου

Ο ήλιος αποτελείται από τα εξής μέρη (Εικόνα 1):

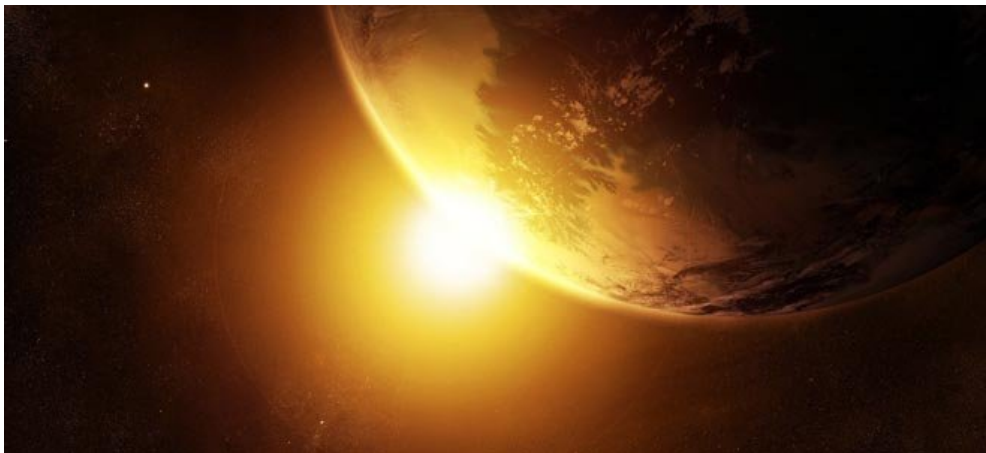
1. Τον πυρήνα με ακτίνα 0,25 της ηλιακής ακτίνας με θερμοκρασία $1,5 \times 10^7 \text{K}$ όπου γίνονται οι θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο οι οποίες αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας του ήλιου.
2. Τη ζώνη ακτινοβολίας πάχους 0,60 ακτίνες ηλίου που περιβάλλει τον πυρήνα και στην οποία μεταφέρεται η ενέργεια με την μορφή ακτινοβολίας.
3. Τη ζώνη μεταφοράς πάχους 0,15 ακτίνες ηλίου όπου δημιουργούνται φαινόμενα στροβιλισμού από τα ρεύματα μεταφοράς και έτσι η ενέργεια διαδίδεται προς τα έξω με μεταφορά της ύλης.
4. Τη φωτόσφαιρα πάχους 500 km πάνω στην οποία παρατηρούνται φαινόμενα όπως οι κόκκοι, οι κηλίδες και οι πυρσοί και αποτελεί τον ορατό δίσκο του ήλιου. Ακριβέστερα είναι το θερμό αδιαφανές κέλυφος που παράγει το παρατηρούμενο συνεχές φάσμα του ήλιου και αρχίζει ακριβώς μετά τη ζώνη μεταφοράς. Η φωτόσφαιρα έχει κοκκώδη υφή σαν την επιφάνεια ενός παχύρρευστου υγρού που βράζει. Κάθε μια από τις φυσαλίδες-κόκκους της φωτόσφαιρας έχει ακανόνιστο σχήμα με μέση διάσταση 2.000 km το φαινόμενο αυτό ονομάζεται φωτοσφαιρική κοκκίαση και οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα ζεστών αερίων που σχηματίζονται στη βάση της φωτόσφαιρας.
5. Τη χρωμόσφαιρα που έχει χρώμα κοκκινωπό και εκτείνεται σε ύψος 10.000-15.000 km. Εκεί παρατηρούνται οι προεξοχές και σε αυτή την περιοχή οφείλονται οι σκοτεινές γραμμές του φάσματος απορρόφησης του ήλιου. Το κοκκινωπό χρώμα της προέρχεται από την εκπομπή ακτινοβολίας από τη γραμμή Η α του ουδέτερου υδρογόνου. Η πυκνότητα της χρωμόσφαιρας είναι χίλιες φορές μικρότερη από αυτή της φωτόσφαιρας και αυτός είναι ο λόγος που είναι διαφανής στο φως.

6. Το στέμμα που εκτείνεται προς το μεσοπλανητικό χώρο χωρίς να έχει σταθερή μορφή. Από το 1930 με το στεματογράφο Lyot μπορεί να παρατηρηθεί κάθε στιγμή και όχι όπως πριν μόνο κατά την διάρκεια των ηλιακών εκλείψεων. Η λαμπρότητα του στέμματος είναι αντίστοιχη με αυτή της πανσελήνου. Το φάσμα του στέμματος έχει κάποιες λαμπρές γραμμές που αποτελούσαν μυστήριο για πολλά χρόνια μια και δεν μπορούσαν οι αστρονόμοι να καταλάβουν ποιο στοιχείο μπορεί να τις προκαλεί. Τελικά αποδείχτηκε ότι προέρχονταν από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων ο ιονισμός των οποίων οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία του στέμματος.

2.3 Η Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος ακτινοβολεί ενέργεια από τα εξωτερικά του στρώματα προς το διάστημα που κατανέμεται σε όλες τις περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εκπέμπει λοιπόν ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοκυμάτων, του υπέρυθρου, του ορατού και του υπεριώδους, στις ακτίνες X και γ. Επιπλέον ο ήλιος εκπέμπει και σωματιδιακή ακτινοβολία μέσω του ηλιακού ανέμου. Κάθε μία από τις ακτινοβολίες αυτές μεταφέρει πληροφορίες οι οποίες αφορούν διαφορετικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε διαφορετικά στρώματα του ήλιου. Το ηλιακό φάσμα είναι σύνθετο με έντονο συνεχές υπόβαθρο που διακόπτεται από χιλιάδες σκοτεινές και λίγες φωτεινές γραμμές διάφορων εντάσεων. Πρώτος το μελέτησε ο Φραουνχόφερ και αυτός είναι ο λόγος που φέρει το όνομά του. Από τη μελέτη του ηλιακού φάσματος ανιχνεύονται τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ο ήλιος καθώς και οι φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρά του. Το συνεχές υπόβαθρο του φάσματος προέρχεται από την φωτόσφαιρα ενώ οι γραμμές απορρόφησης από τα υπερκείμενα στρώματα στα οποία οφείλονται και μερικές λαμπρές γραμμές εκπομπής. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι γραμμές του ηλιακού φάσματος που αρχικά αποδόθηκαν στο υποθετικό στοιχείο κορώνιο αποδείχτηκε ότι ανήκαν σε γνωστά χημικά στοιχεία που όμως βρίσκονταν στις ειδικές φυσικές συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα του ήλιου.

Η ηλιακή ακτινοβολία λοιπόν είναι το συνολικό φάσμα συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που παράγεται από τον ήλιο. Αυτό το φάσμα ορατού φωτός καλύπτει και σχεδόν ορατή ακτινοβολία, όπως ακτίνες Χ, υπεριώδη ακτινοβολία, υπέρυθρη ακτινοβολία και τα ραδιοκύματα. Το ορατό φως και τη θερμότητα του ήλιου κάνει δυνατή τη ζωή, και το διακρίνουμε σαν φως της ημέρας ή ηλιοφάνεια. Η γήινη ατμόσφαιρα εκτρέπει ή φιλτράρει την πλειοψηφία των επιβλαβών ακτινοβολιών.

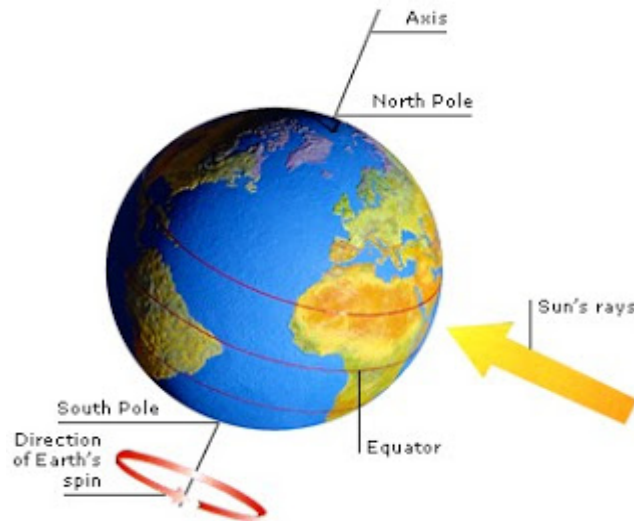


Εικόνα 2. Η εικόνα της Γής απέναντι στον ήλιο

2.4 Η γη και οι κινήσεις της

2.4.1 Άξονας και πόλοι της γης

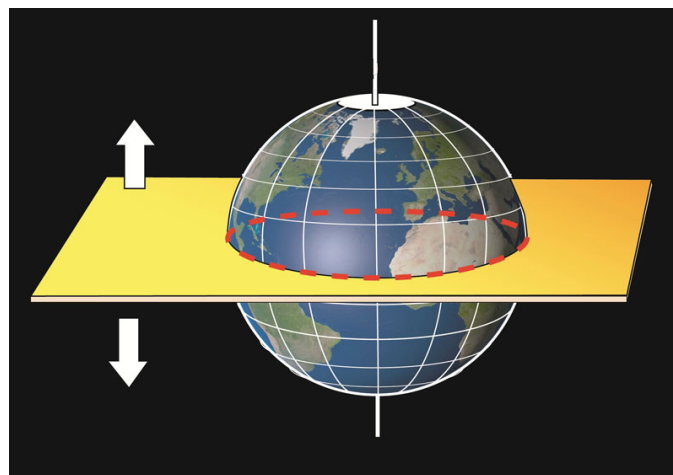
Η περιστροφική κίνηση της γης μοιάζει με την κίνηση που κάνει μια παιδική σβούρα. Γυρίζει δηλ. γύρω από ένα φανταστικό άξονα, που περνάει από το κέντρο της. Ο νοητός άξονας λέγεται άξονας της γης. Τα σημεία στα οποία ο άξονας τέμνει την επιφάνεια της γης λέγονται πόλοι της γης. Έτσι έχουμε το Β. Πόλο και το Ν. Πόλο.



Εικόνα 3. Ο άξονας και η περιστροφική κίνηση της Γης γύρω από αυτόν

2.4.2 Ο Ισημερινός και οι Παράλληλοι

Αν κόψουμε μια σφαίρα ακριβώς στη μέση και οριζόντια, θα έχουμε δυο ίσα τμήματα. Η τομή του θα είναι κύκλος και ο κύκλος αυτός θα είναι ο μεγαλύτερος απ' όλους. Ο κύκλος αυτός στη γη λέγεται Ισημερινός, γιατί οι τόποι απ' τους οποίους περνάει έχουν πάντοτε ίση μέρα και ίση νύχτα.



Εικόνα 4. Ο ισημερινός της Γης

Η γη έχει μόνο έναν Ισημερινό και τη χωρίζει σε δύο ημισφαίρια: το Β. ημισφαίριο και το Ν. Ημισφαίριο. Από τον Ισημερινό ως το Βόρειο πόλο μπορούμε να φέρουμε

90 κύκλους, που όσο πλησιάζουν τον πόλο μικραίνουν. Οι κύκλοι αυτοί, επειδή είναι παράλληλοι προς τον Ισημερινό, λέγονται παράλληλοι κύκλοι και είναι αριθμημένοι από το 0 ως το 90. Το ίδιο μπορούμε να κάνουμε και για το Νότιο πόλο.

Από τους 180 παράλληλους κύκλους της γης, 4 είναι οι σπουδαιότεροι:

1. Ο Βόρειος Τροπικός ή Τροπικός του Καρκίνου, που βρίσκεται στις $23^{\circ}27'$ στα Β. του Ισημερινού.
2. Ο Νότιος Τροπικός ή Τροπικός του Αιγόκερω, που βρίσκεται στις $23^{\circ}27'$ στα Ν. του Ισημερινού.
3. Ο Βόρειος Πολικός, που βρίσκεται στις $66^{\circ}33'$ στα Β. του Ισημερινού και
4. Ο Νότιος Πολικός, που βρίσκεται στις $66^{\circ}33'$ στα Ν. του Ισημερινού.

2.4.3 Γεωγραφικό πλάτος

Εάν κόψουμε το σφαιροειδές της γης σε παράλληλες τομές ως προς το επίπεδο του Ισημερινού τότε οι κύκλοι όσο απομακρυνόμαστε από τον ισημερινό γίνονται όλο και μικρότεροι. Αν ορίσουμε πλάτος ίσο με μηδέν αυτό του ισημερινού και ανεβαίνουμε προς το βορρά τότε ο βόρειος πόλος θα έχει γεωγραφικό πλάτος 90° Βόρειο. Αντίθετα αν κατεβαίνουμε προς το Νότιο πόλο θα έχουμε νότια πλάτη μέχρι τις 90° Νότιο. Άρα γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου είναι η απόσταση σε μοίρες (η 1 μοίρα έχει $60'$ και το $1'$ έχει $60''$) του παράλληλου κύκλου που περνά από τον τόπο ως προς τον ισημερινό της γης (που είναι μέγιστος κύκλος με πλάτος 0°). Κάθε τόπος έχει το δικό του γεωγραφικό πλάτος και λέγεται βόρειο, αν ο τόπος είναι στο Β. Ημισφαίριο ή Νότιο, αν ο τόπος είναι στο Ν. Ημισφαίριο. Στους χάρτες το γεωγραφικό πλάτος σημειώνεται στα περιθώρια αριστερά και δεξιά με οριζόντιες ή καμπύλες γραμμές.

Το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας είναι $37^{\circ} 58' 27''$ Β.

ενώ της Θεσσαλονίκης είναι $40^{\circ} 37' 48''$ Β.

2.4.4 Μεσημβρινός

Αν κόψουμε το σφαιροειδές στη μέση, όχι οριζόντια, αλλά κάθετα, θα έχουμε πάλι δυο ίσα τμήματα. Η τομή θα είναι κύκλος, ο κύκλος αυτός λέγεται μεσημβρινός, γιατί οι τόποι από τους οποίους περνάει έχουν την ίδια στιγμή μεσημβρία. Οι μεσημβρινοί είναι 360 και μια κι αρχίζουν από τους πόλους και είναι κάθετοι προς τον Ισημερινό είναι ίσοι μεταξύ τους. Αυτός που περνά από το αστρονομικό Greenwich (προάστιο του Λονδίνου) λέγεται πρώτος μεσημβρινός και χωρίζει τη γη σε δυο ημισφαίρια: το Ανατολικό και το Δυτικό.

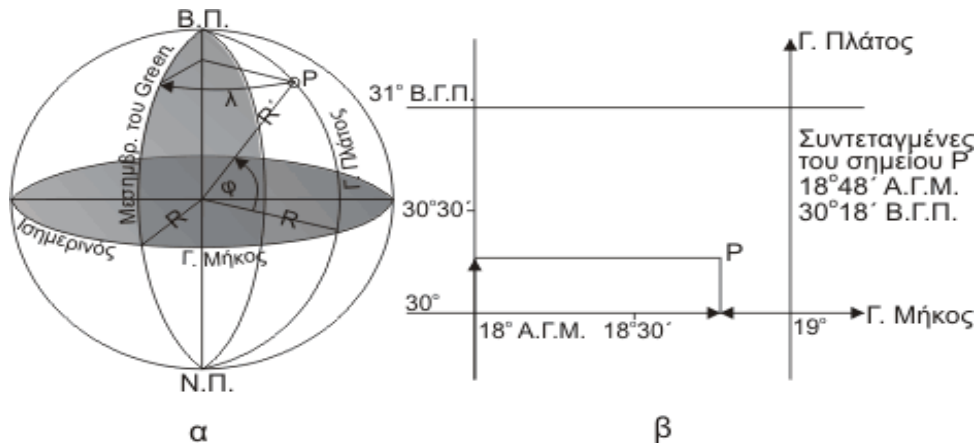
2.4.5 Γεωγραφικό μήκος

Η απόσταση ενός τόπου από τον πρώτο μεσημβρινό λέγεται γεωγραφικό μήκος και μετριέται με μοίρες. Κάθε τόπος έχει το δικό του γεωγραφικό μήκος και λέγεται Ανατολικό, αν ο τόπος είναι στο Α. ημισφαίριο ή Δυτικό αν ο τόπος είναι στο Δ. Ημισφαίριο.

Η Αθήνα έχει γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 43' 48''$ Α, ενώ η Θεσσαλονίκη $22^{\circ} 58' 12''$ Α.

2.4.6 Γεωγραφικές συντεταγμένες

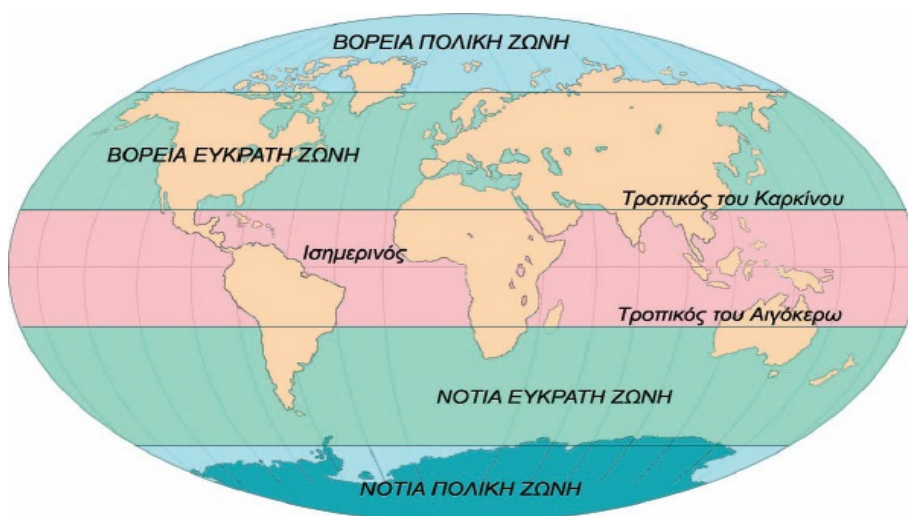
Το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος μας δίνουν με μεγάλη ακρίβεια τη θέση κάθε σημείου πάνω στη γη. Γι' αυτό λέγονται γεωγραφικές συντεταγμένες ή στίγμα ενός τόπου.



Εικόνα 5. Περιγραφή υπολογισμού Συντεταγμένων σημείου P

Το στίγμα έχει μεγάλη σημασία για τα πλοία που ταξιδεύουν, τα αεροπλάνα που πετούν, τους οδοιπόρους κλπ.

