



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ & ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΑΙΟΥ

«Θεσμικό Πλαίσιο Φωτοβολταϊκών Συστημάτων- Βέλτιστη Απόδοση Μέσω Τρόπων Στήριξης»

Διπλωματική Εργασία του
Ιωάννη Μ. Ηλιάδη



Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλειος Καρασμάνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Υπεύθυνη Εκπόνησης: Αλίκη Τζίκα-Χατζοπούλου, Ομότιμη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή στις .../.../....

Βασίλειος Καρασμάνης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Ματθαίος Καρλαύτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Χρύσα Μιχαηλίδου, Λέκτορας Π.Δ. 407 Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2012

.....

Ιωάννης Μ. Ηλιάδης

Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Ιωάννης Μ. Ηλιάδης, 2012

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Το ενεργειακό πρόβλημα έχει γίνει αντιληπτό από την ανθρωπότητα εδώ και αρκετά χρόνια. Ιστορικά, η απαρχή της ολοκληρωτικής παρέμβασης του ανθρώπου στο περιβάλλον για την παραγωγή ενέργειας, έγινε πριν από δύο περίπου αιώνες κατά την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Από εκείνο το σημείο και έπειτα ο άνθρωπος καταναλώνει ακατάπαυστα φυσικούς πόρους (ορυκτούς κυρίως) για την παραγωγή ενέργειας και μάλιστα με τρόπο ανεξέλεγκτο. Το αποτέλεσμα αυτής της «εξέλιξης» συσσωρευτικά, δημιούργησε μια σειρά σημαντικών προβλημάτων με ποικίλες επιπτώσεις κυρίως στον τομέα του περιβάλλοντος (παγκόσμια υπερθέρμανση, εξάντληση φυσικών ορυκτών πόρων, όξινη βροχή κ.λπ.) αλλά και στον τομέα της παγκόσμιας οικονομίας.

Η επίλυση των συγκεκριμένων προβλημάτων είναι αναγκαία περισσότερο σήμερα παρά ποτέ. Η ανάπτυξη των εναλλακτικών πηγών ενέργειας, κυρίως της ηλιακής ενέργειας, προβάλλει ως ιδανική λύση στο ενεργειακό πρόβλημα.

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Η άμεση ηλιακή ενέργεια που φτάνει στον πλανήτη μας υπολογίζεται πως είναι πολλαπλάσια των τωρινών αναγκών μας. Συνεπώς, η διαχείριση και η εκμετάλλευσή της αποτελεί ένα στοίχημα για την ανθρωπότητα με τον ολοένα αυξανόμενο πληθυσμό και κατ'επέκταση τις ολοένα αυξανόμενες ενεργειακές της ανάγκες.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας πραγματοποιείται με πολλούς τρόπους, με κυρίαρχο τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τη νομοθεσία που τα διέπει. Επίσης, μελετάται και η βέλτιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων μέσω τρόπων στήριξης.

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προηγήθηκε εκτεταμένη έρευνα στο διαδίκτυο, σε δημόσιους φορείς καθώς και σε ελληνική και ξένη βιβλιογραφία. Συλλέχθηκε το απαραίτητο υλικό, μελετήθηκε εκτενώς και πραγματοποιήθηκε η συγγραφή της.

Λέξεις Κλειδιά

Ηλιακή Ενέργεια, Φωτοβολταϊκό κελί, Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, Φωτοβολταϊκή Συστοιχία, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Βάσεις Στήριξης, Συστήματα Ιχνηλάτησης, Νομοθεσία, Πρόγραμμα PVGIS

Abstract

The energy problem has been understood by mankind for several years. Historically, the beginning of the complete human intervention in the environment for energy production was occurred about two centuries ago, during the era of industrial revolution. From that point on, the man consumes natural resources (mainly fossil) for energy production relentlessly and with uncontrollable manner. The result of this "evolution", accumulatively, created a number of significant problems with a variety of effects, especially on the environment (global warming, depletion of natural mineral resources, acid rain, etc.) but also on the global economy.

The solution to these problems is needed more than ever. The development of alternative energy sources, especially solar energy, emerges as an ideal solution to the energy problem.

Solar energy is an inexhaustible source of energy. The direct solar energy that reaches our planet is estimated to be multiple of our current needs. Therefore, the management and exploitation of solar energy is a challenge for humanity with the growing population and, thus, with the growing energy needs.

The exploitation of solar energy can be achieved in many ways, mainly with the use photovoltaic systems that convert solar energy into electricity.

This thesis deals with photovoltaic systems and the legislation that governs them. Also, we study the optimum performance of photovoltaic systems that is achieved by support structures.

Extensive research on the internet, in public institutions and in Greek and foreign literature preceded the elaboration of this thesis. The necessary material was collected and studied extensively and the writing of this thesis was accomplished.

Keywords

Solar Energy, Photovoltaic Cell, Photovoltaic Module, Photovoltaic String, Photovoltaic Systems, Support Structures, Tracking Systems, Legislation, PVGIS System

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Αλίκη Τζίκα-Χατζοπούλου, Ομότιμη Καθηγήτρια του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για την πολύτιμη βοήθειά της στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Παναγιώτη Λάϊο, Μηχανικό Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, για το υλικό που μου παρείχε, καθώς και για τη συνεχή υποστήριξή του στην επίλυση των αποριών μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην Πέγκυ Γρίβα, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικό Υπολογιστών, για την ουσιαστική συνεισφορά της κατά τη συγγραφή της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

1. Ήλιος και Γη.....	10
1.1. Ηλιακή Ενέργεια.....	11
1.2. Κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο.....	12
1.3. Βασικά στοιχεία της ηλιακής γεωμετρίας.....	15
1.4. Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας.....	18
1.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία.....	20
Βιβλιογραφία 1 ^{ου} Κεφαλαίου.....	24

Κεφάλαιο 2

2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	25
2.1. Ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	27
2.2. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	28
2.3. Δομικά στοιχεία φωτοβολταϊκού συστήματος.....	32
2.3.1. Το φωτοβολταϊκό κελί (PV Cell).....	32
2.3.2. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV Module).....	38
2.3.3. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV String).....	40
2.4. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	40
2.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	42
2.6. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	44
2.7. Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.....	47
Βιβλιογραφία 2 ^{ου} Κεφαλαίου.....	49

Κεφάλαιο 3

3. Βέλτιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων μέσω τρόπων στήριξης...50	
3.1. Σταθερές Βάσεις.....	51
3.1.1. Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη.....	51
3.1.1.1. Αρχές Σχεδιασμού.....	52
3.1.2. Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη.....	57
3.2. Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (trackers)60	

3.2.1. Συστήματα μονού άξονα (single axis systems).....	60
3.2.2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis systems).....	64
3.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.....	66
3.3. Σκίαση.....	70
3.4. Πρόγραμμα PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System).....	71
3.5. Συμπεράσματα.....	75
Βιβλιογραφία 3 ^{ου} Κεφαλαίου.....	76

Κεφάλαιο 4

4. Νομοθεσία - Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	77
4.1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα έως 10kWp σε Στέγες Κτιρίων.....	80
4.1.1. Οικιακοί Παραγωγοί.....	81
4.1.2. Μικρές Επιχειρήσεις.....	83
4.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές & Εμπορικές Στέγες (>10kWp).....	85
4.2.1. Μονάδες Δυναμικότητας από 10 kWp έως 100 kWp.....	86
4.2.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 100 kWp έως 1000 kWp.....	87
4.2.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp.....	87
4.3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί Εδάφους.....	88
4.3.1. Μονάδες Δυναμικότητας.....	89
4.3.1.1. Μονάδες Δυναμικότητας έως 500 kWp.....	89
4.3.1.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 500 kWp έως 1000 kWp.....	90
4.3.1.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp.....	91
4.3.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα για Αγρότες.....	93
4.4. Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.....	94
4.5. Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	96
Βιβλιογραφία 4 ^{ου} Κεφαλαίου.....	98

Κεφάλαιο 5

Οικονομοτεχνική Μελέτη Φωτοβολταϊκού Πάρκου Ισχύος 100kWp.....	99
--	----

<u>Συμπεράσματα</u>	118
----------------------------------	-----

ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ

ΡΑΕ: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

ΔΕΣΜΗΕ: Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΕΠΑΕ: Επιτροπή Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου

ΕΠΟ: Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων

ΥΠΕΚΑ: Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

ΦΕΚ: Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως

ΥΑ: Υπουργική Απόφαση

ΚΥΑ: Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΚΑΠΕ: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

ΟΤΑ: Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

ΜΜΕ: Μικρομεσαία Επιχείρηση

ΔΙΠΕΧΩ: Διεύθυνση Περιβάλλοντος και Χωροταξίας

ΒΙΠΕ: Βιομηχανική Περιοχή

ΒΙΠΑ: Βιομηχανικό Πάρκο

ΓΓΥΠ: Γεωργική Γη Υψηλής Παραγωγικότητας

ΥΑΠΕ: Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών για έργα ΑΠΕ

Εισαγωγή

Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στη σημασία της ηλιακής ενέργειας και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της ηλιακής γεωμετρίας και της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο. Επίσης, παρουσιάζονται οι τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετώνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αρχικά, πραγματοποιείται ιστορική αναδρομή στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία και στη συνέχεια ορίζεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και παρουσιάζονται αναλυτικά τα δομικά στοιχεία και τα είδη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τέλος, αναφέρονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, καθώς και οι λόγοι που συντελούν στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα.