2.4.7 Ζώνες της γης



Εικόνα 6 Απεικόνιση των Ζωνών της Γης

Η γη χωρίζεται σε 5 ζώνες:

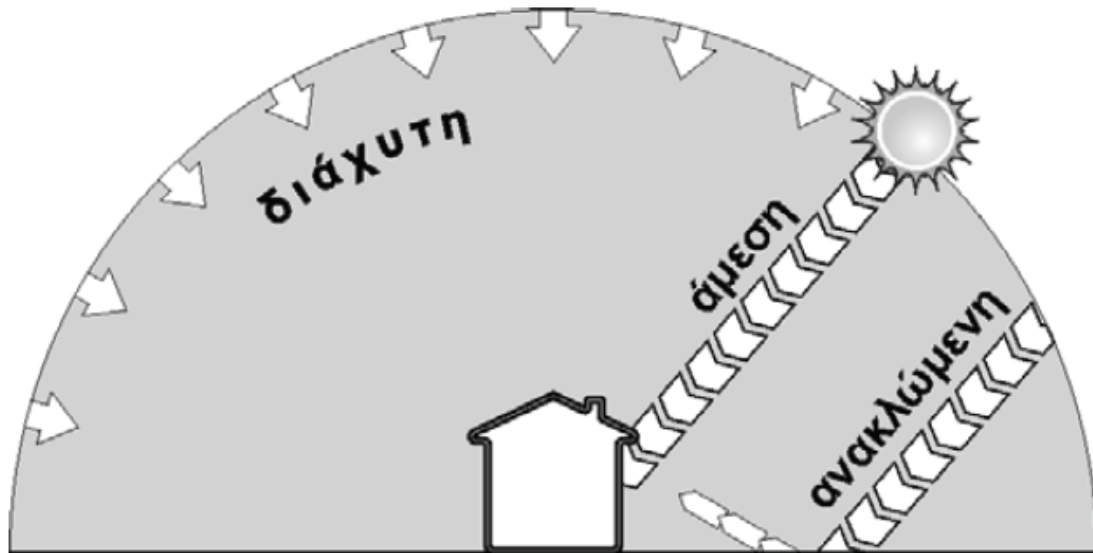
- Η τροπική ή διακεκαυμένη ζώνη. Αυτή απλώνεται γύρω στον Ισημερινό και φτάνει ως τις εύκρατες ζώνες. Ο ήλιος ρίχνει σχεδόν κάθετα τις ακτίνες του και δυο φορές το χρόνο τελείως κάθετα. Η ζώνη αυτή έχει μεγάλη βλάστηση, γιατί δέχεται μεγάλη θερμότητα και πολλές βροχές.
- Οι δυο εύκρατες ζώνες. Απλώνονται ανάμεσα στον τροπικό του Καρκίνου και στη βόρεια πολική ζώνη και ανάμεσα στον τροπικό του Αιγόκερω και στη νότια πολική ζώνη. Στις εύκρατες ζώνες η θερμοκρασία είναι μέτρια, το κλίμα ωραίο και υγιεινό και οι εποχές του χρόνου διαδέχονται η μια την άλλη.
- Οι δυο κατεψυγμένες ζώνες. Απλώνονται ανάμεσα στους πολικούς κύκλους και τους πόλους και διακρίνονται σε βόρεια και σε νότια. Οι ζώνες αυτές καλύπτονται από πάγους, οι εποχές περιορίζονται σε δυο (χειμώνας - καλοκαίρι) και στους πόλους έχουν 6 μήνες μέρα και 6 μήνες νύχτα.

2.5 Ηλιακή Γεωμετρία

Η G_T είναι η πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επίπεδο της Φ/B συστοιχίας. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης με αλλαγμένη διεύθυνση, αφού έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα και ανάκλαση από το έδαφος. Επομένως η διάχυτη ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης από όλο τον ουράνιο θόλο. Ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια. Η πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Ο υπολογισμός της G_T βασίζεται στις μετρήσεις της πυκνότητας ισχύος της οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας G , που έχουν ληφθεί σε μια περιοχή, λαμβάνοντας όμως υπόψη και το γεγονός ότι στις περισσότερες

περιπτώσεις η G_T δεν είναι ίση με την G , καθώς το επίπεδο της ΦΒ συστοιχίας δεν ταυτίζεται συνήθως με το οριζόντιο επίπεδο.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία.

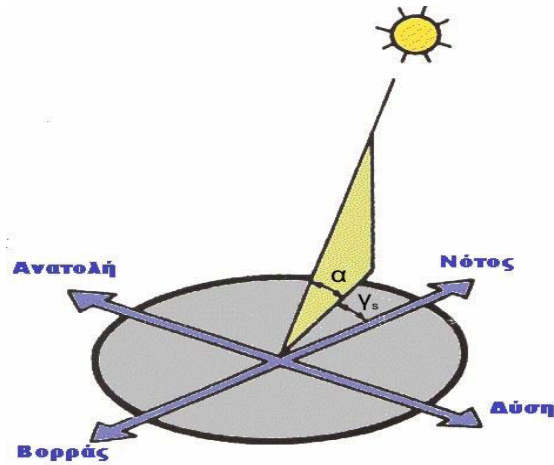


Εικόνα 7. Διάχυτη Άμεση και Ανακλώμενη ακτινοβολία

Βασικές αρχές ηλιακής γεωμετρίας.

1. **Γεωγραφικό πλάτος του τόπου ϕ :** Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εκφράζει τη γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό.
2. **Ύψος και αζιμούθιο ήλιου:** Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες : το ύψος του ήλιου (α) και το αζιμούθιο του ήλιου (γ).
 - Το ύψος του ήλιου (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον οριζοντα .
 - Το αζιμούθιο (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου. Ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *as summut*, που σημαίνει κατεύθυνση. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό

αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.

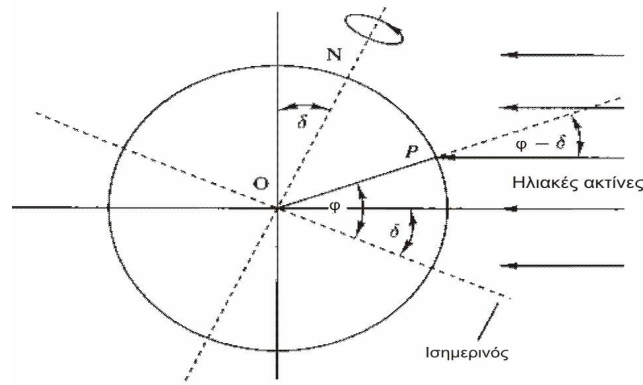


Εικόνα 8. Το ύψος και το Αζιμούθιο του Ηλίου

Η τιμή του αζιμούθιου είναι:

- Για νότιο προσανατολισμό $\gamma=0^\circ$
- Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.
- Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.

3. Απόκλιση του ήλιου δ : Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης (δ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του.



Εικόνα 9. Απόκλιση του Ηλίου-

Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Η απόκλιση του ήλιου δίνεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23.45 * \sin\left(\frac{360 * (284 - nd)}{365}\right)$$

όπου: nd η ημέρα του έτους $n=1,2,3,\dots,365$

4. Ηλιακή ώρα και ωρολογιακή ώρα

Για τους περισσότερους υπολογισμούς φωτοβολταϊκών συχνά ασχολούμαστε αποκλειστικά με την ηλιακή ώρα, όπου όλα μετρούνται σχετικά με το ηλιακό μεσημέρι (όταν ο ήλιος είναι στη γραμμή του γεωγραφικού μήκους).

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου χρειάζεται η τοπική ώρα, η οποία ονομάζεται ωρολογιακή ώρα. Υπάρχουν δύο διευθετήσεις που πρέπει να γίνουν προκειμένου να συνδεθεί η τοπική ωρολογιακή ώρα με την ηλιακή ώρα. Η πρώτη είναι η διευθέτηση του γεωγραφικού μήκους που έχει να κάνει με τον τρόπο με τον οποίο οι περιοχές του κόσμου διαιρούνται σε χρονικές ζώνες. Η δεύτερη διευθέτηση συνυπολογίζει τον ακανόνιστο τρόπο με τον οποίο η γη κινείται γύρω από τον ήλιο. Προφανώς, δεν

είναι πρακτικό να βάζουμε τα ρολόγια μας να δείχνουν μεσημέρι όταν ο ήλιος είναι στη γραμμή του γεωγραφικού μας μήκους καθώς η γη περιστρέφεται 15 μοίρες την ώρα (4 λεπτά ανά μοίρα), για κάθε μία μοίρα διαφορά στο γεωγραφικό μήκος μεταξύ δύο τοποθεσιών, τα ρολόγια που δείχνουν την ηλιακή ώρα θα έπρεπε να διαφέρουν 4 λεπτά. Η μόνη ώρα που τα δύο ρολόγια θα έδειχναν την ίδια ώρα θα ήταν αν το ένα ήταν ακριβώς στο βορρά και το άλλο ακριβώς στο νότο. Για να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες που εισέρχονται λόγω του γεωγραφικού μήκους, η γη διαιρείται σε 24 χρονικές ζώνες της μίας ώρας, με κάθε χρονική ζώνη ιδεατά να εκτείνεται σε γεωγραφικό μήκος 15 μοίρες. Βέβαια, τα γεωπολιτικά όρια περιπλέκουν τα όρια μεταξύ δύο ζωνών. Κάθε χρονική ζώνη ορίζεται από ένα μεσημβρινό τοπικής ώρας που τοποθετείται, ιδεατά, στο μέσο της ζώνης, με την αρχή αυτού του χρονικού συστήματος να περνά μέσω του Greenwich της Αγγλίας, σε γεωγραφικό μήκος 0 μοιρών. Η διόρθωση του γεωγραφικού μήκους μεταξύ της τοπικής ώρας και της ηλιακής ώρας βασίζεται στο χρόνο που χρειάζεται ο ήλιος για να πάει από το μεσημβρινό τοπικής ώρας στο γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή. Αν είναι ηλιακό μεσημέρι στο μεσημβρινό τοπικής ώρας, θα είναι ηλιακό μεσημέρι 4 λεπτά αργότερα για κάθε μοίρα που ο παρατηρητής είναι δυτικά αυτού του μεσημβρινού. Η δεύτερη διευθέτηση μεταξύ της ηλιακής ώρας και της τοπικής ωρολογιακής ώρας είναι το αποτέλεσμα της ελλειπτικής τροχιάς της γης, η οποία προκαλεί το μήκος μίας ηλιακής μέρας (από το ένα ηλιακό μεσημέρι στο επόμενο ηλιακό μεσημέρι) να μεταβάλλεται στη διάρκεια του έτους. Καθώς η γη γυρίζει γύρω από την τροχιά της, η διαφορά μεταξύ μίας μέρας 24 ωρών και μίας ηλιακής μέρας μεταβάλλεται ακολουθώντας μία εξίσωση που είναι γνωστή ως η Εξίσωση της Ώρας :

$$Es = 3.82 * (0.000075 - 0.001868 * \cos B - 0.032077 * \sin B - 0.014615 * \cos 2B - 0.04089 * \sin 2B)$$

5. Η τιμή της παραμέτρου **B** υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$B = \frac{360 * (nd - 1)}{365}$$

6. Η ηλιακή ώρα t_s υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$t_s = t_c - \left(\frac{L_{loc} - L_{st}}{15^\circ} \right) - E_s$$

όπου L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας εγκατάστασης και L_{st} είναι το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού που ορίζει τη ζώνη ώρας της τοποθεσίας.

7. Ωριαία γωνία του ήλιου ω του ήλιου ορίζεται ως η γωνιακή απόσταση του ήλιου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

$$\omega = (t_s - 12) * 15$$

8. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας θ

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση :

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta * \sin\varphi * \cos\beta - \sin\delta * \cos\varphi * \sin\beta * \cos\gamma - \cos\delta * \cos\varphi * \cos\beta * \cos\omega \\ & - \cos\delta * \sin\varphi * \sin\beta * \cos\gamma * \cos\omega - \cos\delta * \sin\beta * \sin\gamma * \sin\omega \end{aligned}$$

9. Ζενιθιακή γωνία του ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου (θ_z). Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη Senit που σημαίνει ευθεία οδός.

$$\cos\theta_z = \cos\varphi * \cos\delta * \cos\omega - \sin\varphi * \sin\delta$$

10. Ηλιακή σταθερά G_{sc}

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

$$G_{sc} = 1.367 \text{ kw/m}^2$$

11. Εξωγήινη κάθετη ακτινοβολία G_{0n}

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς G_{0n} (ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου):

$$G_{0n} = G_{sc} * \left(1 - 0.033 * \cos\left(\frac{360 * nd}{365}\right)\right)$$

όπου: nd η ημέρα του έτους $n=1,2,3,\dots,365$

12. Εξωγήινη οριζόντια ακτινοβολία G_o

Ο υπολογισμός της εξωγήινης οριζόντιας ακτινοβολίας G_0 (σε kW/m²), που ορίζεται ως η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια που βρίσκεται στο ανώτατο σημείο της γήινης ατμόσφαιρας, γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης:

$$G_0 = G_{0n} * \cos\theta_z = G_{sc} * \left(1 + 0.033 * \cos\left(\frac{360 * nd}{365}\right)\right) * \cos\varphi * \cos\delta * \cos\omega + \sin\varphi * \sin\delta$$

13. Υπολογισμός πυκνότητας ενέργειας της εξωγήινης ακτινοβολίας I_0

Ολοκληρώνοντας την εξίσωση για μια χρονική περίοδο μεταξύ των γωνιών ώρας ω_1 και ω_2 , που ορίζουν την αρχή και το τέλος της χρονικής περιόδου ($\omega_1 < \omega_2$), χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πυκνότητας ενέργειας της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας I_0 σε μια οριζόντια επιφάνεια στο ανώτατο σημείο της ατμόσφαιρας για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο:

$$I_0 = \frac{12}{\pi} * G_{0n} * \left[\cos\varphi * \cos\delta * (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) - \frac{\pi * (\omega_2 - \omega_1)}{180} * \sin\varphi * \sin\delta \right]$$

14. Ολική ακτινοβολία I

Η ποσότητα της οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας I που φτάνει στην επιφάνεια της γης μπορεί να διαιρεθεί σε δύο συνιστώσες: την άμεση ακτινοβολία I_b και τη διάχυτη ακτινοβολία I_d . Το άθροισμα της I_b και I_d μας δίνει την ολική ακτινοβολία I

$$I = I_b + I_d$$

15. Ωριαίος δείκτης αιθριότητας (K)

Οι μετρήσεις της οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας I λαμβάνονται στην επιφάνεια της γης. Απαιτείται λοιπόν ο υπολογισμός ενός δείκτη που προσδιορίζει το ποσό της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά διαπερνά την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια της γης. Με άλλα λόγια ωριαίος δείκτης αιθριότητας (K)

καλείται ο λόγος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο (I) προς την εκτός γήινης ατμόσφαιρας ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (I₀). Ο δείκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένα μέτρο της σχετικής διαπερατότητας της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία I.

$$K_t = \frac{I}{I_0}$$

16. Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία

Η ανάλυση της ολικής ακτινοβολίας σε άμεση και διάχυτη πραγματοποιείται μέσω της συσχέτισης του Erbs που προσδιορίζει την διάχυτη ακτινοβολία I_d ως συνάρτηση του δείκτη αιθριότητας K_t:

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0.09 * K_t & \text{για } K_t \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 * K_t - 4.388 * K_t^2 - 16.638 * K_t^3 - 12.336 * K_t^4 & \text{για } 0.22 < K_t \leq 0.80 \\ 0,165 & \text{για } K_t > 0.8 \end{cases}$$

17. Η άμεση ακτινοβολία υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$I_b = I - I_d$$

18. Πυκνότητα ενέργειας της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας I_t σε Φ/Β συστοιχία

Για τον υπολογισμό της πυκνότητας ενέργειας της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας I_t χρησιμοποιείται το μοντέλο HKDR. Το μοντέλο αυτό υποθέτει ότι η διάχυτη ακτινοβολία αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

- Μια ισότροπη συνιστώσα που προέρχεται από τον ορίζοντα. Ο προσδιορισμός της πρώτης συνιστώσας γίνεται με τη βοήθεια του δείκτη R_b ο οποίος δίνει το λόγο της άμεσης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια προς την άμεση ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

- Η δεύτερη συνιστώσα του μοντέλου HKDR περιγράφεται από το δείκτη ανισοτροπίας A_i , που είναι το μέτρο της ατμοσφαιρικής μετάδοσης της άμεσης ακτινοβολίας:

$$A_i = \frac{I_b}{I_0}$$

- Η τρίτη συνιστώσα του μοντέλου HKDR περιγράφεται από τον παράγοντα f , και βασίζεται στο γεγονός ότι περισσότερη ποσότητα διάχυτης ακτινοβολίας προέρχεται από τον ορίζοντα παρά από το υπόλοιπο μέρος του ουράνιου θόλου. Η τιμή του παράγοντα f δίνεται από τη σχέση:

$$f = \frac{\sqrt{I_b}}{\sqrt{I}}$$

19. Η τελική εξίσωση του μοντέλου HKDR είναι η ακόλουθη:

$$I_T = (I_b - I_d * A_i) * R_b - I_d * (1 - A_i) * \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) * \left[1 - f * \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] - I * \rho_g * \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

όπου ρ_g είναι η διάχυτη ανακλαστικότητα του εδάφους η albedo. Τιμές του συντελεστή ανάκλασης ρ_g δείχνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Τιμές του συντελεστή ανάκλασης ρ_g

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χόμα	0,08
Πράσινος αγρός	0,15
Βραχώδη επιφάνεια	0,20
Επιφάνεια παλαιού τοιμέντου	0,24
Επιφάνεια νέου τοιμέντου	0,30
Χιόνι	0,60

20. Πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας G_T

Η τιμή της I_T που προκύπτει και αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα διάρκειας Δt (σε h) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας G_T που προσπίπτει στο επίπεδο της Φ/β συστοιχίας :

$$G_T = \frac{I_T}{\Delta t}$$

Η ανάλυση που προηγήθηκε αφορά Φ/β συστοιχίες μόνιμα στερεωμένες σε βάση που δεν μετακινείται.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την

κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη (β) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση.

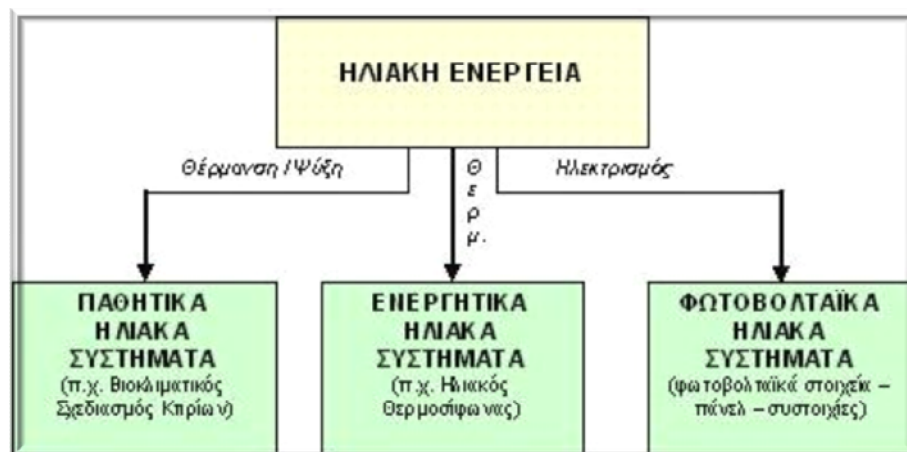
Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκά Συστήματα

3.1 Εισαγωγή στα Φωτοβολταϊκά

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών:

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα,
- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα,
- Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα.

Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 10. Κατηγορίες εφαρμογών εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας

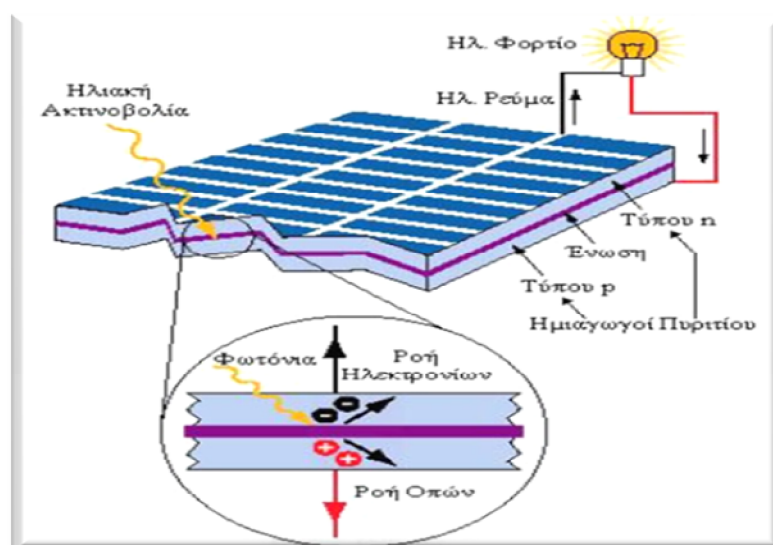
Στρεφόμενοι λοιπόν στην ηλιακή ενέργεια έχουμε μπορούμε να καταλάβουμε ότι καλύπτουμε και την ανάγκη να προστατεύσουμε το περιβάλλον. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο ηλεκτρισμού και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου

του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι, ως γνωστόν, το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελεί διέξοδο για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν σήμερα τον πλανήτη. Επιπλέον, η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον.

3.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Η εκμετάλλευση μόνο του 0,05% της ηλιακής ενέργειας θα ήταν αρκετή να καλύψει κάθε ενεργειακή ανάγκη της ανθρωπότητας. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή του σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι σήμερα δυνατή μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Σήμερα: Η έρευνα πάνω στην βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών είναι συνεχής και εντεινόμενη. Οι εμπορικά διαθέσιμες εφαρμογές αποτελούνται πλέον από κυψέλες, των οποίων ο βαθμός απόδοσης μπορεί να ξεπερνάει ακόμη και το 20%, με κόστος σημαντικό μικρότερο από ότι στο παρελθόν.



Εικόνα 11. Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Φαινομένου

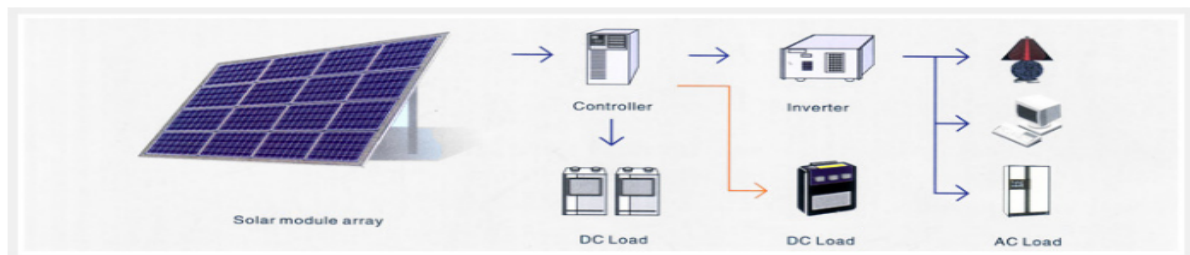
Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα καθώς αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων. Σ’ αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

3.3 Ορολογία

Σε αυτό το σημείο θα ήταν καλό να δοθεί κάποια βασική ορολογία που χρειάζεται για να κατανοηθεί πως δουλεύει και τι προσφέρει η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών.

- **Φωτοβολταϊκό φαινόμενο** ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Πολλές φορές, για ευκολία, χρησιμοποιείται η σύντμηση Φ/Β για τη λέξη “φωτοβολταϊκό” (photovoltaic - PV).
- **Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell):** Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή φωτοβολταϊκή κυψέλη.
- **Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module):** Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.
- **Φωτοβολταϊκό πανέλο (PV panel):** Ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.

- **Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array):** Μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πανέλα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.
- **Φωτοβολταϊκή γεννήτρια (PV generator):** Το τμήμα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που περιέχει φωτοβολταϊκά στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.
- **Αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter):** Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.
- **Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller):** Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών .
- **kW (κιλοβάτ):** μονάδα ισχύος [1 kW = 1.000 Watt, 1 MW (μεγαβάτ) = 1.000 kW].

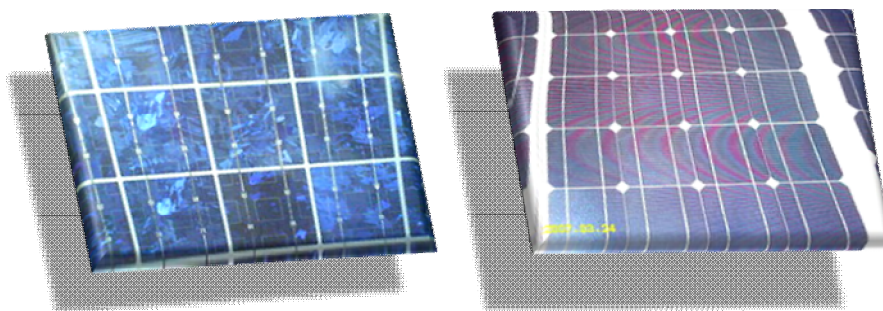


Εικόνα 12. Αυτόνομο Φ/Β Σύστημα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

3.4 Τεχνολογία

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.



Εικόνα 13. Πολυκρυσταλλικό - Μονοκρυσταλλικό Φωτοβολταϊκό πάνελ

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Η κατασκευή μιας γεννήτριας κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει και από ερασιτέχνες, μετά από την προμήθεια των στοιχείων. Το κόστος είναι απίθανο να είναι χαμηλότερο από την αγορά έτοιμης γεννήτριας, καθώς η προμήθεια ποιοτικών στοιχείων είναι πολύ δύσκολη. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές –οι αντιστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος(AC).

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης, η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 - 19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού,

υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη(solar tracker). Στα φωτοβολταϊκά πάρκα πολλές φορές συνηθίζεται η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η άμεση ακτινοβολία προσπίπτει στα πάνελ κάθετα με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αλλά συγκριτικά με τα σταθερά συστήματα έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης καθώς έχουν κινητά μέλη.

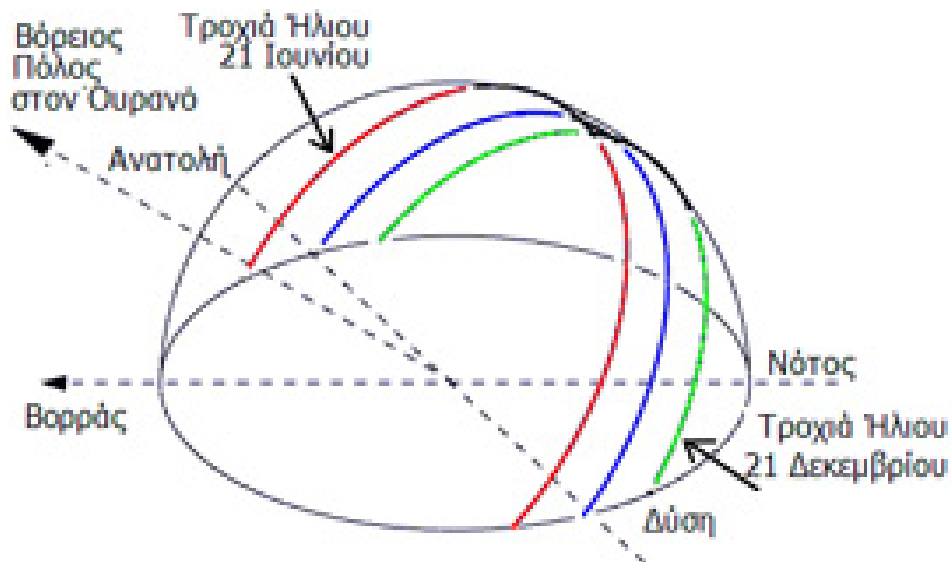
Υπάρχουν 3 βασικά είδη τέτοιων συστημάτων:

- Παρακολούθηση της τροχιάς στον κάθετο άξονα (vertical one axis tracker) (Μικρή αύξηση απόδοσης)
- Παρακολούθηση της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα (horizontal one axis tracker) (Μεσαία αύξηση απόδοσης)
- Παρακολούθηση της τροχιάς και στους δύο άξονες (dual axis tracker) (Μέγιστη αύξηση απόδοσης)

3.5 Κλίση Φ/Β Συστήματος

Η κλίση της Φ/Β συστοιχίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την απόδοση. Για να έχει την μέγιστη απόδοση το σύστημα θα πρέπει η ηλιακές ακτίνες να προσπίπτουν κάθετα στο πάνελ. Για να το επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να εγκατασταθούν συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Αυτό όμως πέρα από τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν είναι δυνατό σε κάθε περίπτωση. Η κλίση λοιπόν που θα επιλέξουμε επηρεάζεται από την τροχιά του ήλιου, άρα από την εποχές και από τα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής που γίνεται η εγκατάσταση. Όσον αφορά την εποχή, βάση της τροχιάς που

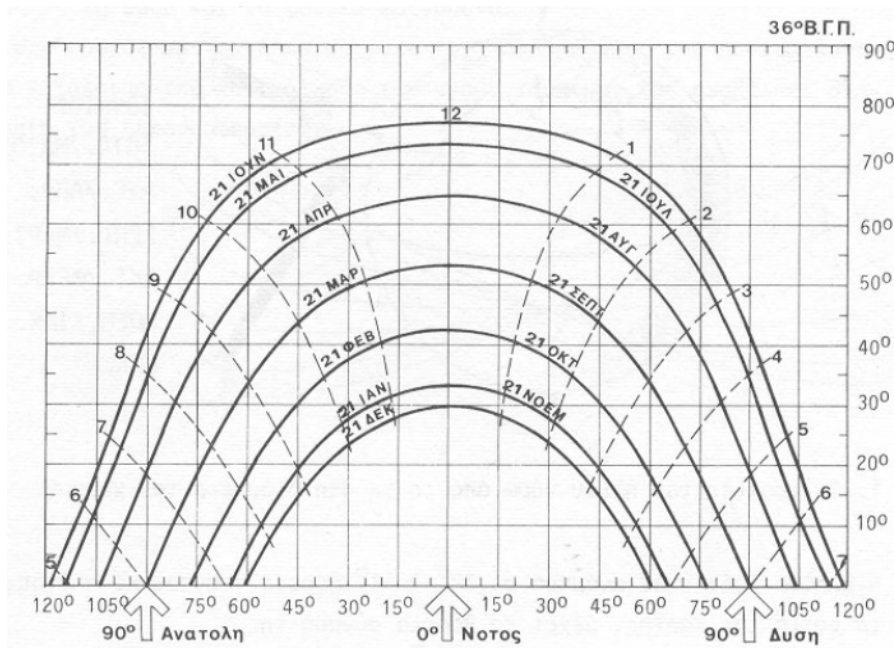
ακολουθεί ο ήλιος (Εικόνα 14), ο οποίος το καλοκαίρι είναι ψηλότερα και τον χειμώνα χαμηλότερα, έχει ως αποτέλεσμα η όσο μικρότερη είναι η κλίση ως ένα σημείο, να δίνει μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, ενώ όσο η μεγαλύτερη είναι η κλίση να αυξάνει την παραγωγή το χειμώνα. Ο γενικός κανόνας είναι ότι η βέλτιστη κλίση της Φ/Β συστοιχίας είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής - 10° περίπου. Η κλίση αυτή δηλαδή είναι η κλίση στην οποία σε βάθος ενός χρόνου θα μας αποφέρει μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το σύστημα. Όσο η κλίση αυτή αυξάνεται ή μειώνεται η απόδοση μειώνεται. Παρόλα αυτά, κλίση + - 10° σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος έχει μικρή σχετικά επίδραση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 14. Η τροχιά του Ηλίου στο Έτος.

3.6 Επίδραση της Σκίασης στα Φ/Β Συστήματα

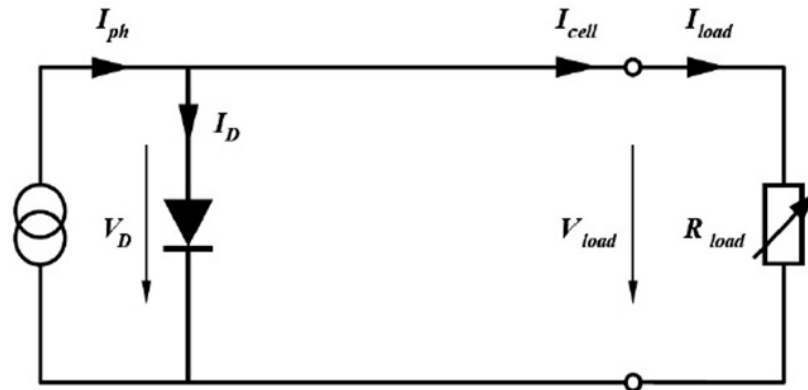
Σημαντικός περιοριστικός παράγοντας στον υπολογισμό της διαθέσιμης επιφάνειας για εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων για κάθε επιμέρους όψη του κτιρίου, και κατ' επέκταση τη συνολική, αποτελεί η σκίαση τους. Σκίαση μπορούν να προκαλέσουν «εμπόδια» όπως γειτονικά κτίρια, δέντρα, μέρη του ίδιου του κτιρίου ή ακόμη και γειτονικά ΦΒ πλαίσια. Κατά την εγκατάσταση θα πρέπει να μελετηθεί και η γύρω περιοχή, για μελλοντικά στοιχεία που μπορούν να αποφέρουν σκίαση στα Φ/Β πλαίσια. Αυτό είναι σε διπλανά οικοπέδα, κάποιο δέντρο, που δεν ανήκει σε αυτόν που κάνει την εγκατάσταση, και διαχρονικά θα αυξηθεί πολύ το ύψος του, η ακόμα και την περίπτωση που κάποιος έχει την δυνατότητα να χτίσει ψηλότερο κτίριο και να δημιουργήσει σκιά. Η σκιά μειώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό την συνολική ηλιακή ακτινοβολία αλλά και προκαλεί προβλήματα στην λειτουργία των ΦΒ πλαισίων. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο κατά τους χειμερινούς μήνες κατά τους οποίους το ηλιακό ύψος είναι μικρό. Ο υπολογισμός των επιφανειών που σκιάζονται μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση του ηλιακού χάρτη (Εικόνα 15) με την χρήση λογισμικού προσομοίωσης.



Εικόνα 15. Ηλιακός Χάρτης

3.7 Μοντελοποίηση Φωτοβολταϊκών Κελιών

Το απλούστερο μοντέλο προσομοίωσης ενός φωτοβολταϊκού κελιού είναι αυτό που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

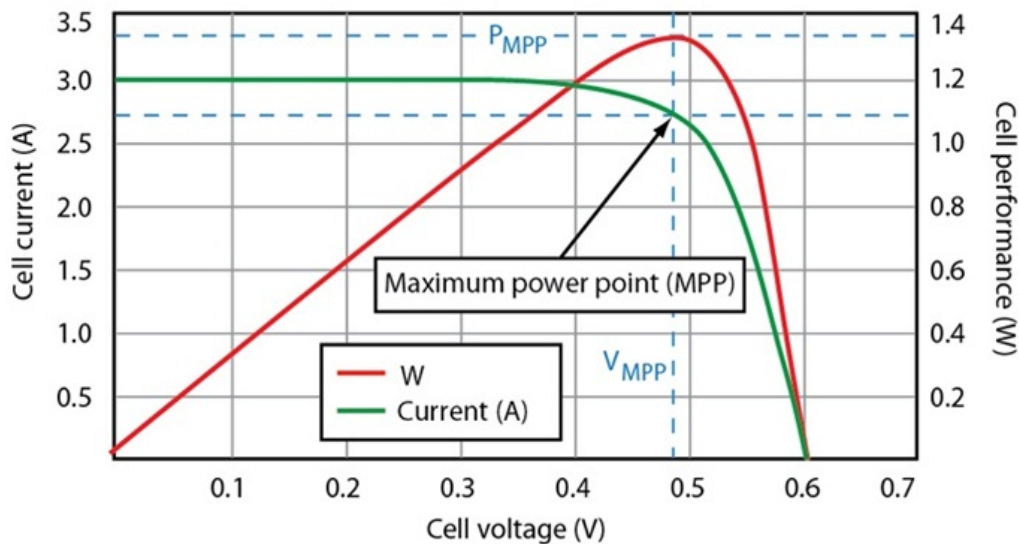
όπου:

- I_{cell} : ρεύμα κελιού
- I_{ph} : φωτόρευμα, ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας
- I_D : ρεύμα διόδου
- I_o : ρεύμα διαρροής της διόδο
- q : φορτίο ηλεκτρονίου
- V : τάση στα άκρα της διόδο
- k : σταθερά Boltzmann
- T : θερμοκρασία σε Kelvin

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η παραγωγή ρεύματος σε ένα φωτοβολταϊκό κελί είναι άμεσα εξαρτώμενη από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (I_{cell}) και τη θερμοκρασία (T).