Στο τρίτο κεφάλαιο ασχολούμαστε με τους τρόπους στήριξης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και το πως αυτοί επιδρούν στην απόδοσή τους. Παρουσιάζονται τα συστήματα σταθερών βάσεων και τα συστήματα συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης με τις αντίστοιχες υποκατηγορίες τους. Τέλος, γίνεται παρουσίαση του προγράμματος PVGIS, το οποίο υπολογίζει την εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος για δεδομένη τοποθεσία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο μελετάται η νομοθεσία που διέπει τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και η διαδικασία αδειοδότησής τους. Παρουσιάζεται η νομοθεσία για φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγες κτιρίων (έως 10kWp), για συστήματα σε βιομηχανικές στέγες (>10kWp) και για συστήματα επί εδάφους απεριόριστης δυναμικότητας. Επίσης, παρουσιάζεται τι ισχύει στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων νησιών. Τέλος, παρατίθεται πίνακας ο οποίος απεικονίζει την τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια οικονομοτεχνική μελέτη για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου δυναμικότητας 100kWp.

Κεφάλαιο 1^ο

Ήλιος και Γη

1.1. Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Η άμεση ηλιακή ενέργεια που φτάνει στον πλανήτη μας υπολογίζεται πως είναι πολλαπλάσια των τωρινών αναγκών μας. Συνεπώς, η διαχείριση και η εκμετάλλευσή της αποτελεί ένα στοίχημα για την ανθρωπότητα με τον ολοένα αυξανόμενο πληθυσμό και κατ'επέκταση τις ολοένα αυξανόμενες ενεργειακές της ανάγκες.

Η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μία «καθαρή» μορφή ενέργειας εν συγκρίσει με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη ποικίλων περιβαλλοντικών προβλημάτων, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επομένως, η ηλιακή ενέργεια μπορεί εν δυνάμει να αποτελέσει μία σημαντική μορφή ενέργειας προς εκμετάλλευση.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι πραγματικά τεράστιο. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι σε λιγότερο από μία ώρα η ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στη γη θα μπορούσε να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις για ένα χρόνο αν μπορούσε να αξιοποιηθεί. Επίσης, όλη η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στα παγκόσμια κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από μόλις 20 ημέρες ηλιοφάνειας.

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για τη διατήρηση της ζωής στη γη καθώς αποτελεί άμεσα ή έμμεσα την κινητήρια και ζωογόνο δύναμη που κινεί κάθε βιολογικό και φυσικό σύστημα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις άλλες μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) εξαρτώνται από τον ήλιο. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα ή, υπό κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσουν στη δημιουργία πετρελαίου μετά από εκατομμύρια χρόνια. Η θερμότητα του ήλιου δημιουργεί θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ περιοχών και ανάπτυξη ανέμων, η ενέργεια των οποίων χρησιμοποιείται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, ποσότητες νερού εξατμίζονται λόγω της θερμότητας του ήλιου, πέφτουν ως βροχή σε υψόμετρα και κατηφορίζουν προς τη θάλασσα, με δυνατότητα εκμετάλλευσης της δυναμικής τους ενέργειας σε υδροηλεκτρικές γεννήτριες. Ωστόσο, με τον όρο «ηλιακή ενέργεια» αναφερόμαστε συνήθως στην ενέργεια του ήλιου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή κυρίως θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι στα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας (ηλεκτρικής ή θερμικής), η πρώτη ύλη είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας.

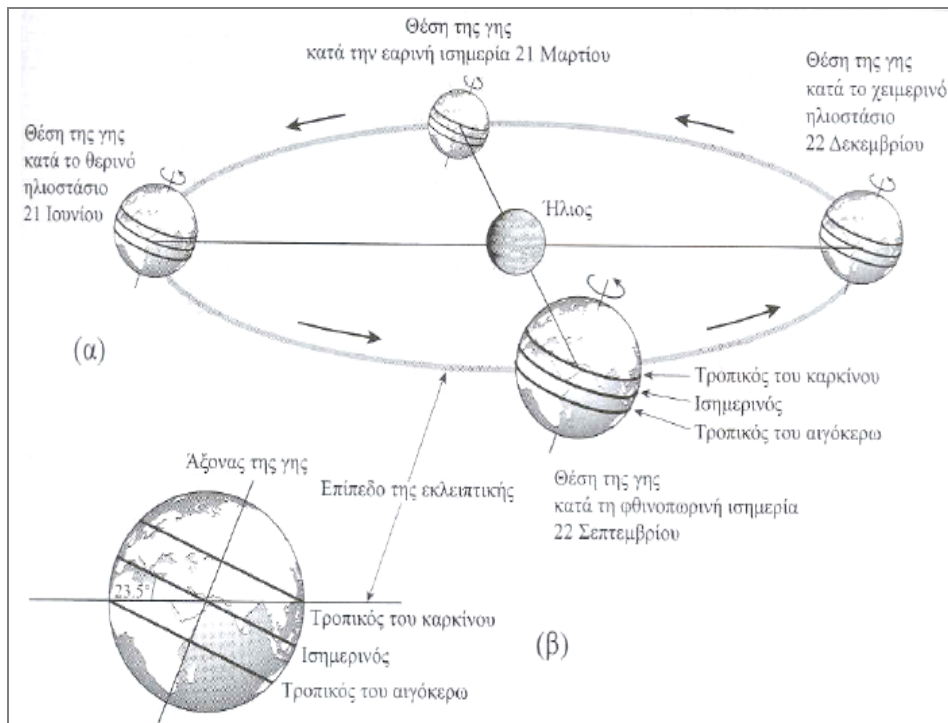
1.2. Κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- Περιφορά γύρω από τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μία εκ των δύο εστιών. Μία πλήρης περιστροφή ολοκληρώνεται σε 365.25 μέρες. Το σημείο της τροχιάς της γης που βρίσκεται πλησιέστερα στον ήλιο, σε απόσταση περίπου 147 εκατομμύρια χιλιόμετρα ονομάζεται περιήλιο και συμβαίνει στις 2 Ιανουαρίου. Αντίθετα, το σημείο της τροχιάς όπου η γη βρίσκεται στη μεγαλύτερη δυνατή απόσταση, περίπου 152 εκατομμύρια χιλιόμετρα, ονομάζεται αφήλιο και συμβαίνει στις 2 Ιουλίου.
- Περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της.

Η γη περιστρέφεται μία φορά την ημέρα γύρω από τον άξονά της (πολικός άξονας), ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο διατηρώντας μια σταθερή γωνία που ισούται με $23,45^\circ$. Αυτή η γωνία είναι υπεύθυνη για το ότι ο ήλιος φαίνεται ψηλότερα στον ουρανό το καλοκαίρι απ' ό,τι το χειμώνα. Επίσης, εξαιτίας της γωνίας αυτής είναι μεγαλύτερη η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι.

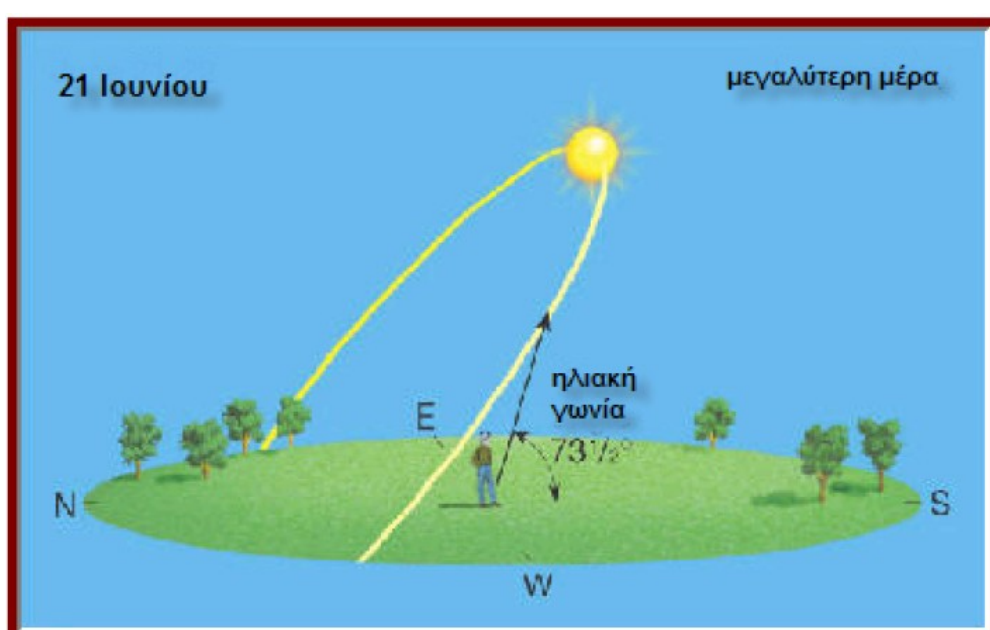
Στην Εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο και η κλίση του άξονά της σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις της γης κατά τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 1.1. Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο
(Πηγή: Κουλάκος Σ., «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές»)