3.8 Καμπόλες Λειτουργίας I-V , P-V

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια τυπική καμπύλη I-V για ένα Φ/Β στοιχείο πυριτίου, καθώς και η αντίστοιχη καμπύλη P-V του Φ/Β στοιχείου που προκύπτει, όπου P είναι η ισχύς που αποδίδεται.



Διάγραμμα 1 Καμπύλη I-V και P-V

Οι καμπόλες αυτές δίνονται για συγκεκριμένες συνθήκες δοκιμών, γνωστές ως STC (Standard Test Conditions), οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ακτινοβολίας $1000\text{W}/\text{m}^2$, θερμοκρασία κελιού 25°C και μάζα αέρα 1,5 (παράμετρος που σχετίζεται με τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου της ατμόσφαιρας). Πολλές φορές δίνονται οι καμπόλες και σε συνθήκες NOCT (Normal Operating Cell Temperature), δηλαδή σε κατάσταση λειτουργίας των κελιών σε κανονική θερμοκρασία κελιού. Οι συνθήκες αυτές αντιστοιχούν σε ένταση ακτινοβολίας $800\text{W}/\text{m}^2$, θερμοκρασία κελιού $45\text{-}48^\circ\text{C}$, θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C , μάζα αέρα 1,5 και ταχύτητα ανέμου $1\text{m}/\text{sec}$. Οι συνθήκες αυτές προσομοιώνουν πιο ρεαλιστικά τη λειτουργία των φ/β κελιών.

Τα χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης I-V είναι τα ακόλουθα:

Σημείο ανοιχτού κυκλώματος:

Στην κατάσταση αυτή, το φ/β κελί (ή πάνελ) έχει τα άκρα του ανοιχτοκυκλωμένα. Η τάση που επικρατεί στα άκρα του είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος ($V_{oc}=0,6V$). Στην κατάσταση αυτή το ρεύμα και η ισχύς προς το δίκτυο είναι μηδενικά.

Σημείο βραχυκύκλωσης:

Στην κατάσταση αυτή, το φ/β κελί (ή πάνελ) έχει τα άκρα του βραχυκυκλωμένα. Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I_{sc}=3A$). Στην κατάσταση αυτή η τάση και η ισχύς προς το δίκτυο είναι μηδενικά.

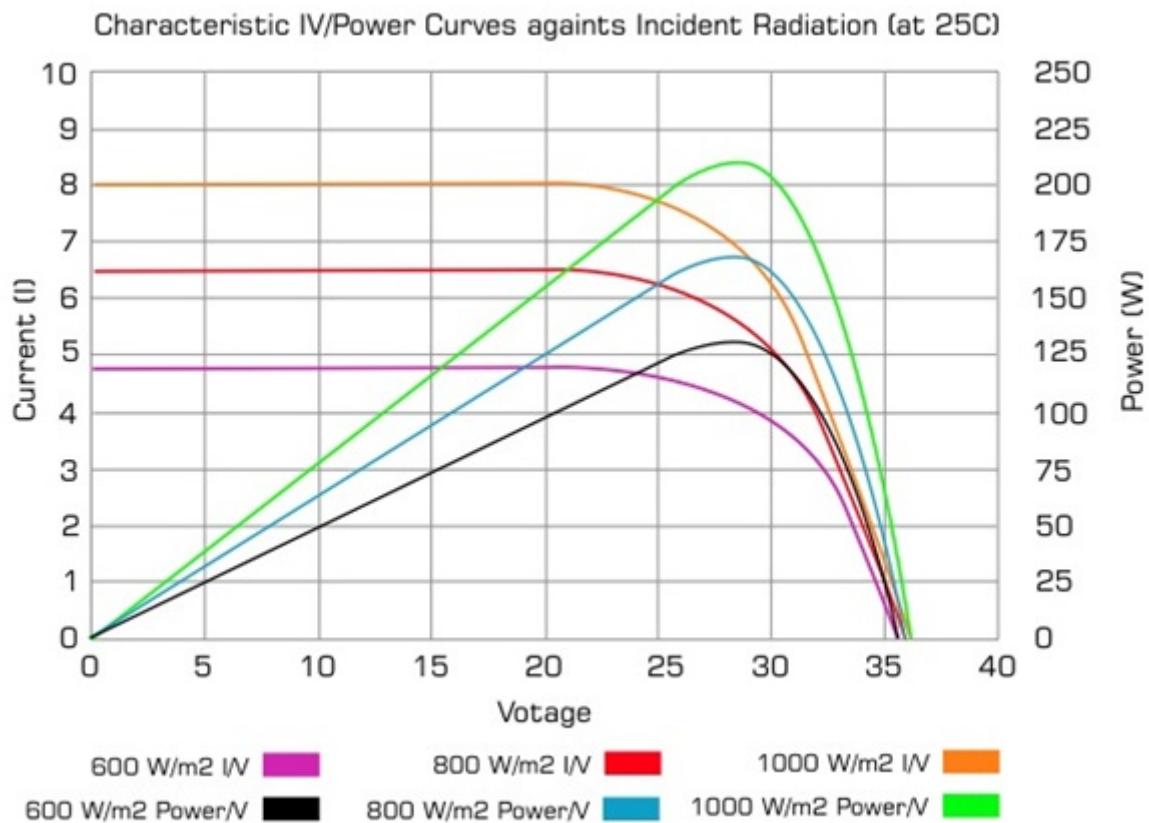
Σημείο μέγιστης παραγωγής ισχύος (MPP):

Στην κατάσταση αυτή, το φ/β κελί (ή πάνελ) παράγει τη μέγιστη δυνατή ισχύ σε συγκεκριμένες συνθήκες. Το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα είναι το $I_{mpp}=2,7A$ και τη τάση στα άκρα του είναι η $V_{mpp}=0,48V$. Η ισχύς προς το δίκτυο είναι $P_{mpp}=3,4W$.

3.8.1 Επίδραση Θερμοκρασίας και Έντασης Ακτινοβολίας - Βέλτιστο Σημείο Λειτουργίας (MPP)

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη παραγωγή ισχύος στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται ο τρόπος που μεταβάλλονται οι καμπύλες λειτουργίας στη μεταβολή αυτών των παραγόντων.

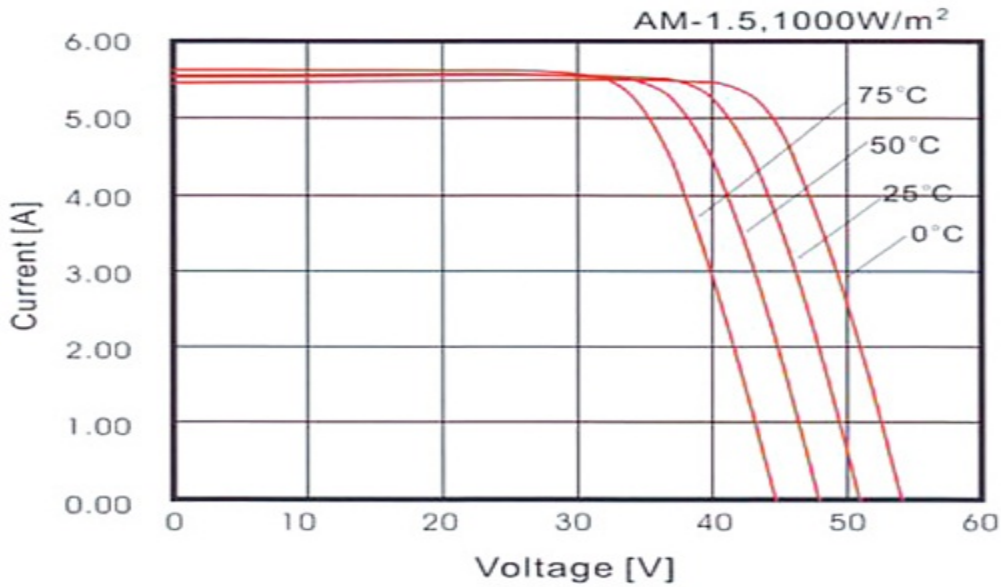
Επίδραση της έντασης ακτινοβολίας



Διάγραμμα 2 Ένταση της ακτινοβολίας

Η εντονότερη ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ λόγω του υψηλότερου ρεύματος MPP. Η τάση ανοικτού κυκλώματος και η τάση MPP παραμένει σχεδόν αμετάβλητη.

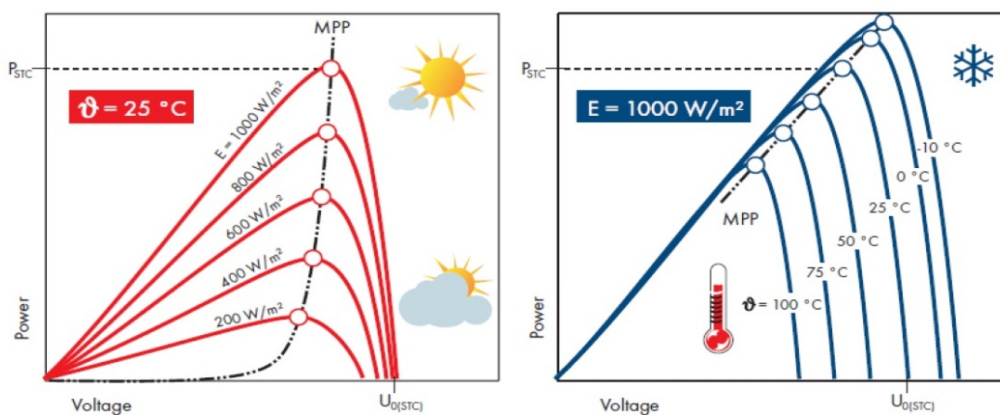
Επίδραση της θερμοκρασίας



Διάγραμμα 3. Καμπύλες A - V

Η υψηλότερη θερμοκρασία προκαλεί αύξηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος και μικρότερη παραγόμενη ισχύ λόγω της χαμηλότερης τάσης MPP. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης και το ρεύμα MPP παραμένουν σχεδόν αμετάβλητα. Επομένως η βέλτιστη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σε ηλιόλουστες ημέρες με χαμηλές θερμοκρασίες.

Παρακάτω απεικονίζεται η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στο MPP.



Διάγραμμα 4 Έπιδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στο MPP

Όπως παρατηρούμε, αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και μείωση της θερμοκρασίας αυξάνουν την τάση MPP.

3.8.2 Παρακολούθηση σημείου βέλτιστης λειτουργίας

Η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν στα τεχνικά φυλλάδια τη μέγιστη ισχύ (MPP) στις πρότυπες συνθήκες δοκιμής (STC). Σε οποιαδήποτε άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η παρακολούθηση του σημείου βέλτιστης λειτουργίας γνωστή και ως MPPT (Maximum Power Point Tracking) αναφέρεται στην τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας (τάση-ρεύμα) των φωτοβολταϊκών πάνελ ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ.

3.9 Ισχύς εξόδου Φ/Β συστοιχίας

Γνωρίζοντας την ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα επίπεδο ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή, για δεδομένο τύπο φωτοβολταϊκών να υπολογιστεί η ισχύς εξόδου μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας για διάφορες τιμές κλήσης Φ/Β μέσω του τύπου:

$$P_{PV} = f_{PV} \cdot P_{STC} \cdot \frac{G_T}{G_{STC}} \cdot (1 - (T_c - T_{STC}) \cdot C_T)$$

όπου

- f_{PV} είναι ο συνολικός συντελεστής απωλειών της φ/β συστοιχίας,
- P_{STC} είναι η ονομαστική ισχύς της φ/β συστοιχίας(σε kWp) κάτω από ΠΣΔ,
- G_T είναι η πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επίπεδο της Φ/Β συστοιχίας
- G_{STC} είναι η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από ΠΣΔ
- T_c είναι η θερμοκρασία σε C° των φ/β στοιχείων,
- T_{STC} η θερμοκρασία κάτω από ΠΣΔ(25C°)
- C_T είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής των φ/β στοιχείων ο οποίος δείχνει τον τρόπο που μεταβάλλεται η απόδοση του φ/β στοιχείου σε σχέση με τη θερμοκρασία λειτουργίας του.

Στους περισσότερους τύπους Φ/Β στοιχείων παρατηρείται μείωση της απόδοσης τους όταν η θερμοκρασία τους αυξάνεται. Ο θερμοκρασιακός συντελεστής των τριών πιο συνηθισμένων τύπων Φ/Β πλαισίων είναι:

- μονοκρυσταλλικού πυριτίου (-0.004/°C)
- πολυκρυσταλλικού πυριτίου (-0.004/°C)

- άμορφου πυριτίου (-0.0011/°C)

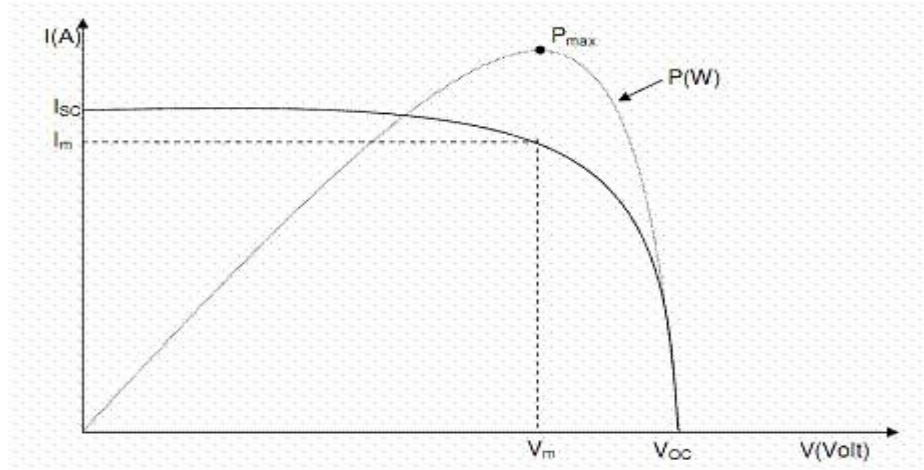
Ο συνολικός συντελεστής απωλειών f_{rn} προσμετρά τις διαφοροποιήσεις ανάμεσα στην ονομαστική επίδοση και την πραγματική επίδοση ενός ϕ/β πλαισίου, και λαμβάνει υπόψη απώλειες όπως η κάλυψη του πλαισίου από σκόνη και η ηλικία του πλαισίου. Τυπικές τιμές συντελεστών απωλειών για το ϕ/β πλαίσιο είναι 0.90 λόγω κάλυψης του πλαισίου από σκόνη, 0.90 λόγω γήρανσης και 0.99 λόγω λοιπών απωλειών, επομένως η τιμή του f_{rn} που θεωρείται στην παρούσα διατριβή λαμβάνεται ίση με 0.80 που είναι ίση με το γινόμενο των τριών παρακάτω συντελεστών. Η θερμοκρασία T_c μπορεί να υπολογιστεί από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα T_a (σε °C) και την πυκνότητα ισχύος της οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας G (σε kW/m^2) χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$T_c = T_a - \frac{(NOCT - 20)}{0.8} * G$$

όπου NOCT είναι η ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου. Η NOCT αποτελεί τη συμβατική θερμοκρασία λειτουργίας ενός ΦΒ στοιχείου σε συνθήκες ανοιχτοκύκλωσης, υπό πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας ίση με 0.8 kW/m^2 θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα 20°C και ταχύτητα ανέμου 1 m/s. Τυπική τιμή της NOCT είναι οι 48°C.

3.10 Αντιστροφείς

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Διάγραμμα 5 Καμπύλη I-V

όπως μπορεί να παρατηρηθεί, υπάρχει ένα σημείο (V_m, I_m) στο οποίο η ισχύς (P) του φωτοβολταϊκού στοιχείου μεγιστοποιείται. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος (MPP). Ύστερα από την φωτοβολταϊκή μετατροπή το ρεύμα βρίσκεται σε μορφή συνεχούς ρεύματος. Η μετατροπή του ρεύματος σε εναλλασσόμενο, έτσι ώστε να παραληφθεί από τη ΔΕΗ, γίνεται μέσω του αντιστροφέα (inverter).

Ο αντιστροφέας είναι η καρδιά ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Είναι η συσκευή που θα μετατρέψει τη συνεχή τάση των φωτοβολταϊκών πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V/50Hz. Όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται μέσω των αντιστροφέων στο δίκτυο. Κατά συνέπεια έχει ιδιαίτερη σημασία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση.

Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή τους απόδοση (ακόμα και σε χαμηλή ισχύ εισόδου), το μεγάλο εύρος θερμοκρασιακής λειτουργίας (-25°C έως $+60^{\circ}\text{C}$), και ο υψηλός βαθμός προστασίας τους από σκόνη και υγρασία (τοπική τιμή: IP65). Κατά την τοποθέτηση των αντιστροφέων 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.

3.10.1 Βαθμός απόδοσης αντιστροφέα

Ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εξόδου (AC) προς την ισχύ εισόδου (DC) του αντιστροφέα. Εξαρτάται από την ισχύ και την τάση λειτουργίας του αντιστροφέα.

Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ. Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής: απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα.

Για παράδειγμα αν υποθεθεί ότι η μέση παραγωγή σε μία τοποθεσία είναι 1.300kWh/kWp το έτος τότε η μεταβολή κατά 1% (επί της ονομαστικής ισχύος) των απωλειών σε ένα Φ/Β σταθμό 100kWp, θα σήμαινε απώλειες εσόδων της τάξης των 585€/έτος. Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης, θεωρώντας ίδιο ποσό φόρτισης του αντιστροφέα, είναι η ύπαρξη ή μη μετασχηματιστή απομόνωσης.

Διαχωρισμός Αντιστροφέων

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς
- Τριφασικούς αντιστροφείς

Η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε:

- Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
- Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless (TL) inverters)

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αντιστροφέα είναι αυτός της απομόνωσης της DC πλευράς η οποία συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά πάνελ με την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Αντιστροφείς χωρίς γαλβανική απομόνωση (χωρίς μετασχηματιστή) δημιουργούν αυξημένες απαιτήσεις σχετικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών. Επιπλέον, ορισμένοι τύποι πάνελ, πχ. πάνελ thin film, επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση αντιστροφέων με μετασχηματιστή απομόνωσης.

Ωστόσο οι αντιστροφείς με μετασχηματιστή εμφανίζουν δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Το κυριότερο από αυτά είναι ότι εμφανίζουν αυξημένες απώλειες, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 2 - 4%. Επιπλέον, οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν αυξημένο κόστος ανά μονάδα ισχύος σε σχέση με τους αντιστροφείς που δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης.

3.10.2 Προδιαγραφές Αντιστροφών

Η ΔΕΗ θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για τους αντιστροφείς απαιτώντας την ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο αυτές τηρούνται.

Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν:

- Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφών: τα όρια της τάσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το -20% έως +15%, ενώ τα όρια συχνότητας είναι +/- 0,5Hz για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
- Την Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
- Την Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126. Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding) αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου το οποίο διασυνδέεται με φωτοβολταϊκά συστήματα και που έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία του δικτύου της ΔΕΗ. Στην περίπτωση αυτή, ο φωτοβολταϊκός σταθμός λειτουργεί ως νησίδα παραγωγής ενέργειας και αν οι αντιστροφείς παραμένουν συνδεδεμένοι εγκυμονούν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν να εκτελεί εργασίες στο σημείο σύνδεσης ή και για τον ίδιο τον εξοπλισμό από μεταβατικά φαινόμενα κατά την αυτόματη ή χειροκίνητη επαναφορά του δικτύου. Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης,

συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανασυνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

3.10.3 Αντιστροφείς και Φωτοβολταϊκά

Κατά τη σχεδίαση του συστήματος απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη συνεργασία μεταξύ της Φ/Β συστοιχίας και του ηλεκτρονικού αντιστροφέα. Ο αντιστροφέας απαιτεί στην είσοδό του ένα συγκεκριμένο εύρος για την τάση λειτουργίας, έχοντας ένα ανώτατο όριο τάσης εισόδου. Το ανώτατο όριο δεν πρέπει να υπερβαίνεται, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος καταστροφής του αντιστροφέα.

Συνεπώς, ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που μπορούν να συνδεθούν εν σειρά (στοιχειοσειρά) υπολογίζεται έτσι ώστε να μην υπερβαίνονται τα όρια αυτά, σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας.

Η τάση ενός Φ/Β πλαισίου εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τη θερμοκρασία λειτουργίας του. Οι τιμές τάσης, ρεύματος και ισχύος που δίνονται από τον κατασκευαστή, αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες δοκιμών (S.T.C). Σημειώνεται ότι η θερμοκρασία στην οποία διενεργήθηκαν οι μετρήσεις (του κατασκευαστή) είναι 25°C. Κατά συνέπεια τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων πρέπει να διορθωθούν (αναχθούν) στις ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες λειτουργίας του Φ/Β συστήματος.

Αναλυτικότερα, από την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων υπολογίζεται η μέγιστη τιμή της τάσης των αλυσίδων και από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων καθορίζεται η μέγιστη τιμή του ρεύματος των παράλληλων αλυσίδων (κλάδων).

Ο μέγιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων εν σειρά υπολογίζεται έτσι ώστε η συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος της συστοιχίας στη μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία

λειτουργίας, να μην υπερβαίνει το ανώτατο όριο τάσης εισόδου του αντιστροφέα. Για τις πεδινές περιοχές της Ελλάδος ως ελάχιστη θερμοκρασία μπορεί να ληφθεί η τιμή -5°C ή -10°C (θερμοκρασία λειτουργίας ενεργού υλικού του Φ/Β πλαισίου). Συγχρόνως πρέπει να ελεγχθεί και η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου, η οποία ομοίως πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση ανοικτού κυκλώματος της στοιχειοσειράς στην μικρότερη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, ώστε να μην προκύψει πρόβλημα στη μόνωση του Φ/Β πλαισίου.

Ο ελάχιστος αριθμός Φ/Β πλαισίων εν σειρά ορίζεται έτσι ώστε η συνολική τάση βέλτιστης λειτουργίας της συστοιχίας στη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία λειτουργίας να υπερβαίνει την ελάχιστη τάση του εύρους εισόδου του αντιστροφέα ώστε αυτός να ενεργοποιείται. Αν ο κατασκευαστής παρέχει μόνο την τιμή του θερμοκρασιακού συντελεστή για την τάση ανοικτού κυκλώματος ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$), τότε η ίδια τιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την τάση στο σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος του Φ/Β πλαισίου, χωρίς σημαντικό σφάλμα. Αν από την εν σειρά σύνδεση των Φ/Β πλαισίων δεν προκύπτει ισχύς κοντά στην ονομαστική ισχύ του αντιστροφέα, θα πρέπει να συνδεθούν περισσότεροι παράλληλοι κλάδοι (αποδεκτού αριθμού εν σειρά πλαισίων) ώστε η ισχύς της Φ/Β συστοιχίας να είναι κοντά στην ονομαστική ισχύ του αντιστροφέα.

Το ρεύμα λειτουργίας των παράλληλων κλάδων θα πρέπει να είναι χαμηλότερο από το μέγιστο όριο ρεύματος εισόδου του αντιστροφέα. Η συνολική ισχύς της Φ/Β συστοιχίας μπορεί και να υπερβαίνει την ονομαστική ισχύ του μετατροπέα. Για τις συνθήκες της Ελλάδας συνιστάται η ονομαστική ισχύς της Φ/Β συστοιχίας να μην υπερβαίνει το 110% της ονομαστικής ισχύος του αντιστροφέα.

Τέλος, ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν είναι η συμβατότητα μεταξύ των τύπων των Φ/Β και του αντιστροφέα που σχετίζεται με την απαίτηση ή όχι για γείωση της συστοιχίας στην πλευρά του DC. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένοι τύποι Φ/Β πλαισίων απαιτούν σύμφωνα με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές

γείωση είτε του αρνητικού (Thin-film) είτε του θετικού (Back contact) πόλου. Η γείωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε απευθείας, είτε μέσω μεγάλης αντίστασης και αποσκοπεί στην αποφυγή¹⁶ λειτουργικών προβλημάτων που εμφανίζουν οι παραπάνω τύποι πλαισίων όταν παραμένουν αγείωτα (προβλήματα διάβρωσης και υποβάθμισης της απόδοσης). Κατά συνέπεια σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να αποφεύγεται χρήση αντιστροφών χωρίς γαλβανική απομόνωση, λόγω εμφάνισης ρευμάτων διαρροής, εκτός αν πιστοποιείται από τον κατασκευαστή του αντιστροφέα ότι ο επιλεγμένος τύπος αντιστροφέα είναι κατάλληλος για χρήση με τα πλαίσια που έχουμε επιλέξει.

Λόγος ισχύος αντιστροφέα - Φ/Β πάρκου (ΛΙ) ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος εισόδου του αντιστροφέα προς την ονομαστική ισχύ του Φ/Β. Για εγκαταστάσεις με βέλτιστη κλίση Φ/Β, το εύρος του ΛΙ είναι συνήθως 95%-115% (οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε Φ/Β συστήματα με trackers). Χρειάζεται να τονιστεί ότι ο ΛΙ δεν αρκεί για τον χαρακτηρισμό μιας οποιασδήποτε Φ/Β εγκατάστασης. Για παράδειγμα, για Φ/Β πλαίσια που είναι τοποθετημένα σε κατακόρυφους τοίχους (μακριά δηλαδή από τη βέλτιστη κλίση), ο ΛΙ μπορεί να παίρνει χαμηλότερες τιμές, ακόμα και μικρότερες από 80%.

3.11 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά πάρκα ή συστήματα, με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) (grid connected), όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και αφορούν κυρίως επενδύσεις.
- Ηλιακές Στέγες, διασυνδεδεμένες με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο, και ο οικιακός

καταναλωτής πληρώνεται για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημά του.

- Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, μικρά ή μεσαίου μεγέθους για οικιακές και βιοτεχνικές εφαρμογές ή ειδικών προδιαγραφών και απαιτήσεων για επαγγελματική χρήση.
- Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα, δηλαδή φωτοβολταϊκό σύστημα σε συνδυασμό με γεννήτρια πετρελαίου - ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z), ανεμογεννήτρια ή και με το κεντρικό δίκτυο.

Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.

Όλα τα φωτοβολταϊκά μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες ελάχιστη συντήρηση

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ένα kW φωτοβολταϊκών αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή περίπου 100 δέντρα για να απορροφήσουν αυτή την ποσότητα CO₂. Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1.300 κιλά CO₂

ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο. Επιπλέον, η υποκατάσταση ρυπογόνων καυσίμων από φωτοβολταϊκά συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κλπ). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Κεφάλαιο 4 : Νομικό πλαίσιο και προϋποθέσεις

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζεται συνοπτικά η νομοθεσία που αφορά το Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φ/Β συστημάτων έως 10 kWp σε κτιριακές εγκαταστάσεις. (ΚΥΑ 12323/ ΓΓ175 / 2009 (ΦΕΚ 1079B / 4-6-2009) και Φ1 / 18513 / 2012 (ΦΕΚ 1557B / 22-9-2010) και (ΦΕΚ 2317B/ 10-8-2012)).

4.1 Γενικά στοιχεία:

- Το Πρόγραμμα αφορά όλη την Επικράτεια. Η μέγιστη ισχύς των ΦΒ συστημάτων ανά εγκατάσταση είναι :
 - 10 kWp για την ηπειρωτική χώρα, τα διασυνδεδεμένα με το σύστημα νησί και την Κρήτη
 - 5 kWp για τα υπόλοιπα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- Το ΦΒ σύστημα εγκαθίσταται στις παρακάτω θέσεις:
 - Δώμα ή στέγη κτιρίου.
 - Στέγαστρα βεραντών.
 - Προσόψεις.
 - Σκίαστρα.
 - Αποθήκες.
 - Χώρους στάθμευσης.

Σε κάθε κτήριο (με τη γενικότερη έννοια), επιτρέπεται ένα και μόνο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Δικαίωμα ένταξης στο Πρόγραμμα έχουν:

- Φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες.
- Φυσικά ή νομικά πρόσωπα επιτηδευματίες, που κατατάσσονται στις πολύ μικρές επιχειρήσεις (μέγιστος αριθμός απασχολούμενων 9 άτομα).
- Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου (ΝΠΔΔ)
- Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου (ΝΠΙΔ)

Ως προς το παρών τα έσοδα που θα έχει ο κάθε ιδιώτης από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΔΕΗ δεν φορολογούνται.

4.2 Βασικές προϋποθέσεις

1. Νομιμότητα Κτιρίου:

Το κτήριο θα πρέπει να είναι νόμιμο ή νομιμοποιημένο. Τακτοποιημένα κτήρια με χρήση διάφορων "τακτοποιητικών" νόμων, όπου έχει επιτευχθεί προσωρινή μη κατεδάφιση, γενικά δεν γίνονται αποδεκτά (ιδιαίτερα, εάν η τακτοποίηση έχει διάρκεια μικρότερη της 25ετίας, και σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, αποκλείονται απολύτως). Για τις μη ξεκάθαρες περιπτώσεις, την απάντηση τη δίνει η οικεία πολεοδομία.

Ως διασφάλιση της νομιμότητας αρκεί η επισύναψη της οικοδομικής άδειας συνοδευόμενη από αρχιτεκτονικά σχέδια του χώρου εγκατάστασης (δηλ. της στέγης, στεγάστρου, ταράτσας κλπ). Εάν δεν υπάρχει οικοδομική άδεια (κυρίως λόγω της παλαιότητας του κτηρίου) τότε θα πρέπει να αναζητηθούν άλλα πιστοποιητικά έγγραφα, πχ από τον δήμο ή αλλού.

Εάν στο χώρο εγκατάστασης περιλαμβάνονται και βοηθητικοί χώροι, πχ αποθήκη, υπαίθριος στεγασμένος χώρος στάθμευσης κλπ, θα πρέπει και αυτός να υφίσταται νόμιμα.

2. Δικαίωμα Χρήσης του Κτιρίου - επικαρπία:

Ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να έχει ιδιοκτησία στο κτήριο που θέλει να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά. Ως "ιδιοκτησία" εννοείται τουλάχιστον η επικαρπία. Εάν το κτήριο έχει περισσότερες της μιας οριζόντιες ιδιοκτησίες και ο χώρος εγκατάστασης είναι κοινόχρηστος, τότε θα πρέπει να υπάρχει η έγγραφη συναίνεση (ή παραχώρηση) όλων των συνιδιοκτητών. Επίσης, συναίνεση (ή παραχώρηση) απαιτείται και από τον κάτοχο της ψιλής κυριότητας (εάν είναι διαφορετικό πρόσωπο).

Η επικαρπία είναι εμπράγματο δικαίωμα και αποτελεί μέρος της πλήρους κυριότητας. Το άλλο μέρος της πλήρους κυριότητας είναι η ψιλή κυριότης που είναι και αυτή εμπράγματο δικαίωμα. Όποιος έχει το εμπράγματο δικαίωμα της πλήρους κυριότητας υπάρχει απόλυτη εξουσία του προσώπου - κυρίου επί του ακινήτου. Η απόλυτη αυτή εξουσία τού επιτρέπει να νέμεται και να εκμεταλλεύεται την ιδιοκτησία του άμεσα και καθολικά.

Η επικαρπία είναι μια προσωπική δουλεία. Στην επικαρπία ο επικαρπωτής μπορεί να χρησιμοποιεί και να καρπώνεται την ξένη ιδιοκτησία, η οποία ανήκει στον ψιλό κύριο. Πρέπει όμως να διατηρήσει την ουσία του, δηλαδή να μην αλλοιώνει το σχήμα, τη μορφή, το μέγεθος κ.λπ. του ακινήτου. Δεν ευθύνεται όμως για τη φυσιολογική φθορά του ακινήτου (Α.Κ. 1158). Αν ανευρεθεί όμως θησαυρός στο ακίνητο δεν θα έχει δικαίωμα ο επικαρπωτής επ' αυτού. Ο θησαυρός αυτός (κατά το ήμισυ) ανήκει στον ψιλό κύριο (Α.Κ.1151).

Στην ψιλή κυριότητα ο ψιλός κύριος στερείται (δηλαδή έχει αποψιλωθεί) τα πλεονεκτήματα της επικαρπίας. Ο ψιλός κύριος δεν μπορεί να καρπωθεί, να χρησιμοποιήσει, να εκμεταλλευθεί το ακίνητο. Η δυνατότητες αυτές έρχονται στον ψιλό κύριο όταν θα αποκτήσει και την επικαρπία του ακινήτου (με τον θάνατο του επικαρπωτή ή με τη μεταβίβαση της επικαρπίας με άλλη χαριστική ή επαχθή αιτία). (Άρθρα 1142 και 1143 του Α.Κ.)

Μπορούμε να διαχωρίσουμε την επικαρπία από την πλήρη κυριότητα. Στην περίπτωση αυτή η ψιλή κυριότης παραμένει στον πρώην πλήρη κύριο, ο οποίος, μετά τον διαχωρισμό, θα λέγεται «ψιλός κύριος». Η μεταβίβαση της επικαρπίας γίνεται πάντα με συμβολαιογραφική πράξη.

Εάν το κτήριο είναι περισσότερων της μιας οριζόντιας ιδιοκτησίας (πχ. πολυκατοικία), τότε υφίσταται το δικαίωμα κοινόχρηστου φωτοβολταϊκού συστήματος από το σύνολο ή μέρους των συνιδιοκτητών. Σε αυτήν την περίπτωση ο συμψηφισμός γίνεται με τον κοινόχρηστο μετρητή.

Ιδιάζουσα περίπτωση αποτελεί η ύπαρξη πολλών ανεξάρτητων κατοικιών σε κοινό οικόπεδο. Σε αυτήν την περίπτωση εάν δεν υπάρχει σύσταση "καθέτου ιδιοκτησίας" τότε το ζήτημα αντιμετωπίζεται όπως σε πολυκατοικία.

Ως πιστοποιητικά έγγραφα για την απόδειξη του δικαιώματος χρήσης, απαιτείται ο τίτλος κυριότητας συνοδευόμενος με πρόσφατα εκδοθέν πιστοποιητικό μετεγγραφής του τίτλου στο οικείο υποθηκοφυλακείο ή κτηματολόγιο.

3. Ύπαρξη Μετρητή Κατανάλωσης:

Η ιδιοκτησία της οποίας ο κάτοχος αιτείται σύνδεση οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος, θα πρέπει να έχει ενεργό μετρητή κατανάλωσης. Ο κάτοχος του μετρητή θα πρέπει να είναι το ίδιο πρόσωπο με τον αιτούντα.

4. Άλλες Προϋποθέσεις ή Απαιτήσεις:

- Εάν το κτήριο βρίσκεται σε εκτός σχεδίου περιοχή, τότε είναι απαραίτητη η προσκόμιση τοπογραφικού (οδοιπορικού) διαγράμματος.
- Εάν το κτήριο βρίσκεται σε περιοχή με ειδικούς κτηριοδομικούς κανονισμούς, είναι απαραίτητη η γνωμοδότηση της οικείας πολεοδομίας.
- Δεν απαιτείται έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας. Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει έγγραφη γνωστοποίηση εργασιών και εκπόνησης

της μελέτης στο Διαχειριστή του Δικτύου, υπογεγραμμένη από τον ίδιο και τον επιβλέποντα Μηχανικό.