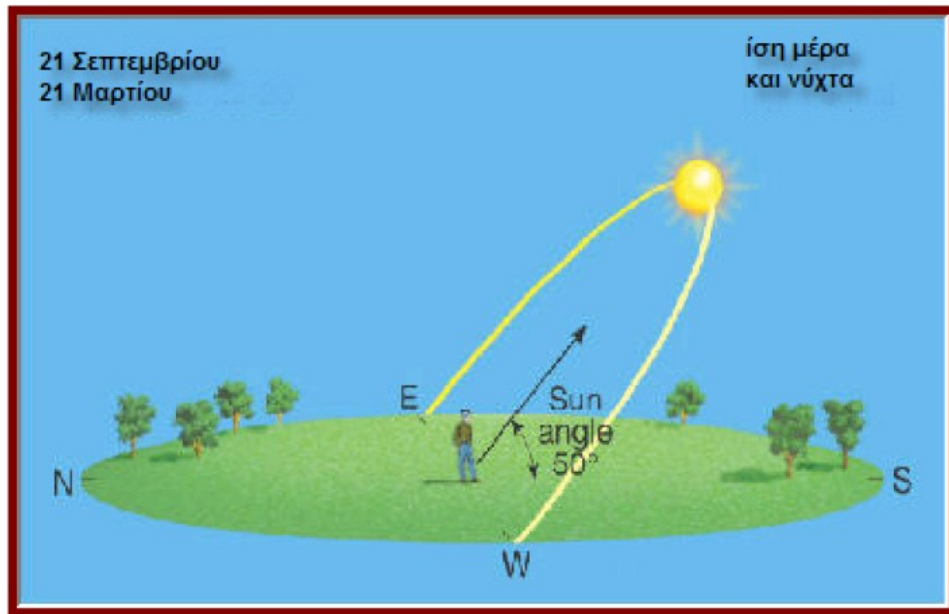
Καθώς η γη αλλάζει θέση στην ετήσια τροχιά της περί τον ήλιο, αλλάζει το ύψος μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνειά της. Για να γίνει κατανοητή η ηλιακή διαδρομή και η θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους, θα παραθέσουμε τις σχετικές του θέσεις σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Για τόπο στο βόρειο ημισφαίριο και γεωγραφικό πλάτος ίσο με 40° , ισχύουν τα εξής (τα αντίθετα ισχύουν για τόπους στο νότιο ημισφαίριο):

- Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, και συγκεκριμένα κατά το θερινό ηλιοστάσιο που συμβαίνει στις 21 Ιουνίου, η θέση μεσουράνησης του ήλιου παίρνει τη μέγιστη τιμή της, ο ήλιος σχηματίζει τη μεγαλύτερη γωνία και έχουμε τη μεγαλύτερη σε διάρκεια μέρα. Τα παραπάνω απεικονίζονται στην ακόλουθη Εικόνα.



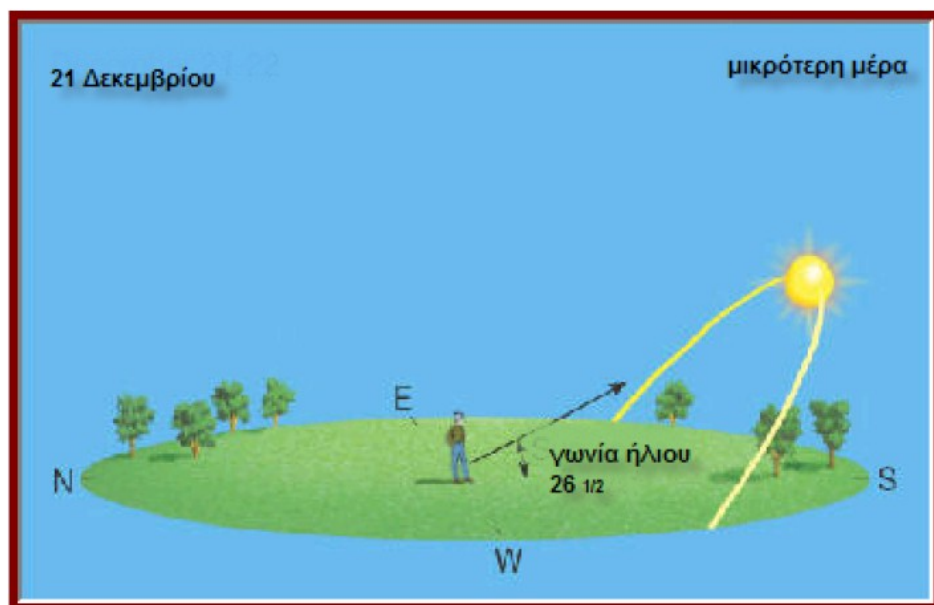
Εικόνα 1.2. Θερινό ηλιοστάσιο στις 40° βόρεια
(Πηγή: Σωτήρχος Δ., «Εκτίμηση δεικτών ηλιακής ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον»)

- Μετά τη θερινή ισημερία σταδιακά αρχίζει η μέρα να μικραίνει καθώς η τροχιά του ήλιου αρχίζει επίσης να διαγράφεται μικρότερη στον ουρανό φτάνοντας στην 21^η Σεπτεμβρίου, όπου και έχουμε τη διάρκεια της μέρας ίση με τη διάρκεια της νύχτας. Η ημερομηνία αυτή συμπίπτει με την φθινοπωρινή ισημερία και η μέγιστη γωνία που έχει ο ήλιος την ημέρα αυτή είναι 50° . Τα ίδια χαρακτηριστικά επαναλαμβάνονται και την 21^η Μαρτίου κατά τη διάρκεια της εαρινής ισημερίας.



Εικόνα 1.3. Φθινοπωρινή και εαρινή ισημερία στις 40° βόρεια
(Πηγή: Σωτήρχος Δ., «Εκτίμηση δεικτών ηλιακής ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον»)

- Ακολουθώντας της φθινοπωρινής ισημερίας, η τροχιά του ήλιου συνεχίζει να μειώνεται, ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ουρανό και η μέρα έχει την μικρότερη διάρκειά της κατά την $21^{\text{η}}$ Δεκεμβρίου, με την μικρότερη ηλιακή γωνία που φτάνει στις $26,5^\circ$. Κατά τη διάρκεια των ημερών αυτών, ο ήλιος δεν ανατέλλει ακριβώς από την ανατολή, όπως γίνεται στις ισημερίες, αλλά νοτιότερα αυτής και αντίστοιχα δύει νοτιότερα της δύσης. Μετά τη χειμερινή ισημερία η μέρα αρχίζει ξανά σταδιακά να μεγαλώνει ώσπου να γίνει ίση με τη νύχτα κατά την εαρινή ισημερία που έχουμε ήδη περιγράψει.



Εικόνα 1.4. Χειμερινό ηλιοστάσιο στις 40° βόρεια
(Πηγή: Σωτήρχος Δ., «Εκτίμηση δεικτών ηλιακής ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον»)

1.3. Βασικά στοιχεία της ηλιακής γεωμετρίας

Για την καλύτερη κατανόηση της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα επίπεδο στην επιφάνεια της γης, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θέση του τόπου καθώς και τη θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο.

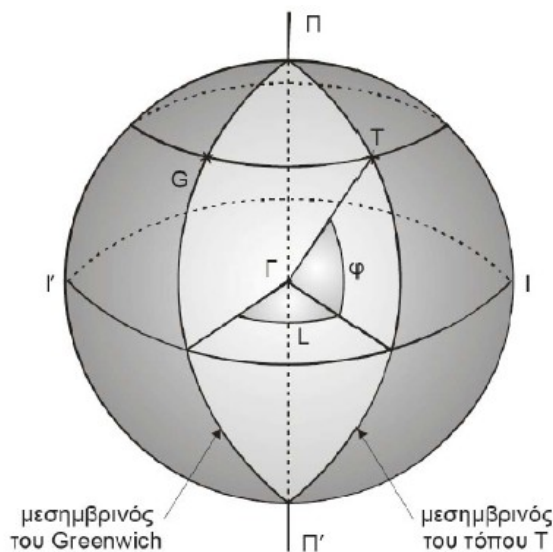
Τα βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη θέση του τόπου και την ηλιακή γεωμετρία είναι τα εξής:

➤ Γεωγραφικό πλάτος και Γεωγραφικό μήκος

Οι κύκλοι που είναι παράλληλοι στον ισημερινό ονομάζονται παράλληλοι κύκλοι. Τα ημικύκλια που διέρχονται από τους πόλους ονομάζονται μεσημβρινοί. Από κάθε σημείο της επιφάνειας της γης περνάει ένας παράλληλος κύκλος και ένας μεσημβρινός. Βασικός μεσημβρινός θεωρείται αυτός που περνάει από το αστεροσκοπείο του Greenwich (G). Προκειμένου να καθοριστεί η θέση ενός τόπου στην επιφάνεια της γης απαιτείται να οριστεί το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος.

Γεωγραφικό πλάτος (Φ) ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει το κέντρο της γης με τον τόπο και του ισημερινού επιπέδου. Το γεωγραφικό πλάτος παίρνει τιμές από 0° μέχρι 90° για το βόρειο ημισφαίριο και από 0° μέχρι -90° για το νότιο ημισφαίριο.

Γεωγραφικό μήκος (L) ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται από το μεσημβρινό του Greenwich και το μεσημβρινό επιπέδου του τόπου. Το γεωγραφικό μήκος παίρνει τιμές από 0° μέχρι -180° για τόπους ανατολικά του Greenwich και από 0° μέχρι 180° για τόπους δυτικά του Greenwich.



Εικόνα 1.5. Γεωγραφικό πλάτος-Γεωγραφικό μήκος
(Πηγή: Κτενίδης Γ., «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW)

➤ Σφαιρικές συντεταγμένες

Για τον καθορισμό της ακριβούς θέσης ενός άστρου, όπως είναι ο ήλιος, στον ουράνιο θόλο χρησιμοποιούνται σφαιρικές συντεταγμένες.

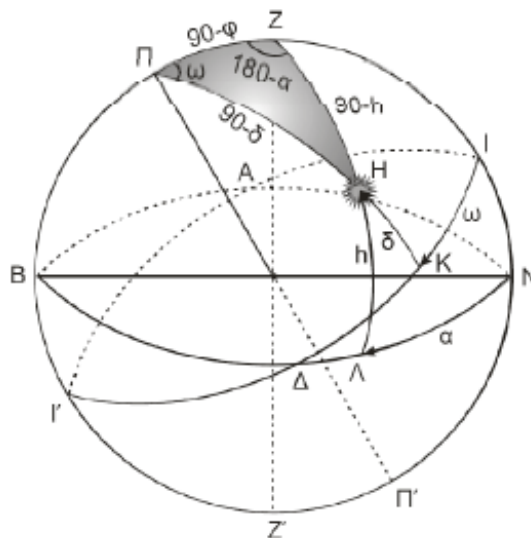
Αζιμούθιο του ήλιου (α): Ονομάζεται το τόξο ΝΛ. Μετράται επί του ορίζοντος από το νότο (N) προς τη δύση από 0° μέχρι 180° και από το νότο (N) προς την ανατολή 0° μέχρι -180° .

Ύψος του ήλιου (h): Ονομάζεται το τόξο ΛΗ. Μετράται από τον ορίζοντα προς το ζενίθ από 0° μέχρι 90° και από τον ορίζοντα προς το ναδίρ (Z') από 0° μέχρι -90° .

Ζενίθια γωνία του ήλιου (θ_z): Μετράται από τον ορίζοντα προς το ζενίθ από 0° μέχρι 90° και από τον ορίζοντα προς το ναδίρ από 0° μέχρι -90° .

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω, ισχύει $h=90^\circ-\theta_z$.

Ωριαία γωνία του ήλιου (ω): Καλείται το τόξο ΙΚ. Μετράται επί του ουρανίου ισημερινού από το Ι προς τη δύση από 0° μέχρι 360° θετικά, ή από την αντίθετη κατεύθυνση αρνητικά.



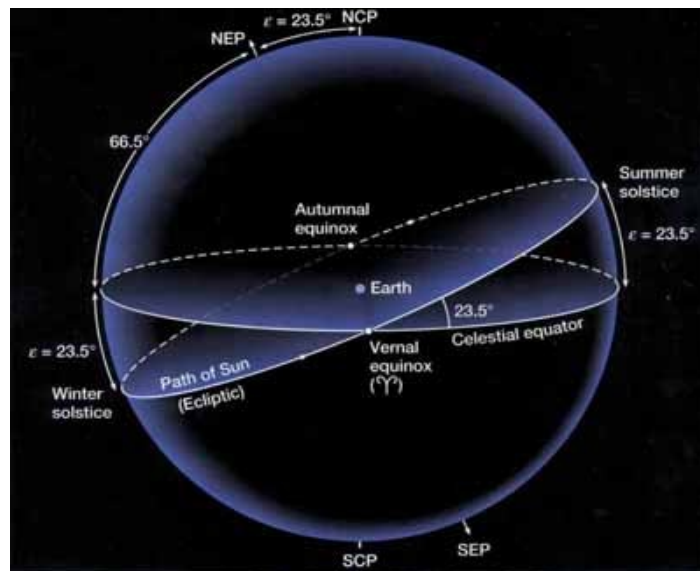
Εικόνα 1.6. Ουράνιος θόλος

(Πηγή: Κτενίδης Γ., «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW)

Απόκλιση του ήλιου (δ): Ονομάζεται το τόξο ΚΗ. Γενικά η απόκλιση του ήλιου μπορεί να ορισθεί σαν η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου και την προβολή της ευθείας αυτής στο ισημερινό επίπεδο. Μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους και η σχέση που μας επιτρέπει τον υπολογισμό για οποιαδήποτε ημέρα (h) του έτους είναι:

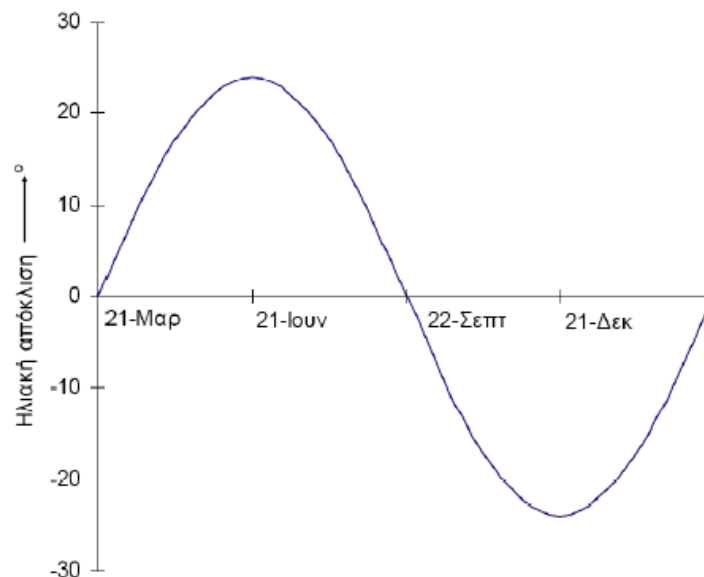
$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

Η απόκλιση παίρνει τη μέγιστη τιμή της κατά το θερινό ηλιοστάσιο και είναι $23,45^\circ$. Την ελάχιστη τιμή της τη λαμβάνει κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο και είναι $-23,45^\circ$.



Εικόνα 1.7. Ισημερίες και Ηλιοστάσια

(Πηγή: http://www.sciencenews.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=260&Itemid=37)



Εικόνα 1.8. Ετήσια μεταβολή της απόκλισης του ήλιου

(Πηγή: Κτενίδης Γ., «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW)

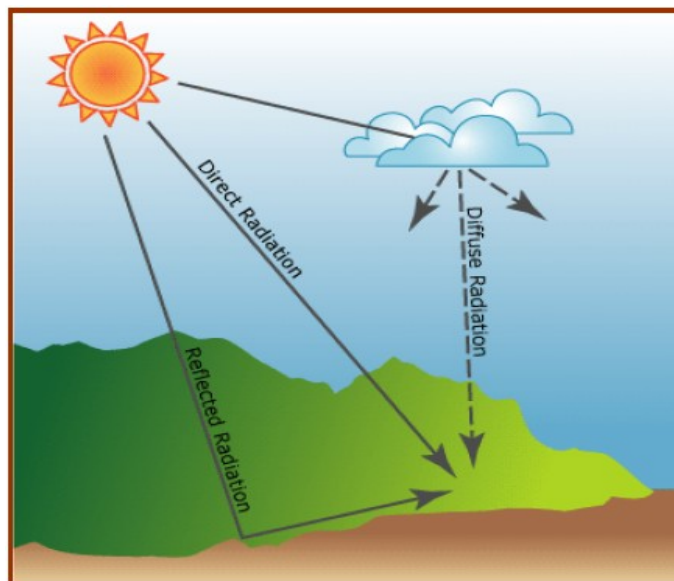
1.4. Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, κατά τη διάρκεια του ταξιδιού της από τον ήλιο, υφίσταται κάποιες τροποποιήσεις με το πέρασμα της από την γήινη ατμόσφαιρα. Οι νεφώσεις αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ το όζον ή το οξυγόνο απορροφούν ένα τμήμα της. Επίσης, σταγονίδια νερού ή σκόνης στην ατμόσφαιρα οδηγούν στη διασπορά της. Περαιτέρω τροποποίηση της ακτινοβολίας πραγματοποιείται και λόγω της τοπογραφίας και των χαρακτηριστικών της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει. Επομένως, η ολική ακτινοβολία η οποία φτάνει στην επιφάνεια της γης αποτελείται από τις εξής τρεις συνιστώσες:

- Άμεση ακτινοβολία (direct radiation): Η ακτινοβολία η οποία προέρχεται απευθείας από τον ηλιακό δίσκο.
- Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation): Η ακτινοβολία η οποία προέρχεται από ανακλάσεις από τον ουράνιο θόλο.
- Ανακλώμενη ακτινοβολία (albedo radiation): Η ακτινοβολία η οποία προέρχεται από ανακλάσεις του εδάφους.

Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που μεταδίδεται ανεμπόδιση, σε ευθεία γραμμή από τον ήλιο. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι αυτή που φτάνει στη γήινη επιφάνεια αφού πρώτα διασπαρεί (διαχυθεί) από διάφορα ατμοσφαιρικά συστατικά, όπως τα σύννεφα και άλλα μικροσωματίδια (σκόνη, ρύποι, κ.λπ). Η ανακλώμενη ακτινοβολία αντανακλάται από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά και μπορεί να ανακλαστεί και να διασκορπιστεί κατά μήκος της επιφάνειας της γης ή να επιστρέψει πίσω στην ατμόσφαιρα.