- Από την εγκατάσταση των ΦΒ πλαισίων δεν πρέπει να δημιουργείται χώρος κύριας ή βοηθητικής χρήσης ή ημιωπαίθριος.
- Απαγορεύεται η εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου και του φρεατίου ανελκυστήρα.
- Τα ΦΒ πλαίσια που τοποθετούνται στο δώμα του κτιρίου πρέπει να οριοθετούνται περιμετρικά με συμπαγές στηθαίο και να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 0.5m από αυτό.
- Τα ΦΒ πλαίσια που τοποθετούνται στη στέγη πρέπει να ακολουθούν την κλίση της, να βρίσκονται εντός του όγκου της και να απέχουν 0.5m από το περίγραμμα της.
- Εάν το φωτοβολταϊκό σύστημα αφορά μεμονωμένη ιδιοκτησία, τότε απαιτείται η συγκεκριμένη ιδιοκτησία (κατοικία) να καλύπτει μέρος των θερμικών αναγκών της με ανανεώσιμες πηγές. Η προσφιλέστερη μέθοδος είναι η χρήση ηλιακού θερμοσίφωνα.

4.3 Σύνδεση στο δίκτυο

Το Φ/Β σύστημα συνδέεται στο Δίκτυο Διανομής Χαμηλής Τάσεως και η σύνδεση αντιστοιχεί σε υφιστάμενο αριθμό παροχής του κτιρίου όπου θα τοποθετηθεί.

Η σύνδεση πραγματοποιείται με 5 βασικά βήματα:

- Βήμα 1: Υποβολή αίτησης στην τοπική υπηρεσία της ΔΕΗ Α.Ε. για έκδοση Προσφοράς Σύνδεσης.

- Βήμα 2. Εξέταση αίτησης από τη ΔΕΗ Α.Ε. και διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον ενδιαφερόμενο, η οποία ισχύει για 3 μήνες από την ημερομηνία έκδοσης της.
- Βήμα 3. Αποδοχή Προσφοράς Σύνδεσης και υπογραφή της - Υλοποίησης έργων σύνδεσης.
- Βήμα 4. Υποβολή αίτησης προς την τοπική υπηρεσία εμπορίας της ΔΕΗ Α.Ε, για τη σύναψη Σύμβασης Συμφηφισμού και υπογραφή της.
- Βήμα 5. Υποβολή αίτησης προς την τοπική υπηρεσία της ΔΕΗ Α.Ε. για ενεργοποίηση της σύνδεση του ΦΒ συστήματος.

Για την ολοκλήρωση του πέμπτου βήματος, της ενεργοποίησης της σύνδεσης της εγκατάστασης στο δίκτυο, δηλαδή, απαιτούνται μαζί με την αίτηση προς την τοπική υπηρεσία της ΔΕΗ Α.Ε. επισυναπτόμενα τα εξής έγγραφα:

Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης και υπεύθυνη δήλωση Μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας, στην οποία πρέπει να αναφέρεται η δυνατότητα αποσύνδεσης του ΦΒ συστήματος στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Έλλειψη τάσεως από το Δίκτυο της ΔΕΗ (φαινόμενο νησιδοποίησης).
- Υπέρβαση των ορίων απόκλισης της τάσεως και της συχνότητας στην έξοδο του μετατροπέα.
- Όριο απόκλισης τάσεως: +15% έως -20% της ονομαστικής τάσεως
- Όριο απόκλισης συχνότητας ρεύματος: + 0,5Hz έως - 0,5Hz της ονομαστικής συχνότητας

Σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων ο μετατροπέας πρέπει να τίθεται εκτός λειτουργίας (αυτόματη απόζευξη) σε 0,5 sec, με δυνατότητα επανάζευξης ύστερα από 3 λεπτά.

Πιο συγκεκριμένα

Ο Φάκελος Αίτησης περιλαμβάνει την Αίτηση Σύνδεσης και διάφορα άλλα έγγραφα και τεύχη όπως απαιτούνται ανά περίπτωση. Τα τεύχη απαιτούν υπογραφή μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας, οπότε συνήθως αυτή η διαδικασία ανατίθεται συνολικά σε αντίστοιχο επαγγελματία.

Ο φάκελος κατατίθεται στην αρμόδια Περιοχή ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστή του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας), ελέγχεται η πληρότητά του και παίρνει αριθμό πρωτοκόλλου.

Στην συνέχεια ειδικός τεχνικός της ΔΕΔΔΗΕ επισκέπτεται το χώρο (κτήριο) εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η αυτοψία έχει σκοπό να ανιχνευθούν πιθανές τροποποιήσεις που απαιτούνται στην παροχή από το δίκτυο και στη θέση του μετρητικού σταθμού. Πιθανές τροποποιήσεις αποτελούν η αντικατάσταση του παροχικού αγωγού και οι οικοδομικές παρεμβάσεις στο χώρο εγκατάστασης των μετρητών.

Κατόπιν της αυτοψίας το αρμόδιο τμήμα της ΔΕΔΔΗΕ συντάσσει προσφορά σύνδεσης στην οποία περιλαμβάνονται αναλυτικά το Κόστος Σύνδεσης, οι εργασίες ή παροχές εκ μέρους της ΔΕΔΔΗΕ καθώς και οι πιθανές εργασίες που απαιτούνται και είναι ευθύνη του καταναλωτή. Οι Όροι Σύνδεσης συνήθως αποστέλλονται ταχυδρομικά στον ενδιαφερόμενο.

Μετά την γνωστοποίηση των Όρων Σύνδεσης, ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να καταβάλλει το προβλεπόμενο αντίτιμο σε κάποιο κατάστημα της ΔΕΔΔΗΕ και στη συνέχεια έχοντας μαζί του την απόδειξη πληρωμής και δυο Υπεύθυνες Δηλώσεις (μια δική του και μια του μηχανικού) που αφορούν την Μη Απαίτηση Έγγρισης Εργασιών Μικρής Κλίμακας, προσέρχεται (αυτοπροσώπος ή δια εξουσιοδοτημένου) στην Αρμόδια Περιοχή ΔΕΔΔΗΕ και υπογράφει την αναφερόμενη ως Σύμβαση Σύνδεσης.

Κατόπιν της υπογραφής της Σύμβασης Σύνδεσης θα πρέπει να γίνει αίτηση για την σύνταξη Σύμβασης Συμφηφισμού στο οικείο Κατάστημα ΔΕΔΔΗΕ. Η Σύμβαση

Συμφηφισμού είναι αυτή η οποία περιλαμβάνει την Τιμή Πώλησης της ενέργειας που θα παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Μετά από ειδοποίηση από μεριάς του Καταστήματος ΔΕΔΔΗΕ ότι η Σύμβαση Συμφηφισμού είναι έτοιμη προς υπογραφή, ο ενδιαφερόμενος προσέρχεται στο Κατάστημα έχοντας μαζί του οπωσδήποτε και Βεβαίωση Πάγιας Εντολής από συνεργαζόμενη τράπεζα σε λογαριασμό της οποίας θα γίνονται οι συναλλαγές που αφορούν το σχετικό λογαριασμό ΔΕΔΔΗΕ. Για το σκοπό αυτό έχει προηγηθεί επίσκεψη σε κατάστημα της τράπεζας (με ένα λογαριασμό ΔΕΗ και ταυτότητα) και κατόπιν της σχετικής διαδικασίας έχει ενεργοποιηθεί η εν λόγω πάγια εντολή. Η τράπεζα αποδίδει σχετικό αποδεικτικό έγγραφο το οποίο και θα έχει μαζί του ο ενδιαφερόμενος κατά την υπογραφή της Σύμβασης Συμφηφισμού.

Με την υπογραφή της Σύμβασης Συμφηφισμού κατοχυρώνεται η τιμή πώλησης της ενέργειας, για αυτό θα πρέπει να δίδεται και η δέουσα προσοχή στις ημερομηνίες αλλαγής της τιμής.

Τα βασικά στοιχεία για την Σύμβαση Συμφηφισμού είναι τα ακόλουθα:

- Η Σύμβαση Συμφηφισμού υπογράφεται μεταξύ του κυρίου του ΦΒ συστήματος και της ΔΕΗ Α.Ε. και αφορά στην πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει διάρκεια 25 έτη με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του ΦΒ συστήματος.
- Αν ο κύριος του ΦΒ συστήματος αλλάξει προμηθευτή για την ηλεκτροδότηση των καταναλώσεων του στο κτίριο, λήγει αυτοδικαίως η Σύμβαση Συμφηφισμού και υπογράφεται νέα Σύμβαση για το υπολειπόμενο εκ των 25 ετών διάστημα με τον νέο προμηθευτή.
- Σε περίπτωση μεταβίβασης της ιδιοκτησίας του κτιρίου όπου έχει εγκατασταθεί το ΦΒ σύστημα, ο νέος κύριος υπεισέρχεται αυτοδικαίως στα δικαιώματα και τις υποχρεώσεις του μεταβιβάζοντος, που απορρέουν από τη Σύμβαση Συμφηφισμού.

- Η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς τη ΔΕΗ Α.Ε. διαμορφώνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2 Κεφαλαίου 5.

Η σύμβαση Συμψηφισμού συνομολογείται με τιμή πώλησης του ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία αντιστοιχεί στο έτος που υπογράφεται η Σύμβαση, εφόσον η σύνδεση του ΦΒ συστήματος ενεργοποιηθεί εντός 6 μηνών από την ημερομηνία υπογραφής. Σε αντίθετη περίπτωση λαμβάνεται η τιμή, που αντιστοιχεί στο έτος ενεργοποίησης της σύνδεσης.

- Η τιμή στην οποία συνομολογείται η Σύμβαση Συμψηφισμού αναπροσαρμόζεται κάθε έτος κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους, όπως αυτός καθορίζεται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδας. Αν η τιμή που προκύπτει με την ανωτέρω αναπροσαρμογή είναι μικρότερη της μέσης Οριακής Τιμής του Συστήματος (ΟΤΣ), όπως αυτή διαμορφώνεται κατά το προηγούμενο έτος προσαυξημένη κατά 40%, η τιμολόγηση γίνεται με βάση τη μέση ΟΤΣ του προηγούμενου έτους προσαυξημένη κατά 40%.

Κεφάλαιο 5: Οικονομική Μελέτη της εγκατάστασης - Παρουσίαση Κτιρίου

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζεται το κτήριο στο οποίο θα γίνει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, καθώς και η οικονομική μελέτη βάση της περιγραφής του χώρου εγκατάστασης.

5.1 Οικονομικά Χαρακτηριστικά Επένδυσης

5.1.1 Καθαρή Παρούσα αξία Χρήματος

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) μιας επένδυσης είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των n καθαρών ταμειακών ροών (ΚΤΡ) της επένδυσης, προεξοφλημένων στο παρόν με επιτόκιο i και του αρχικού κεφαλαίου που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επένδυση σήμερα. Η διαχρονική αξία του χρήματος εκφράζεται από το επιτόκιο προεξόφλησης i . Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο πληθωρισμός, που ορίζεται ως η συνεχής αύξηση του γενικού επιπέδου των τιμών μιας οικονομίας μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, δεν είναι η αιτία της διαχρονικής αξίας του χρήματος, αλλά σαφώς επηρεάζει το επιτόκιο προεξόφλησης. Η τιμή του i που επιλέχτηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ισούται με 4%.

5.1.2 Συνολικό Αρχικό Κόστος Επένδυσης

Σύμφωνα με τιμές των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην ελληνική αγορά Φ/Β, το συνολικό κόστος επένδυσης για εγκατάσταση Φ/Β στη στέγη ή στο δώμα κτιρίου εκτιμάται σε 2.000 €/kW_p, στο οποίο πρέπει να προστεθεί ο αναλογών ΦΠΑ (23%). Το κόστος αυτό περιλαμβάνει την αγορά του Φ/Β εξοπλισμού, όπως τα Φ/Β πάνελ, τους αντιστροφείς και τις βάσεις στήριξης, καθώς επίσης και το κόστος μεταφοράς, τοποθέτησης και ρύθμισης. Ειδικότερα, στην ελληνική αγορά, το κόστος των αντιστροφέων για εγκαταστάσεις μέχρι 10 kW κυμαίνεται στα 3.500 € στην περίπτωση επιλογής ενός τριφασικού αντιστροφέα και στα 4.500 € στην περίπτωση επιλογής συνδυασμού τριών μονοφασικών αντιστροφέων. Παράλληλα, η

εγκατάσταση περιλαμβάνει την τοποθέτηση ρολογιού με διπλό μετρητή για μέτρηση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας από τη Φ/Β εγκατάσταση. Γενικότερα, το συνολικό κόστος για τη διαδικασία σύνδεσης της εγκατάστασης Φ/Β με το δίκτυο χαμηλής τάσης εκτιμάται στα 1.000 € (γνωστοποιείται στον ενδιαφερόμενο από τη ΔΕΗ με την Προσφορά Σύνδεσης). Επιπρόσθετες δαπάνες είναι πιθανό να οφείλονται στην ενσωμάτωση τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης του Φ/Β (ενσύρματη ή ασύρματη) για τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο της λειτουργίας της εγκατάστασης. Ωστόσο, η επιλογή συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου δεν χρησιμοποιείται συχνά για μικρά Φ/Β συστήματα σε κτιριακές εγκαταστάσεις λόγω υψηλού κόστους. Το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού κόστους επένδυσης αφορά την προμήθεια της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που την αποτελούν έχουν υψηλή τιμή αρχικής κτήσης. Βέβαια η τιμή αυτή μειώνεται συνεχώς με την πάροδο του χρόνου και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται ιδιαίτερος λόγω του έντονου ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών, και τα τελευταία χρόνια έχει κορυφωθεί ειδικά ανάμεσα στις Κινεζικές εταιρίες και αυτές με έδρα στην Ε.Ε. και τις Η.Π.Α.

5.1.3 Ετήσιο Κόστος Συντήρησης και Ασφάλισης

Όσον αφορά στα λειτουργικά έξοδα, η τοποθέτηση Φ/Β συστημάτων σε κτιριακή εγκατάσταση απαιτεί:

- Περιοδικό καθαρισμό των πάνελ από τη σκόνη και γενικότερα ρύπους, προκειμένου να διατηρηθεί η διαύγεια για μεγαλύτερη απόδοση του συστήματος. Ο καθαρισμός μπορεί να γίνει ακόμα και από τον ίδιο τον ιδιοκτήτη. Στην περίπτωση αυτή η συντήρηση είναι πιο εύκολη εκεί που υπάρχει καλύτερη προσβασιμότητα (συνήθως στο δώμα).
- Περιοδικό έλεγχο του ηλεκτρονικού κυκλώματος (ή την επισκευή βλαβών) που γίνεται από εξειδικευμένο τεχνικό με την εταιρεία εγκατάστασης. Για να καλυφθούν αυτές οι περιπτώσεις, οι περισσότερες εταιρείες εγκατάστασης

αναλαμβάνουν συμβόλαια συντήρησης για χρονικό διάστημα από 2 έως 10 έτη, με κόστος που κυμαίνεται μεταξύ 50 - 150 €/έτος.

Ο ενδιαφερόμενος επενδυτής έχει τη δυνατότητα να απευθυνθεί στην ασφαλιστική αγορά που προσφέρει συμβόλαια για την ασφάλιση της επένδυσης. Ωστόσο, η τράπεζα που προσφέρει το δάνειο, συνήθως υποχρεώνει τον πελάτη, σε ασφαλιστικά συμβόλαια μέσω θυγατρικών της εταιριών, σε περιπτώσεις όπως:

- Απώλειες ισχύος
- Δολιοφθορά
- Έντονα καιρικά φαινόμενα, φωτιά, κλοπή, σεισμός, κ.α.

Η τιμή του ασφαλιστρού διαμορφώνεται ανάλογα με την αξία της εγκατάστασης, καθώς και το ασφαλιστικό πρόγραμμα που επιλέγεται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι τα έξοδα ασφάλισης για μια εγκατάσταση των 10 kW μπορεί να κυμαίνονται από 100 έως 200 € ετησίως.

5.1.4 Εγγυημένη Τιμή Πώλησης

Η καταμέτρηση της παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β σύστημα πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την καταμέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η ενέργεια που καταναλώνεται για τη λειτουργία της εγκατάστασης οφείλεται στη λειτουργία του αντιστροφέα κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς και σε επιπλέον εξοπλισμό παρακολούθησης και ελέγχου της λειτουργίας της εγκατάστασης, όπως κάμερα, συναγερμός, κ.α. (αν υπάρχει). Η πίστωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί τους κύκλους χρέωσης της καταναλισκόμενης. Η τιμή της παραγόμενης από το Φ/Β σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο Δίκτυο ορίζεται σε 0,25 €/kWh για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται έως το Φεβρουάριο του 2013. Η τιμή μειώνεται κατά 5% ανά εξάμηνο για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται από το 2013 μέχρι και τον Αύγουστο του 2019. Παράλληλα, σημειώνεται ότι ο τελικός χρήστης - παραγωγός δεν έχει καμία φορολογική ή

ασφαλιστική υποχρέωση, όπως άνοιγμα βιβλίων, έκδοση τιμολογίων, ασφάλιση κ.α., είτε είναι επιτηδευματίας, είτε όχι. Στον Πίνακα 2 αναφέρεται η τιμή πώλησης ανάλογα με την ημερομηνία σύναψης της σύμβασης συμψηφισμού. Για την συγκεκριμένη εργασία θα θεωρηθεί ότι το έργο θα υλοποιηθεί εντός του πρώτου εξαμήνου του 2013 με υπογραφή σύμβασης πριν το Φεβρουάριο του ίδιου χρόνου. Οπότε η τιμή είναι 0,25€/kWh.