Οι παραπάνω τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας απεικονίζονται στην παρακάτω Εικόνα.



Εικόνα 1.9. Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης
(Πηγή: www.google.gr)

Παρακάτω παραθέτουμε Πίνακα στον οποίο παρουσιάζεται η ολική ετήσια ακτινοβολία, σε kWh/m², σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, σε επίπεδα με διάφορες κλίσεις και νότιο προσανατολισμό.

	0°	30°	45°	60°	90°
ΑΘΗΝΑ	1581	1730	1680	1549	1090
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	1403	1544	1505	1395	1000
ΚΟΡΙΝΘΟΣ	1526	1666	1617	1490	1050
ΠΑΡΟΣ	1629	1751	1685	1538	1058
ΠΑΤΡΑ	1479	1611	1563	1441	1018
ΧΑΝΙΑ	1630	1738	1667	1517	1033

Πίνακας 1.1. Συνολική ετήσια ακτινοβολία
(Πηγή: RETScreen Data, NASA)

Ένα μέτρο της ποσότητας της ανακλώμενης ακτινοβολίας μιας επιφάνειας αποτελεί η λευκαύγεια ή albedo. Το εύρος των τιμών της λευκαύγειας διαφόρων επιφανειών είναι από 0 έως 1. Πιο συγκεκριμένα, όταν η λευκαύγεια παίρνει την τιμή 0 δεν ανακλάται καμία ακτινοβολία καθώς απορροφάται όλη η ποσότητα, ενώ όταν παίρνει την τιμή 1 όλη η ακτινοβολία ανακλάται και δεν υπάρχει καθόλου απορρόφηση (Graves, 1998).

Στον Πίνακα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε ενδεικτικές τιμές της λευκαύγειας που έχουν ορισμένες επιφάνειες. Όπως είναι λογικό όσο πιο σκούρα είναι μια επιφάνεια, τόσο λιγότερο θα είναι το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας και κατά συνέπεια η τιμή της λευκαύγειας θα πλησιάζει το 0.

Παρατηρώντας τον Πίνακα, συμπεραίνουμε ότι τα μετεωρολογικά φαινόμενα και το μικροκλίμα μιας περιοχής διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αβεβαιότητα των υπολογισμών της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Πράγματι, σύμφωνα με τον Πίνακα, η ανακλαστικότητα των νεφών κυμαίνεται από 0,3 έως 0,9, γεγονός που προσδίδει μεγάλη αστάθεια στις μετρήσεις μιας περιοχής. Επίσης, οι περιοχές με μεγάλο υψόμετρο δέχονται περισσότερη ακτινοβολία λόγω της μικρότερης πυκνότητας του αέρα σε αυτά τα σημεία.

Σε γενικές γραμμές η άμεση ακτινοβολία αποτελεί την κύρια συνιστώσα της εισερχόμενης ακτινοβολίας καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο ποσοστό της. Η ανακλώμενη ακτινοβολία αποτελεί συνήθως ένα πολύ μικρό ποσοστό της ολικής ακτινοβολίας με εξαίρεση τις περιοχές εκείνες που περιβάλλονται από ισχυρά αντανακλαστικές επιφάνειες, όπως η χιονοκάλυψη.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΛΕΙΠΤΟΜΕΡΕΙΑ	ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ
	υγρό και σκούρο	0.05
έδαφος	στεγνό και ανοικτόχρωμο	0.40
άμμος		0.015-0.45
γρασίδι	ψηλό	0.06
	χαμηλό	0.26
αγροτικές καλλιέργειες		0.18-0.25
τούντρα		0.18-0.25
δάση	φυλλοβόλα	0.15-0.20
	κωνοφόρα	0.05-0.15
	μικρή γωνία προσπτώσεως	0.03-0.10
νερό	μεγάλη γωνία προσπτώσεως	0.10-1.0
	παλιό	0.40
χιόνι	φρέσκο	0,95
	θαλάσσιος	0,30-0,45
πάγος	παγετώνας	0,20-0,40
	πυκνά	0,60-0,90
σύννεφα	αραιά	0,30-0,50

Πίνακας 1.2. Τιμές της λευκαύγειας διαφόρων επιφανειών (Πηγή: Oke, 1992, Ahrens, 2006, στο http://serc.carleton.edu/research_education)

1.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία

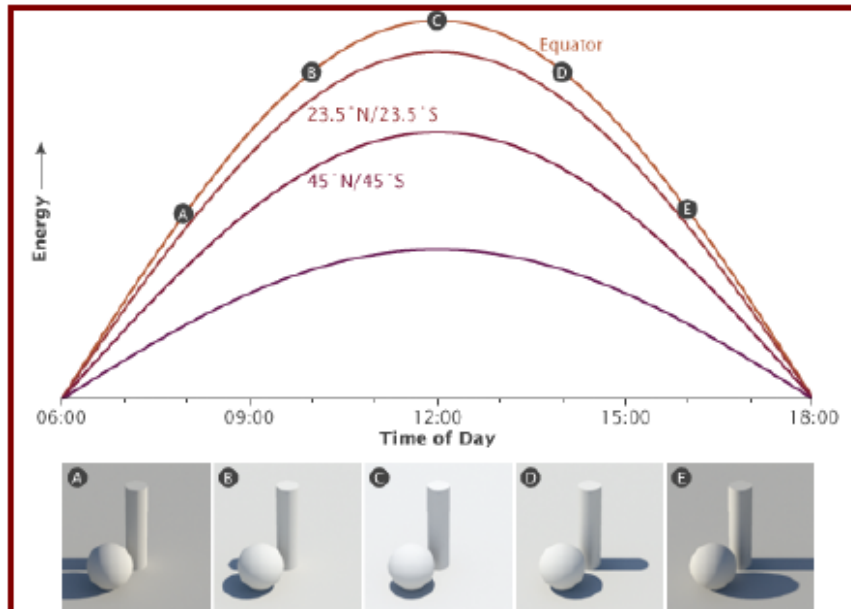
Ο ήλιος παράγει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας από το οποίο ένα μέρος κατακρατείται από την εξωτερική ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, λόγω της ανάκλασης, της διάχυσης, της σκέδασης και της απορρόφησης εξαιτίας των αερίων και των αερολυμάτων (aerosols), μόνο το 47% της ενέργειας αυτής φτάνει στη επιφάνεια της γης.

Η ποσότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας και μέρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι είναι:

- το ηλιακό αζιμούθιο (σε μοίρες)
- το υψόμετρο του ήλιου (σε μοίρες)
- η απόστασης γης-ήλιου
- το κλίμα της περιοχής
- η ηλιακή απόκλιση
- το υψόμετρο της περιοχής

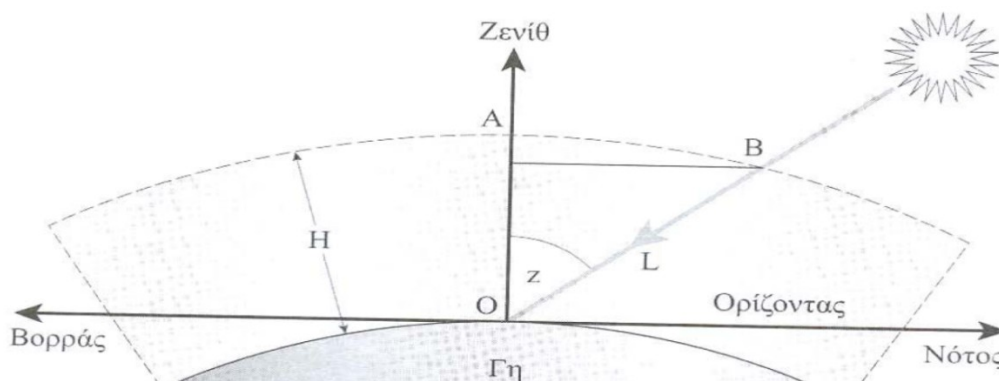
- η εποχή του έτους
- η κλίση και η διεύθυνση της επιφάνειας αναφορικά με τον ήλιο

Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη διαφοροποιείται λόγω της κίνησης του ήλιου. Η διαφορά αυτή είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ώρα της ημέρας και την εποχή.



Εικόνα 1.10. Συσχέτιση ενέργειας με το γεωγραφικό πλάτος και την ώρα της ημέρας (Πηγή: <http://earthobservatory.nasa.gov>)

Η μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται γενικά κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, τη στιγμή δηλαδή που ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της διαδρομής του και οι ηλιακές ακτίνες ακολουθούν τη συντομότερη διαδρομή μέσα από την ατμόσφαιρα. Αντίθετα, σε χαμηλότερο ηλιακό υψόμετρο η ακτίνα διανύει μεγαλύτερη απόσταση στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1.11. Απόσταση του ήλιου και απόσταση που διανύουν οι ηλιακές ακτίνες (Πηγή: Κουλάκος Σ., «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές»)

Από το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης περίπου 1/3 από αυτό ανακλάται πίσω στο διάστημα και ένα μέρος του απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Όταν η ηλιακή ενέργεια φτάσει στην ατμόσφαιρα, η ισχύς της μειώνεται σε περίπου 1kW/m^2 κατά τις μεσημβρινές ώρες σε καθαρό ουρανό. Αν λάβουμε υπόψη όλη την επιφάνεια της γης, κάθε τετραγωνικό μέτρο δέχεται κατά μέσο όρο περίπου $4,2\text{kWh}$ την ημέρα.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης ποικίλει στη διάρκεια του έτους, από μία ελάχιστη μέση τιμή της τάξης των $0,8\text{kWh/m}^2$ την ημέρα στη Βόρεια Ευρώπη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, έως και 4kWh/m^2 το καλοκαίρι στην ίδια περιοχή. Οι διαφορές αυτές μειώνονται σε περιοχές που πλησιάζουν τον ισημερινό.

Η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας ποικίλει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του τόπου και είναι υψηλότερη σε περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα προς τον ισημερινό. Έτσι, η μέση ετήσια παγκόσμια ακτινοβολία που δέχεται μία επιπεδη οριζόντια επιφάνεια ανέρχεται σε περίπου 1000kWh/m^2 στη Κεντρική Ευρώπη, την Κεντρική Ασία και τον Καναδά και φθάνει περίπου σε 1700kWh/m^2 στη Μεσόγειο και σε περίπου 2200kWh/m^2 στις περισσότερες περιοχές του ισημερινού, σε χώρες της Αφρικής και στις ερήμους τις Αυστραλίας. Τα ποσοστά ενέργειας στις ερήμους μπορούν να ξεπεράσουν τις 6kWh/m^2 την ημέρα. Σε γενικές γραμμές, οι εποχιακές και γεωγραφικές διαφορές στην ακτινοβολία είναι σημαντικές και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για όλες τις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας. Τα παραπάνω απεικονίζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

	Νότια Ευρώπη	Χώρες της Κεντρικής Ευρώπης	Βόρεια Ευρώπη	Καραϊβική
Ιανουάριος	2,6	1,7	0,8	5,1
Φεβρουάριος	3,9	3,2	1,5	5,6
Μάρτιος	4,6	3,6	2,6	6,0
Απρίλιος	5,9	4,7	3,4	6,2
Μάιος	6,3	5,3	4,2	6,1
Ιούνιος	6,9	5,9	5,0	5,9
Ιούλιος	7,5	6,0	4,4	6,0
Αύγουστος	6,6	5,3	4,0	6,1
Σεπτέμβριος	5,5	4,4	3,3	5,7
Οκτώβριος	4,5	3,3	2,1	5,3
Νοέμβριος	3,0	2,1	1,2	5,1
Δεκέμβριος	2,7	1,7	0,8	4,8
ΕΤΟΣ	5,0	3,9	2,8	5,7

Πίνακας 1.3. Ετήσια ποσά ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m^2 στο έτος σε διάφορα σημεία του πλανήτη
(Πηγή: energy.saving.nu)

Αναφορικά με το κλίμα μιας περιοχής και το πώς αυτό επηρεάζει την εισερχόμενη ακτινοβολία, πρέπει να αναφερθεί ότι ο κυριότερος παράγοντας είναι τα σύννεφα. Επομένως, οι νεφοσκεπείς χώρες λαμβάνουν κατά τη διάρκεια του έτους λιγότερη ακτινοβολία. Ο σχηματισμός όμως των νεφών επηρεάζεται και από τοπικά γεωγραφικά χαρακτηριστικά, όπως τα βουνά, οι ωκεανοί, καθώς και οι μεγάλες λίμνες. Έτσι, το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν οι περιοχές αυτές μπορεί να διαφέρει από αυτό που λαμβάνουν οι γειτονικές τους περιοχές. Τα βουνά για παράδειγμα, μπορεί να λαμβάνουν μικρότερο ποσό λογικής ακτινοβολίας από παρακείμενους λόφους και πεδιάδες, μιας και σε αυτά λόγω τοπικών συνθηκών θερμοκρασίας ευνοείται ο σχηματισμός νεφών. Με τον ίδιο μηχανισμό και οι ακτές μπορούν επίσης να δεχθούν μικρότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας από την ενδοχώρα εξαιτίας της μεγαλύτερης νέφωσης που παρατηρείται τοπικά από την εξάτμιση του θαλάσσιου υδάτινου όγκου.

Εν κατακλείδι, μπορούμε να πούμε πως η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Βιβλιογραφία 1^{ου} Κεφαλαίου

- [1] Μοσχάτος Α., «Ηλιακή Ενέργεια», ΤΕΕ, Αθήνα 1992
- [2] Κουλάκος Σ., «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών – Κώδικας – Εφαρμογές», Οκτώβριος 2010
- [3] Αρκούδης Γ., «Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα», Οκτώβριος 2007
- [4] Κολλάρου Κ., «Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας σε Κτίρια», Ιούλιος 2011
- [5] Σωτήρχος Δ., «Εκτίμηση Δεικτών Ηλιακής Ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον», Μάιος 2009
- [6] http://morfologia.arch.duth.gr/1o_etos/pdf/iliasmos.pdf
- [7] http://spirit16.blogspot.com/2009/09/blog-post_25.html
- [8] <http://el.wikipedia.org>

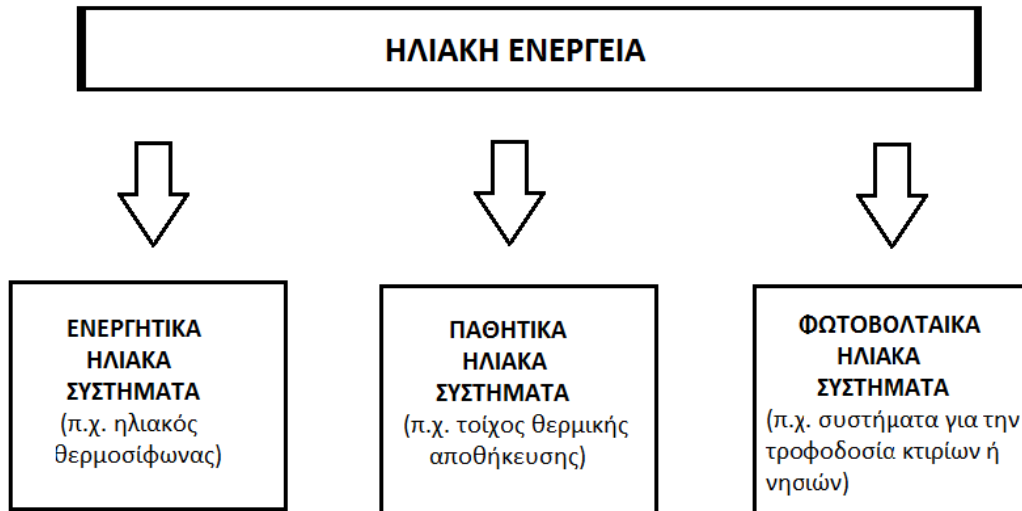
Κεφάλαιο 2^ο

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Εισαγωγή

Σήμερα, η ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιείται με πολλούς τρόπους:

- Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται *ενεργητικά ηλιακά συστήματα*. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική και χρησιμοποιούνται σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λπ. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες.
- Με τα *παθητικά ηλιακά συστήματα*, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για το δρόσιμά τους το καλοκαίρι. Τα παθητικά λοιπόν ηλιακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και την αξιοποιούν για τη θέρμανση των κτιρίων. Χαρακτηρίζονται δηλαδή από άμεση απολαβή της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς προηγούμενη μετατροπή της. Παραδείγματα παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης, το θερμοκήπιο, το ηλιακό αίθριο, κ.λπ, τα οποία συνιστούν εξελιγμένες και οικονομικές τεχνολογίες. Για τον φυσικό εξαερισμό των κτιρίων το καλοκαίρι, τα συστήματα αυτά συνδυάζονται και με άλλες τεχνικές. Τέλος, μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργιες οικοδομικές κατασκευές όσο και σε ήδη υπάρχουσες.
- Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των *φωτοβολταϊκών ηλιακών συστημάτων*. Τα συστήματα αυτά αξιοποιούνται σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών, από χαμηλής ισχύος καταναλωτικά προϊόντα (φωτιστικά σώματα κήπου, αριθμητικούς υπολογιστές, ρολόγια, παιχνίδια, κ.λπ.) έως συστήματα μεγάλης ισχύος για την τροφοδοσία κτιριακών συγκροτημάτων ή νησιών.



Εικόνα 2.1. Συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας

2.1. Ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία, γνωστά ως «φωτοβολταϊκά» ή «Φ/Β», αποτελούν μια προσέγγιση υψηλής τεχνολογίας για την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο όρος «φωτό» προέρχεται από το φως ενώ το «βολτ» οφείλεται στον Ιταλό φυσικό κόμη Alessandro Volta (1745-1827), έναν πρωτοπόρο στη μελέτη του ηλεκτρισμού, ο οποίος εφηύρε τη μπαταρία. Η ανακάλυψη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου αποδίδεται στο Γάλλο φυσικό Edmund Becquerel, ο οποίος δημοσίευσε το 1839 μια εργασία του, όπου περιέγραφε πειράματα που έκανε με μια μπαταρία υγρού, στη διάρκεια των οποίων διαπίστωσε ότι η τάση του συσσωρευτή αύξανε όταν οι πλάκες από υγρό εκτίθενται στο ηλιακό φως.