Πίνακας 2 Τιμές Πώλησης Σύμφωνα με την Σύμβαση Συμψηφισμού

Μήνας/ Έτος Τιμή (ευρώ/kWh)		
Αύγουστος	2012	0,25
Φεβρουάριος	2013	0,24
Αύγουστος	2013	0,23
Φεβρουάριος	2014	0,22
Αύγουστος	2014	0,21
Φεβρουάριος	2015	0,20
Αύγουστος	2015	0,19
Φεβρουάριος	2016	0,18
Αύγουστος	2016	0,17
Φεβρουάριος	2017	0,17
Αύγουστος	2017	0,16
Φεβρουάριος	2018	0,15
Αύγουστος	2018	0,14

5.1.5 Σχήμα Χρηματοδότησης - ποσοστό ίδιας συμμετοχής - Ίδια Κεφάλαια

Η βασικότερη μεταβλητή αυτών των παραμέτρων είναι το ποσοστό συμμετοχής ιδίων κεφαλαίων. Από την τιμή αυτή προκύπτουν και τα υπόλοιπα μεγέθη δηλαδή το σχήμα χρηματοδότησης, το ακριβές ποσό ίδιας συμμετοχής και των δανειακών κεφαλαίων. Ο σπουδαιότερος παράγοντας που καθορίζει αυτή την μεταβλητή, είναι η οικονομική επιφάνεια του επενδυτή, και η επενδυτική του ιδιοσυγκρασία. Δηλαδή στην περίπτωση που διαθέτει τα κεφάλαια, κατά πόσο θέλει να τα δεσμεύσει στην συγκεκριμένη επένδυση αναλαμβάνοντας το αντίστοιχο ρίσκο με το οποίο αυτή συνοδεύεται. Επίσης για την απόφαση αυτά είναι εξόχως σημαντικά το κόστος ευκαιρίας και το κόστος δανεισμού. Έτσι αν ο επενδυτής μπορεί να πετύχει πολύ

χαμηλό επιτόκιο δανεισμού όπως στην περίπτωση της προσημείωσης, τότε είναι προς το συμφέρον του η εξ' ολοκλήρου δανειοδότηση, αν διαθέτει τις κατάλληλες εγγυήσεις και το επιθυμεί.

5.1.6 Επιτόκιο Δανεισμού

Με τον όρο επιτόκιο δανεισμού εννοούμε πως αν κάποιος θέλει να αγοράσει σήμερα κάποιες χρηματικές μονάδες (δανείζεται χρήμα) με επιτόκιο πχ 4%, θα πρέπει στο τέλος της περιόδου αναφοράς να πληρώσει μαζί με το κεφάλαιο που αγόρασε και 4 % παραπάνω. Σύμφωνα με την καθημερινή πρακτική το σύνηθες χρονικό διάστημα κατά το οποίο υπολογίζεται το επιτόκιο είναι το ένα έτος 360 ημέρες (όχι 365) χωρίς όμως να αποκλείονται και άλλα χρονικά διαστήματα. Επίσης το επιτόκιο αποτελεί τον τόκο κεφαλαίου για 100 χρηματικές μονάδες γι' αυτό συνήθως εκφράζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό.

Το κόστος δανεισμού οι τράπεζες ως επί το πλείστον προσφέρουνε δύο βασικές εναλλακτικές.

- Στεγαστικό δάνειο για εγκατάσταση φ/β, με προσημείωση ακινήτου,
- Καταναλωτικό δάνειο για αγορά φ/β συστήματος, χωρίς εγγυήσεις.

Η πρώτη επιλογή, εξασφαλίζει πολύ χαμηλό, σχετικά, επιτόκιο κοντά στο 5%. Ωστόσο έχει πρόσθετα έξοδα περίπου 1000€. Όσον αφορά την δεύτερη επιλογή, το επιτόκιο διαμορφώνεται συνήθως μεταξύ 8 και 10%. Μεσοσταθμικά μπορεί να θεωρηθεί για τους υπολογισμούς της παρούσας εργασίας ίσο με 9%. Ταυτόχρονα, δεν υπάρχει επιβάρυνση από τα επιπλέον έξοδα της προσημείωσης και είναι πιθανό να απαιτείται η εκχώρηση της σύμβασης, έως την αποπληρωμή του δανείου. Αυτό σημαίνει ότι η τράπεζα εισπράττει κατά προτεραιότητα το ποσό που αντιστοιχεί στην δόση του δανείου, από τον πιστωτικό λογαριασμό της ΔΕΗ, ενώ στην συνέχεια αποδίδει το υπόλοιπο ποσό στον δανειολήπτη.

5.2 Περιγραφή Κτιρίου και Χώρου Εγκατάστασης

Ο τόπος της εγκατάστασης είναι μια ιδιόκτητη κατοικία στην περιοχή του χωριού Ωρωπού. Ο Ωρωπός είναι οικισμός της Βορειοανατολικής Αττικής, στις ακτές του ευβοϊκού κόλπου.

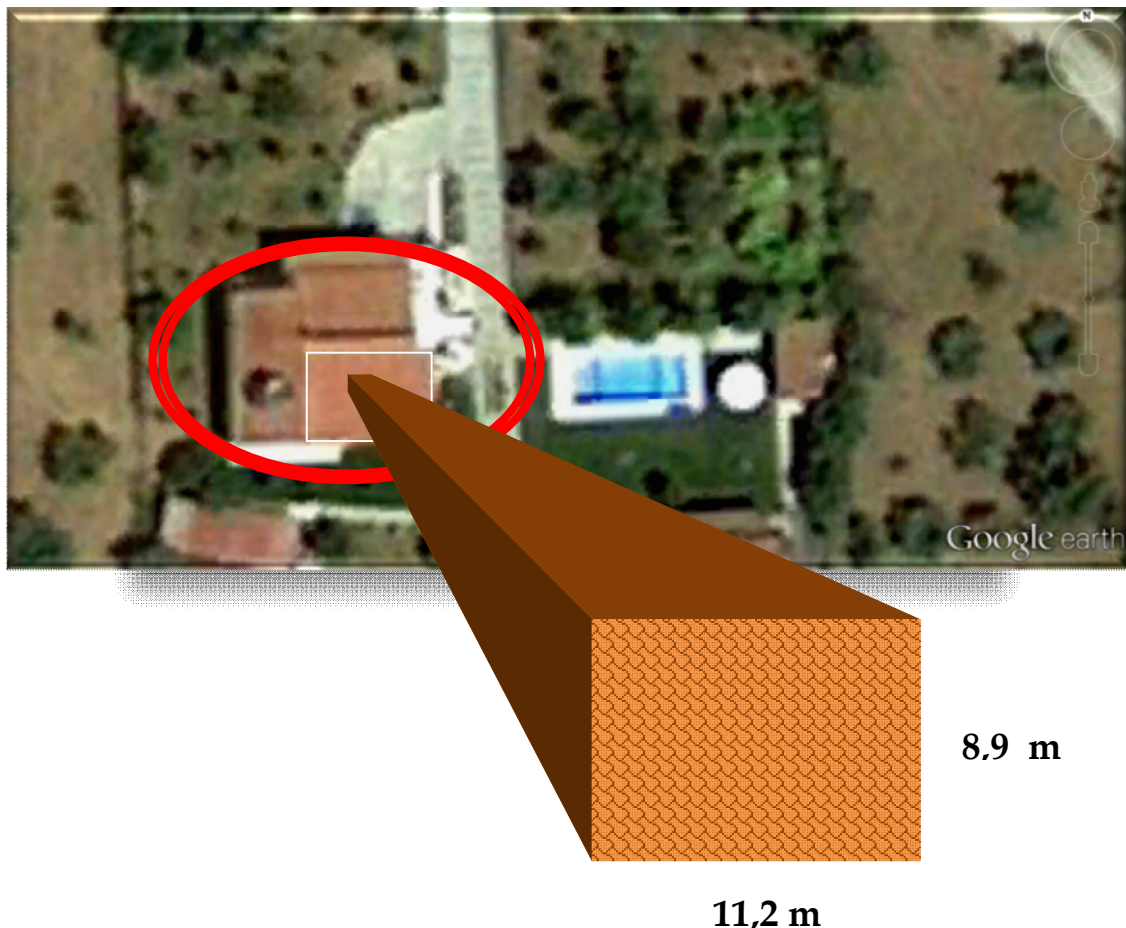
Οι συντεταγμένες του είναι $38^{\circ}18'44.08''\text{N}$, $23^{\circ}44'59.48''\text{E}$

Η ώρα της δορυφορικής εικόνας (Εικόνα 16) είναι κοντά στις 15:00 και μπορεί να παρατηρηθεί ότι την ώρα που αναμένεται να υπάρχει μέγιστη παραγωγή ισχύος δεν υπάρχει καθόλου σκίαση.

Στην Εικόνα 16 βλέπουμε μέσω δορυφόρου πανοραμικά όλο το οικόπεδο στο οποίο, έχοντας τα αρχιτεκτονικά σχέδια του σπιτιού παίρνουμε τα παρακάτω δεδομένα:

Υπάρχει στέγη με κεραμίδι επικλινή προς τρία διαφορετικά σημεία του ορίζοντα:

- i. Προς το Βορρά
- ii. Προς τη Δύση
- iii. Προς το Νότο



Εικόνα 16. Δορυφορική εικόνα του κτιρίου που θα γίνει εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος

Ο χώρος που βλέπει η στέγη που κοιτάει προς Νότο έχει:

- Εμβαδό Επιφάνειας 99,68 m²
- Κλίση επιφάνειας 18,32 %
- Μήκος 11,2 m
- Πλάτος 8,9 m

Στην περίπτωση της επικλινούς στέγης η μέση επιφάνεια που μπορεί να καταλαμβάνει 1 kW εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών πλαισίων προσεγγίζει τα 8 m². Τα ΦΒ πλαίσια που τοποθετούνται στη στέγη πρέπει να ακολουθούν την κλίση της, να βρίσκονται εντός του όγκου της και να απέχουν 0,5m από το περίγραμμα της.

Ο αξιοποιήσιμος χώρος εγκατάστασης Φ/Β πάνελ υπολογίζεται ως εξής:

Μήκος: $11,2\text{m} - 1\text{m} (0,5\text{ m σε κάθε μια από τις 2 άκρες}) = 10,2\text{ m}$

Πλάτος: $8,9\text{m} - 1\text{m} (0,5\text{ m σε κάθε μια από τις 2 άκρες}) = 7,9\text{ m}$

Άρα ο συνολικά αξιοποιήσιμος χώρος εγκατάστασης είναι $10,2 \times 7,9 = 80,6\text{ m}^2$

Συμπεραίνουμε ότι η στέγη έχει την δυνατότητα να φιλοξενήσει 10 kW.

Η στέγη έχει ιδανικό προσανατολισμό προς τον Νότο, στην γύρω περιοχή δεν υπάρχουν αντικείμενα φυσικά ή όχι, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει καθόλου σκίαση σε αυτή σε όλη την διάρκεια της ημέρας.

5.2.1 Συνολική εγκατεστημένη ισχύς

Αυτό που χρειάζεται να επιτευχθεί σε οποιαδήποτε Φ/Β εγκατάσταση είναι η μεγιστοποίηση της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, ώστε να έχουμε το όσο το δυνατόν περισσότερα έσοδα. Αυτό επιβαρύνει το αρχικό κόστος σε εγκαταστάσεις Φ/Β σε ταράτσες, καθώς χρειάζεται η εγκατάσταση βάσεων για την βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό.

Η συγκεκριμένη όμως εγκατάσταση βρίσκεται σε στέγη, με αποτέλεσμα ο νόμος να μην επιτρέπει την χρήση βάσεων ώστε να αλλάξει η κλίση ή ο προσανατολισμός. Όσον αφορά τον προσανατολισμό, δεν αλλάζει κάτι στη συγκεκριμένη μελέτη καθώς το κομμάτι της στέγης που θα εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχει προσανατολισμό στον νότο. Η κλίση αναμένεται να μην είναι η βέλτιστη καθώς είναι μόνο 18° , ενώ βάσει της γεωγραφικής θέσης του κτιρίου μελέτης η βέλτιστη κλίση θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη. Η τιμή της παραμέτρου της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος εξαρτάται κυρίως από τον διαθέσιμο χώρο. Στην παρούσα πτυχιακή θεωρείται ίση με 10 kWp καθώς όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπάρχει ο απαραίτητος χώρος για να εγκατασταθούν.

5.2.2 Ποσοστιαία ετήσια πτώση απόδοσης Εγκατάστασης

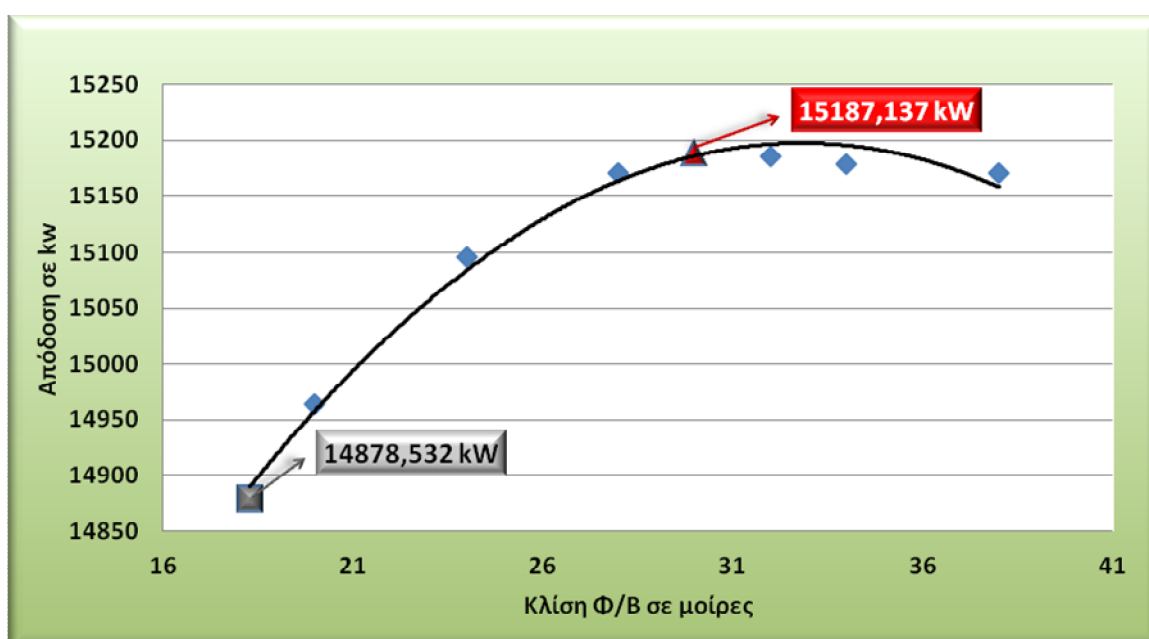
Για την διαμόρφωση της τελικής τιμής αυτής της παραμέτρου είναι δυνατόν να ληφθούν υπ' όψιν πλήθος παραγόντων όπως η ετήσια μείωση της απόδοσης των Φ/Β πάνελ και κατά συνέπεια και της Φ/Β γεννήτριας, απώλειες εξαιτίας φυσιολογικής φθοράς λόγω χρήσης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (μετατροπέας, καλωδιώσεις, μ/σ απομόνωσης κλπ.) Ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις ο συντελεστής αυτός θεωρείται ότι ταυτίζεται με την τιμή που δίνει ο κατασκευαστής για την πτώση απόδοσης των Φ/Β πάνελ. Στην παρούσα ανάλυση, η συγκεκριμένη παράμετρος θεωρείται ίση με 0,7%.

5.2.3 Υπολογισμός προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία: Έχοντας για την περιοχή της Αθήνας δεδομένα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο έδαφος για ένα ολόκληρο έτος, δημιουργήθηκε κώδικας με την χρήση του λογισμικού MATLAB, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Ως αποτέλεσμα, ο κώδικας υπολογίζει την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε δεδομένη εγκατάσταση 10kW, για διάφορες κλίσεις Φ/Β. Στον κώδικα όλες οι τιμές που θα έχουν αναφερθεί όπως το γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, η κλίση των φωτοβολταϊκών, κλπ, μπορούν να αλλάξουν για τον υπολογισμό της απόδοσης του σε οικίες διαφορετικής τοποθεσίας, άλλο μέγεθος εγκατάστασης, ή διάφορες κλίσεις Φ/Β συστημάτων.

Πίνακας 3 Παραγωγή kWh για τις με διαφορά κλίσης Φ/Β

Κλίση ΦΒ	Παραγωγή (kWh)
18,3°	14878,532
20°	14964,367
24°	15095,713
28°	15170,746
30°	15187,137
32°	15185,711
34°	15178,33
38°	15170,746



Διάγραμμα 6 Καμπύλη Παραγωγής kW σε σχέση με τις Μοίρες των Φ/Β πλαισίων

Όπως διακρίνεται στον Πίνακα 3 και στο διάγραμμα 6, η κλίση που υπάρχει μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι στις 30°, κάτι που συμφωνεί με το θεωρητικά αναμενόμενο. Η τιμή κλίσης που θα εξεταστεί είναι 18,3°, καθώς είναι η κλίση της στέγης που θα εφαρμοστεί η μελέτη και για κλίση 30° που είναι η μέγιστη απόδοση, για να συγκριθεί η διαφορά χρόνου απόσβεσης καθώς και η διαφορά κέρδους σε βάθος 25 χρόνων.

5.3 Οικονομική Μελέτη Εγκατάστασης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης αναγράφονται στους Πίνακες 4 και 5.

Πίνακας 4 Υπολογισμός Συνόλου Επένδυσης σε €

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ				
EURO	kWp	ΦΠΑ	ΣΥΝΟΛΟ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕ ΦΠΑ
2000	10	23%	20.000,00 €	24.600,00 €
1000*	-	-	-	1000,00 €
			ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	25.600,00 €

(*) διαδικασία σύνδεσης της εγκατάστασης Φ/Β με το σύστημα.

Πίνακας 5 Δεδομένα Επένδυσης

Αρχικό Κόστος Επένδυσης	25.600,00 €
Συνολική Ισχύς Εγκατάστασης	10 kW
Ετήσια Πτώση Απόδοσης	0,7 %
Εγγυημένη Τιμή Πώλησης	0,25 €/kW
Ετήσιο Κόστος Συντήρησης	50 €
Ετήσιο Κόστος Ασφάλισης	100 €
Επιτόκιο Προεξόφλησης	4,00%
Κλίση Φ/Β	b=18,3°
Επιτόκιο Δανεισμού	9,0%
Ποσοστό δανείου	75,0%
Ίδια Κεφάλαια	25,0%
Δάνειο	19.200,00 €
Τόκοι	1.728,00 €
Σύνολο	20.928,00 €
Έτη Εξόφλησης Δανείου	10
Δόσεις Δανείου Ανά Έτος	2.092,80 €
Συνολικό ποσό επένδυσης	27.328,00 €

Επιλέχθηκε τιμή αρχικού κόστους επένδυσης 25.600 €, από το οποίο το 25% είναι Ίδια Κεφάλαια και το 75% δάνειο διάρκειας 10 ετών με επιτόκιο 9%.

Πίνακας 6. Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμών.