Το 1871 οι Adams και Day, περιέγραψαν τις μεταβολές των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σεληνίου όταν αυτό εκτίθεται στο φως. Το σελήνιο είναι ένα μη μεταλλικό στοιχείο παρόμοιο με το θείο. Το 1883 ο Charles Edgar Fritts, ηλεκτρολόγος από τη Νέα Υόρκη, κατασκεύασε ένα ηλιακό στοιχείο από σελήνιο, το οποίο σε γενικές γραμμές παρουσίαζε ομοιότητες με τα σημερινά Φ/Β στοιχεία από πυρίτιο. Το ηλιακό στοιχείο ήταν κατασκευασμένο από λεπτά στρώματα σεληνίου με κάλυψη από λεπτά ημιδιαφανή χρυσά σύρματα και φύλλο γυαλιού για προστασία. Ο βαθμός απόδοσης όμως ήταν πολύ μικρός.

Το 1948, δύο ερευνητές οι Bardeen και Brattain, κατασκεύασαν μια επαναστατική συσκευή με ημιαγωγούς, το transistor. Τα transistor κατασκευάζονται σε καθαρή

κρυσταλλική μορφή, όπου εισάγονται προσεκτικά πολύ μικρές ποσότητες προσμίξεων, όπως το βόριο ή ο φώσφορος (διαδικασία γνωστή και ως doping). Οι ημιαγωγοί είναι μη μεταλλικά υλικά, όπως το πυρίτιο, των οποίων οι ηλεκτρικές ιδιότητες βρίσκονται μεταξύ των αγωγών (μικρή αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων) και των μονωτών (μεγάλη αντίσταση στην κίνηση των ηλεκτρονίων).

Η μεγάλη όμως ώθηση προς τις πρακτικές εφαρμογές της φωτοβολταϊκής μετατροπής δόθηκε με την πραγματοποίηση ορισμένων κρίσιμων τεχνολογικών προόδων. Πιο συγκεκριμένα, το 1953 στα Bell Telephone Laboratories (Bell Labs) του New Jersey των ΗΠΑ, η ομάδα των D. Chapin, C. Fuller και G. Pearson που ερευνούσαν την επίδραση του φωτός στους ημιαγωγούς, κατασκεύασαν στοιχεία από πυρίτιο που ήταν πιο αποδοτικά. Το 1954 κατάφεραν να κατασκευάσουν ηλιακά στοιχεία σημαντικής απόδοσης (6%) και ακόμα μεγαλύτερης (14%) το 1972.

Τα πρώτα εμπορικά Φ/Β στοιχεία διατέθηκαν στην αγορά το 1956 από την εταιρεία Hoffmann, με κόστος κατασκευής 1000 δολάρια/W_p και βαθμό απόδοσης 5-10%. Σήμερα, η απόδοση των κρυσταλλικών Φ/Β στοιχείων έχει αγγίξει το 25% για διαστημικές εφαρμογές, ενώ εκείνων που προορίζονται για επίγειες βιομηχανικές και οικιακές χρήσεις δεν ξεπερνά το 16%.

2.2. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε τη διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Γενικότερα, τα υλικά στη φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

Τα Φ/Β κύτταρα είναι φτιαγμένα από ειδικά υλικά, όπως το πυρίτιο (το πιο συνηθισμένο προς το παρόν) που λέγονται ημιαγωγοί. Όταν το φως πέσει στο κύτταρο, ένα μέρος του απορροφάται από τον ημιαγωγό. Η ενέργεια αυτή ελευθερώνει ηλεκτρόνια τα οποία κινούνται ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Τα Φ/Β

κύτταρα έχουν επίσης ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά πεδία που υποχρεώνουν τα ελευθερωμένα ηλεκτρόνια να κινούνται προς μια κατεύθυνση. Η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και με την τοποθέτηση μεταλλικών επαφών πάνω και κάτω από το κύτταρο το βγάζουμε για εξωτερική χρήση. Αυτό το ρεύμα μαζί με την τάση του Φ/Β κυττάρου (που είναι αποτέλεσμα των ηλεκτρικών πεδίων του κυττάρου) καθορίζει την ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγει το κύτταρο.

Αυτή είναι η βασική διαδικασία, αλλά ας δούμε ένα παράδειγμα ενός Φ/Β κυττάρου. Το κύτταρο του κρυσταλλικού πυριτίου.

Το πυρίτιο έχει κάποιες ιδιαίτερες χημικές ιδιότητες στην κρυσταλλική του μορφή. Ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανομημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι πρώτες δύο, αυτές που είναι πιο κοντά στο κέντρο, είναι συμπληρωμένες (2 και 8). Γι' αυτό μοιράζεται ηλεκτρόνια με γειτονικά του άτομα. Είναι σαν κάθε άτομο να κρατάει το χέρι του γείτονα του, μόνο που το κάθε άτομο έχει 4 χέρια. Έτσι τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν την κρυσταλλική μορφή του πυριτίου που είναι πολύ σημαντική για τα Φ/Β.

Αυτό είναι το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο. Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού αφού κανένα ηλεκτρόνιο του δεν είναι ελεύθερο να μετακινηθεί όπως τα ηλεκτρόνια στους καλούς αγωγούς σαν το χαλκό. Αντίθετα, τα ηλεκτρόνια είναι κλειδωμένα στην κρυσταλλική δομή του. Το πυρίτιο σε ένα Φ/Β κύτταρο τροποποιείται ελαφρά έτσι ώστε να μπορέσει να δουλέψει σαν Φ/Β κύτταρο. Το Φ/Β κύτταρο έχει και άλλα άτομα αναμειγμένα με άτομα πυριτίου που εισάγονται σκόπιμα. Σκεφθείτε το κρυσταλλικό πυρίτιο με άτομα φωσφόρου εδώ και εκεί, πιθανόν ένα σε κάθε εκατομμύριο άτομα πυριτίου. Ο φώσφορος έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα και όχι 4 όπως το πυρίτιο. Πάλι συνδέεται με τα γειτονικά άτομα πυριτίου αλλά ο φώσφορος έχει ένα ηλεκτρόνιο που δεν συνδέεται με κάποιο άλλο. Δεν σχηματίζει δεσμό, αλλά υπάρχει ένα θετικό πρωτόνιο στον πυρήνα του φωσφόρου που το συγκρατεί.

Όταν διοχετεύουμε ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, για παράδειγμα με τη μορφή θερμότητας, μερικά ηλεκτρόνια σπάζουν τους δεσμούς τους και φεύγουν από τα άτομά τους. Τότε δημιουργείται μια κενή θέση στο άτομο. Αυτά τα ηλεκτρόνια περιφέρονται τυχαία μέσα στο κρυσταλλικό πυρίτιο ψάχνοντας να μπουν σε μια άλλη θέση. Έτσι μεταφέρουν την ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα). Είναι όμως τόσο λίγα που δεν είναι χρήσιμα. Το πυρίτιο όμως με άτομα φωσφόρου είναι κάτι διαφορετικό. Χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ελευθερωθεί το επιπλέον ηλεκτρόνιο του φωσφόρου αφού αυτό δεν σχηματίζει δεσμό με άλλο – τα γειτονικά ηλεκτρόνια δεν το συγκρατούν. Σαν αποτέλεσμα, τα περισσότερα από αυτά τα

ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η διαδικασία μίξης ατόμων κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί πυρίτιο που ονομάζεται πυρίτιο τύπου n (negative, αρνητικό) εξαιτίας της υπεροχής του αριθμού των ηλεκτρονίων και είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος του Φ/Β κύτταρου είναι πυρίτιο τύπου n . Το άλλο μέρος είναι ανάμειξη κρυσταλλικού πυριτίου με βόριο το οποίο έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί για 4 και μετατρέπεται σε πυρίτιο τύπου p . Αντί να έχει ελεύθερα ηλεκτρόνια το πυρίτιο τύπου p (positive, θετικό) έχει ελεύθερες θέσεις. Οι θέσεις αυτές είναι ουσιαστικά απουσία ηλεκτρονίων, και έτσι μεταφέρουν αντίθετο φορτίο (θετικό) και περιφέρονται όπως και τα ηλεκτρόνια.