Υπολογισμός κόστους κατασκευής, συμπεριλαμβανομένου την αξία του χρήματος, σε βάθος 20 χρόνων + δάνειο επιτοκείου 9% για 10 χρόνια								Υπολογισμός kwh απο matlab	Υπολογισμός κερδών συμπεριλαμβανομένου την αξία του χρήματος σε βάθος 20 χρόνων	Υπολογισμός Τελικών Εσόδων(+) ή Εξόδων (-) ανά έτος	Απόσβεση	Απόσβεση Ιδίων Κεφ
Χρονιά	Κόστος Κατασκευής	ΙΔΙΑ ΚΕΦ	ΔΑΝΕΙΟ	Κόστος Συντήρησης	Συνολικό Κόστος	Καθαρή παρούσα αξία Χρήματος	Πραγματικά Έξοδα	Παραγωγή δικτύου kwh	Κέρδη από την πώληση kW στην ΔΕΗ	Κέρδη ανα έτος		
1	25.600 €	6.400 €	2.281 €	150 €	8.831 €	1,00 €	8.831 €	14.877,53	3.719 €	- 5.112 €	7.265 €	- 5.112 €
2	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,96 €	2.334 €	14.773,39	3.546 €	1.212 €	10.645 €	- 3.900 €
3	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,92 €	2.241 €	14.669,98	3.380 €	1.139 €	13.867 €	- 2.761 €
4	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,88 €	2.151 €	14.567,29	3.222 €	1.071 €	16.939 €	- 1.690 €
5	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,85 €	2.065 €	14.465,31	3.072 €	1.007 €	19.867 €	- 683 €
6	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,82 €	1.982 €	14.364,06	2.928 €	946 €	22.658 €	263 €
7	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,78 €	1.903 €	14.263,51	2.791 €	888 €	25.319 €	
8	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,75 €	1.827 €	14.163,66	2.661 €	834 €	27.855 €	
9	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,72 €	1.754 €	14.064,52	2.536 €	783 €		
10	- €	- €	2.281 €	150 €	2.431 €	0,69 €	1.684 €	13.966,07	2.418 €	734 €		
11	- €	- €		150 €	150 €	0,66 €	100 €	13.868,30	2.305 €	2.205 €		
12	- €	- €		150 €	150 €	0,64 €	96 €	13.771,23	2.197 €	2.102 €		
13	- €	- €		150 €	150 €	0,61 €	92 €	13.674,83	2.095 €	2.003 €		
14	- €	- €		150 €	150 €	0,59 €	88 €	13.579,10	1.997 €	1.909 €		
15	- €	- €		150 €	150 €	0,56 €	85 €	13.484,05	1.904 €	1.819 €		
16	5.000 €	5.000 €		150 €	5.150 €	0,54 €	2.792 €	13.389,66	1.815 €	- 977 €		
17	- €	- €		150 €	150 €	0,52 €	78 €	13.295,93	1.730 €	1.652 €		
18	- €	- €		150 €	150 €	0,50 €	75 €	13.202,86	1.649 €	1.574 €		
19	- €	- €		150 €	150 €	0,48 €	72 €	13.110,44	1.572 €	1.500 €		
20	- €	- €		150 €	150 €	0,46 €	69 €	13.018,67	1.499 €	1.429 €		
21	- €	- €		150 €	150 €	0,44 €	66 €	12.927,54	1.429 €	1.362 €		
22	- €	- €		150 €	150 €	0,42 €	64 €	12.837,05	1.362 €	1.298 €		
23	- €	- €		150 €	150 €	0,41 €	61 €	12.747,19	1.298 €	1.237 €		
24	- €	- €		150 €	150 €	0,39 €	59 €	12.657,96	1.237 €	1.179 €		
25	- €	- €		150 €	150 €	0,38 €	56 €	12.569,35	1.180 €	1.123 €		
				3.750 €	37.962 €		30.623 €	342.309,48	55.540 €	24.917 €		

Στον Πίνακα 6 εμφανίζονται αναλυτικά για κάθε χρονιά όλα τα έξοδα συμπεριλαμβανομένου την αξία του χρήματος σε βάθος 25 χρόνων.

Πιο αναλυτικά:

- Στην πρώτη στήλη είναι ο αριθμός της χρονιάς που εξετάζεται.
- Στην δεύτερη στήλη «Κόστος Κατασκευής» αναγράφεται στον πρώτο χρόνο το κόστος της εγκατάστασης. Έχει προστεθεί στο 16^ο έτος ένα ποσό «ανακαίνισης» λόγω φθοράς της τάξης των 5000€.
- Στην στήλη «ΔΑΝΕΙΟ» για τα 10 πρώτα έτη θα πρέπει να προστεθούν στα έξοδα 2.281,00 ευρώ τον χρόνο, έτσι ώστε να εξοφληθεί το δάνειο.
- Στα Ίδια Κεφάλαια περιλαμβάνονται το 25% του αρχικού ποσού (6.400 €) τον πρώτο χρόνο, καθώς και τα 5000 € του 16^{ου} έτους που αναφέρθηκαν παραπάνω.
- Το κόστος συντήρησης μαζί με το κόστος ασφάλισης είναι 150€ το κάθε έτος.
- Στην στήλη «Συνολικό κόστος» περιλαμβάνεται το άθροισμα του κόστους συντήρησης, των δανείων καθώς και των άμεσων εξόδων του επενδυτή.
- Η καθαρή παρούσα αξία χρήματος έχει υπολογιστεί με επιτόκιο προεξόφλησης 4% σε βάθος 25 χρόνων για κάθε χρόνο ξεχωριστά.
- Πολλαπλασιάζοντας την καθαρή παρούσα αξία του χρήματος με το συνολικό κόστος υπολογίζεται το πραγματικό κόστος στα χρόνια αυτά.
- Στην στήλη «Υπολογισμοί για την παραγωγή kWh από την Matlab» έχει υπολογιστεί η παραγωγή του συστήματος για το πρώτο έτος, ενώ για τα επόμενα έτη έχει υπολογιστεί μια ετήσια πώση απόδοσης της τάξης του 0,7%.
- Πολλαπλασιάζοντας την ενέργεια (σε kWh) που παράγεται σε κάθε έτος με την εγγυημένη τιμή πώλησης (0,25 €/kWh), και λαμβάνοντας υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος, υπολογίζονται τα ετήσια έσοδα για κάθε έτος.

- Στην επόμενη στήλη, αφαιρώντας τα ετήσια έξοδα από τα ετήσια έσοδα κάθε έτους, υπολογίζεται το καθαρό κέρδος κάθε έτους.
- Στη συνέχεια υπολογίζεται το έτος απόσβεσης: Πότε δηλαδή θα μπορέσει η επένδυσή μας να επιστρέψει τα χρήματά της πίσω, λαμβάνοντας υπόψη τα ετήσια έσοδα και έξοδα. Η απόσβεση γίνεται στο ένατο έτος, αφού το σύστημα θα έχει παράγει τόση ενέργεια ώστε οι χρηματικές απολαβές από την ΔΕΗ (27.855,00 €) θα έχουν περάσει το συνολικό ποσό που θα έχουμε επενδύσει συμπεριλαμβανομένου του δανείου και των τόκων (27.328,00 €) . Στα επόμενα έτη (έως το έτος 2025) θα έχουν αποκομιστεί 24.917 €, λαμβάνοντας υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος. Εάν δεν τη λάβουμε υπόψη, το κέρδος είναι 47.616 €.
- Στην τελευταία στήλη υπολογίστηκε το έτος που θα γίνει απόσβεση των ιδίων κεφαλαίων.

Στον Πίνακα 7 υπολογίζονται τα αντίστοιχα μεγέθη για την περίπτωση που η κλίση των Φ/Β ήταν η βέλτιστη (30 μοίρες από Πίνακα 3 – Διάγραμμα 6).

Πίνακας 7 Υπολογισμοί Οικονομικής Απόδοσης Επένδυσης για βέλτιστη κλίση 30°

Υπολογισμός kwh απο matlab	Υπολογισμός κερδών συμπεριλαμβανομένου την αξία του χρήματος σε βάθος 20 χρόνων	Υπολογισμός Τελικών Εσόδων(+) ή Εξόδων (-) ανά έτος	Απόσβεση	Απόσβεση Ιδίων Κεφ
Παραγωγή δικτύου kwh	Κέρδη από την πώληση kW στην ΔΕΗ	Κέρδη ανα έτος		
15.187,14	3.797 €	- 5.034 €	7.416 €	- 5.034 €
15.080,83	3.619 €	1.285 €	10.866 €	- 3.749 €
14.975,26	3.450 €	1.210 €	14.156 €	- 2.539 €
14.870,43	3.289 €	1.138 €	17.291 €	- 1.401 €
14.766,34	3.135 €	1.071 €	20.280 €	- 330 €
14.662,98	2.989 €	1.007 €	23.129 €	676 €
14.560,34	2.849 €	946 €	25.845 €	
14.458,41	2.716 €	889 €	28.435 €	
14.357,20	2.589 €	835 €		
14.256,70	2.468 €	785 €		
14.156,91	2.353 €	2.253 €		
14.057,81	2.243 €	2.147 €		
13.959,40	2.138 €	2.046 €		
13.861,69	2.038 €	1.950 €		
13.764,66	1.943 €	1.858 €		
13.668,30	1.852 €	- 939 €		
13.572,63	1.766 €	1.688 €		
13.477,62	1.683 €	1.608 €		
13.383,27	1.605 €	1.533 €		
13.289,59	1.530 €	1.461 €		
13.196,56	1.458 €	1.392 €		
13.104,19	1.390 €	1.326 €		
13.012,46	1.325 €	1.264 €		
12.921,37	1.263 €	1.205 €		
12.830,92	1.204 €	1.148 €		
349.433,02	56.696 €	26.073 €		

Όπως διαπιστώνουμε η διαφορά είναι κάτι παραπάνω από 1000 €, σε 25 έτη. Το έτος της απόσβεσης θα είναι το ίδιο και στο συνολικό ποσό και στο ποσό ιδίων κεφαλαίων, με την διαφορά ότι το συγκεκριμένο έτος θα είναι μεγαλύτερο το ετήσιο εισόδημα. Η διαφορά αυτή είναι μικρή διότι όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 3.5, σε χαμηλότερες κλίσεις γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας το

καλοκαίρι, όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη παραγωγή από τα Φ/Β. Σε σχέση λοιπόν με την βέλτιστη κλίση υπάρχει μικρότερη παραγωγή τον χειμώνα, αλλά μεγαλύτερη παραγωγή το καλοκαίρι.

Κεφάλαιο 6: Σχολιασμός Αποτελεσμάτων και Αξιολόγηση Επένδυσης

Όπως υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την τοποθέτηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος 10 kW στην στέγη του συγκεκριμένου σπιτιού (στον Ωροπό Αττικής) θεωρώντας δάνειο 75% επί του συνολικού ποσού, θα πρέπει να επενδυθεί συνολικό ποσό 27.328,00€, από τα οποία τα 20.928,00 € θα προέρχονται από δανεισμό, ενώ ο επενδυτής θα πρέπει να καταβάλει το πρώτο έτος 6.400,00 €, 2.281,00 € δάνειο, και 150 € συντήρηση και ασφάλεια.

Για τα αποτελέσματα έχουν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Η ετήσια μείωση της παραγωγής kWh από το υπό μελέτη σύστημα λόγω της ετήσιας πώσης απόδοσης του Φ/Β συστήματος θεωρήθηκε ίση με 0,7%.
- Η μείωση των κερδών από την πώληση kWh στην ΔΕΗ, κάθε έτος μειώνεται αφενός από την ετήσια πώση απόδοσης του Φ/Β συστήματος, αφετέρου λόγω της καθαρής παρούσας αξίας του χρήματος σε βάθος χρόνου.
- Για τους παραπάνω λόγους υπάρχει μειωμένο ετήσιο εισόδημα στην πάροδο των ετών. Έως το δέκατο έτος τα έξοδα επιβαρύνονται λόγω του δανείου. Στο ενδέκατο έτος έχουμε το μεγαλύτερο εισόδημα και μετά για τους παραπάνω λόγους το εισόδημα αυτό μειώνεται ξανά κάθε έτος.

Η επένδυσή μας λοιπόν μας αποφέρει κέρδος σε βάθος 25 χρόνων 24.917,00 €. Σαν συμπέρασμα λοιπόν από την οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι ότι η επένδυση σε ένα οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα του 2012 - 2013 εξακολουθεί να παραμένει κερδοφόρα.

Το ποσό αυτό δεν μπορεί να χαρακτηριστεί μεγάλο εξαιτίας του βάθους χρόνου. Εάν αναλογιστούμε την οικονομική κρίση που υπάρχει σήμερα όμως, αξίζει να σημειωθεί ότι στα περισσότερα από τα έτη που θα περάσουν, θα υπάρχει ετήσιο εισόδημα σημαντικά μεγαλύτερο σε σχέση με τον βασικό μισθό που αμοιβεται σήμερα ένας

εργαζόμενος στην Ελλάδα. Επιπρόσθετα το εισόδημα αυτό λαμβάνεται με ελάχιστες "ώρες εργασίας" εννοώντας την συντήρηση του φωτοβολταϊκού συστήματος και συγκεκριμένα τον καθαρισμό των πάνελ.

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα

Από την εποχή που άρχισε να εμφανίζεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα, παρατηρήθηκε αυξημένη ζήτηση καθώς και αυξανόμενος αριθμός εγκαταστάσεων, τόσο σε μικρές κλίμακες των 10kW, όσο και σε μεγάλα Φωτοβολταϊκά πάρκα της τάξης του MW. Παρόλη την αρχική δυσπιστία που έδειχνε ο κόσμος, και την μεγάλη γραφειοκρατία που απαιτούνταν για την ολοκλήρωση ενός τέτοιου συστήματος στην αρχή, ολοένα και περισσότεροι πολίτες φιλοξένησαν στον χώρο τους τέτοια συστήματα. Οι ελκυστικές τιμές που προσέφερε η ΔΕΗ, η αφορολόγητη χρήση που είχαν τα συστήματα ανεξαρτήτως του μεγέθους καθώς και η σωστή ενημέρωση και προώθηση από εταιρείες συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό. Σήμερα όμως, η αναξιοπιστία του πολιτικού συστήματος, η μεγάλη μείωση μισθών, η αύξηση της ανεργίας, η αύξηση των φόρων καθώς και η χρήση αυτών σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος, παρόλη την αρχική δέσμευση, είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού εγκατάστασης των συστημάτων αυτών, σε πανελλαδικό επίπεδο. Αν και οι εταιρείες κατέβασαν αρκετά τις τιμές εγκατάστασης αυτό δεν βοήθησε να διατηρηθεί ο ρυθμός εγκατάστασης των παλαιότερων χρόνων. Όλα τα παραπάνω έδειξαν τον ρόλο που παίζει η πολιτεία και το πολιτικό σύστημα στην χρήση των φωτοβολταϊκών. Καθώς αυτά τα συστήματα απευθύνονται και σε κόσμο που δεν έχει γνώση του αντικειμένου, θα πρέπει να υπάρχει ένα νομοθετικό πλαίσιο πιο σταθερό, έμπιστο και κατανοητό στο ευρύ κοινό, έτσι ώστε να μπορέσει ο οποιοσδήποτε να προβεί σε αυτή την επένδυση.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

- [1] John A. Duffie & William A. Beckman , “Solar engineering of thermal processes second edition” A Wiley-interscience Publication
- [2] Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, “Φωτοβολταϊκά Συστήματα” Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2004.
- [3] Δελτίο Τύπου - Τραπεζικά επιτόκια καταθέσεων και δανείων : Ιούνιος 2012
- [4] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Ημερίδα «Ανανεώσιμων β Πηγών Ενέργειας και Αφαλάτωσης: Τεχνολογικές εξελίξεις - Νομοθετικό Πλαίσιο - Χρηματοδότηση», «Εξελίξεις των Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα», Σεπτέμβριος 2010.
- [5] Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών. Ένας Πρακτικός Τεχνικός Οδηγός. Νοέμβριος 2010.
- [6] Ιωάννη Α. Κατσιγιαννη, “Βελτιστοποίηση δομής και οικονομική αξιολόγηση απομονωμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας “Χανιά , Ιούνιος 2008
- [7] Σημειώσεις Οικονομικής Αξιολόγησης Επενδύσεων Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ - Στ. Παπαθανασίου
- [8] Καγκαράκης Κ. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
- [9] Εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια, Η πηγή. - Κ. Θ. Δέρβος

Internet

- [10] <http://www.physics4u.gr/planets/sun.html> , Accessed on 2/2/2009

- [11] http://www.spitogatos.gr/gr/articles/agora_akiniton/analyisi-i-epikarpia-sta-akinita-/1 Άρθρο του ΟΡΕΣΤΗ ΕΜΜ. ΣΕΪΜΕΝΗ Φοροτεχνικός - Σύμβουλος Οικοδομικών Επιχειρήσεων, Accessed on 08/02/13
- [12] <http://nirsepes.eu/docs/Tselepis.pdf>, Δρ.Ευστάθιος Τσελεπής , “εφαρμογές φωτοβολταϊκών στα κτήρια ”, Δεκεμβρίου 2007, Accessed on 12/01/13
- [13] http://www.orionas.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=65&Itemid=87, Accessed on 08/12/12
- [14] <http://www.solarradiation.net/>, Accessed on 08/02/13
- [15] <http://www.livepedia.gr/index.php/%CE%93%CE%B7>, Accessed on 10/02/13
- [16] http://imarinakiss.webs.com/solar_geometry.pdf, Accessed on 08/12/12
- [17] <http://www.sp-energy.gr/solar-technology/solar-phainomenon.html>, Accessed on 06/12/12
- [18] <http://el.wikipedia.org>, Accessed on 05/05/13
- [19] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMAD_ESERGASIAS/fwtovoltaika_ergwn.pdf, Accessed on 06/01/13
- [20] <http://www.selasenergy.gr/interconnected.php>, Accessed on 09/02/13
- [21] <http://www.lmco.gr/#!faq/cx4a>, Accessed on 10/03/13
- [22] http://www.lmco.gr/photovoltaics_technical.htm, Accessed on 12/10/12
- [23] http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf, (ΥΠΕΚΑ) Accessed on 12/04/13
- [24] <http://files.sma.de/dl/7418/GlobalPeak-UGR101210.pdf>, Accessed on 05/05/13

[25] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=446>, Accessed on 05/05/13

[26] http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0137/DT2011-0137.pdf, Accessed on 06/05/13