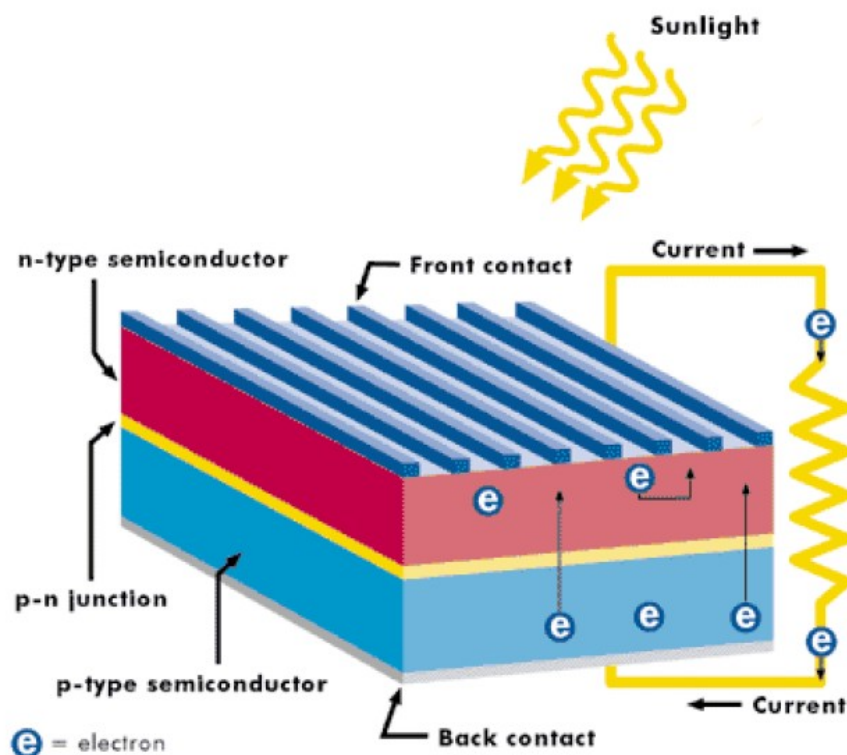
Το ενδιαφέρον μέρος αρχίζει όταν τοποθετούμε μαζί πυρίτιο τύπου n και p . Το Φ/Β κύτταρο έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρικό πεδίο. Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο το κύτταρο δεν θα δούλευε. Αυτό το πεδίο σχηματίζεται όταν πυρίτιο τύπου n και p έρχονται σε επαφή. Ξαφνικά τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου n που ψάχνουν για ελεύθερες θέσεις βλέπουν τις κενές θέσεις στο πυρίτιο τύπου p και τρέχουν να τις καλύψουν.

Στην αρχή το πυρίτιο ήταν ηλεκτρικά ουδέτερο. Τα επιπλέον ηλεκτρόνια ισορροπούσαν με τα επιπλέον πρωτόνια του φωσφόρου. Οι κενές θέσεις ισορροπούσαν με την έλλειψη πρωτονίων του βορίου. Όταν οι κενές θέσεις και τα ηλεκτρόνια αναμειγνύονται στην ένωση πυριτίου p και n η ισορροπία ανατρέπεται. Όμως, όλα τα ηλεκτρόνια συμπληρώνουν τις κενές θέσεις; Όχι. Αν συνέβαινε αυτό, τα Φ/Β κύτταρα δε θα ήταν πολύ χρήσιμα. Στην ένωση αναμειγνύονται και σχηματίζουν φράγμα κάνοντας όλο και πιο δύσκολο στα ηλεκτρόνια του πυριτίου n να περάσουν στο πυρίτιο p . Τελικά, επιτυγχάνεται η ισορροπία και έχουμε ηλεκτρικό πεδίο που χωρίζει τις δύο πλευρές.

Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας (ακόμη και σπρώχνοντας) στα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο p στο n αλλά όχι αντίστροφα. Όπως σε ένα λόφο – τα ηλεκτρόνια μπορούν να κατέβουν το λόφο (στη πλευρά n) αλλά δεν μπορούν να ανέβουν (στη πλευρά p). Έτσι έχουμε ηλεκτρικό πεδίο που λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο στο οποίο τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν σε μία μόνο κατεύθυνση. Ας δούμε τι συμβαίνει όταν το φως πέφτει σε ένα Φ/Β κύτταρο.

Όταν το φως, με μορφή φωτονίων, πέφτει σε ένα Φ/Β κύτταρο η ενέργειά του ελευθερώνει ηλεκτρόνια και θέσεις. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια φυσιολογικά θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μία κενή θέση. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μία ελεύθερη

θέση βρεθούν κοντά στο πεδίο θα στείλει το ηλεκτρόνιο στο πυρίτιο n και την κενή θέση στο πυρίτιο p. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισορροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιήσουμε μια εξωτερική οδό τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση που το ηλεκτρικό πεδίο απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος. Με ρεύμα και τάση έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα που είναι παράγωγο αυτών των δύο.



Εικόνα 2.2. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

(Πηγή:http://www.ucsus.org/clean_energy/technology_and_impacts/energy_technologies/how-solar-energy-works.html)

Το μεγαλύτερο ποσό ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει ένα Φ/Β κύτταρο είναι το 25% της ενέργειας που δέχεται αλλά το πιο συνηθισμένο ποσοστό είναι λιγότερο από 15% . Γιατί όμως τόσο λίγο; Το ορατό φως είναι μόνο ένα μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν είναι μονοχρωματική. Αποτελείται από διαφορετικά μήκη κυμάτων, άρα και από διαφορετικά επίπεδα ενέργειας.

Εφόσον το φως που πέφτει στο κύτταρο μεταφέρει διαφορετικά επίπεδα ενέργειας, κάποια από αυτά δε θα έχουν αρκετή ενέργεια για να μπορέσουν να ελευθερώσουν ηλεκτρόνια. Απλά θα περάσουν μέσα από το κύτταρο σαν να ήταν αυτό διαφανές.

Μόνο ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, το οποίο εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το κύτταρο, απαιτείται για να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Η επιπλέον ενέργεια χάνεται εκτός και αν η ενέργεια του φωτονίου είναι διπλάσια από την απαιτούμενη και ελευθερώσει δύο ηλεκτρόνια.

Συνοψίζοντας, η εμφάνιση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα μιας διόδου η οποία ακτινοβολείται με ηλιακή ενέργεια, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η ακτινοβολία, παράγεται συνεχές ρεύμα από τη δίοδο, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει ένα οποιοδήποτε φορτίο συνεχούς ρεύματος και κατά συνέπεια να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

2.3. Δομικά στοιχεία φωτοβολταϊκού συστήματος

2.3.1. Το φωτοβολταϊκό κελί (PV Cell)

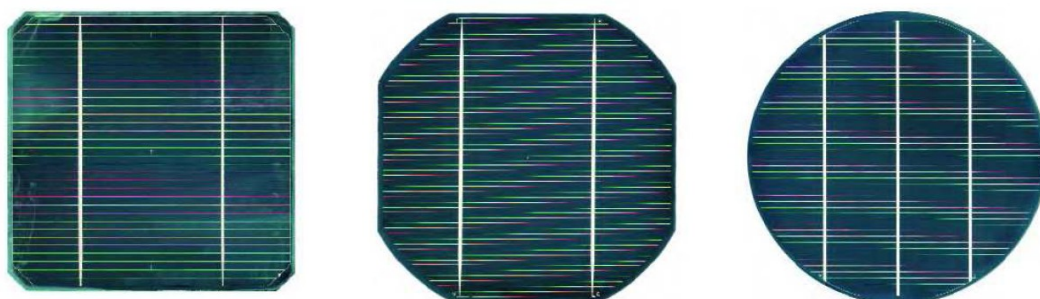
Το Φ/Β κελί είναι η στοιχειώδης μονάδα ενός Φ/Β συστήματος γιατί εκεί μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Υπάρχουν πολλά είδη Φ/Β κελιών διαθέσιμα στην αγορά και πολλά άλλα υπό ανάπτυξη. Χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά και διατάξεις με στόχο τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας από τη συσκευή με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος.

Τα είδη των Φ/Β κελιών που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην αγορά είναι τα εξής:

➤ Κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από ένα μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία «Czochralski». Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση της τάξης του 15-18% αλλά και από υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο, δεν χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή Φ/Β πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μια επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι βαθύ μπλε έως μαύρο όταν

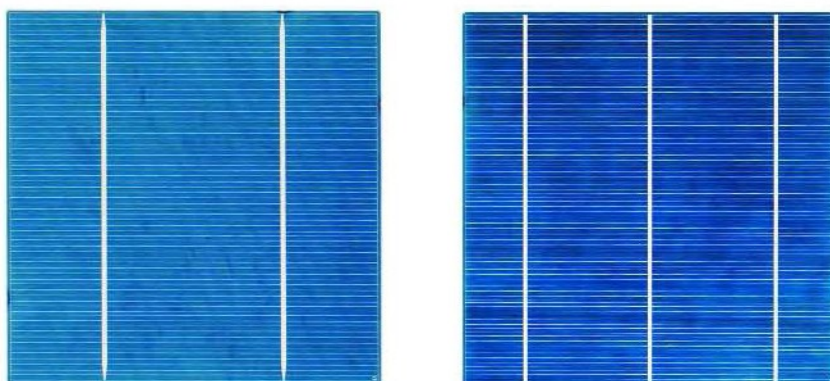
διαθέτουν αντι-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντι-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 2.3. Κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου
(Πηγή: Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φ/Β Έργων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας,
Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας)

➤ Κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένες ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 13-16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντι-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντι-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 2.4. Κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου
(Πηγή: Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φ/Β Έργων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας,
Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας)

➤ Κελιά λεπτής μεμβράνης (Thin-film)

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω:

▪ Άμορφο πυρίτιο (amorphous-Si)

Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή κελιών λεπτής μεμβράνης και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Το άμορφο πυρίτιο μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα, σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτής μεμβράνης. Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Σήμερα, ένα εμπορικό Φ/Β πλαίσιο με κελιά άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%, ενώ τα κελιά μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 13-18%. Επίσης, τα κελιά αυτά παρουσιάζουν μεγάλη απώλεια απόδοσης όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, γεγονός που τα καθιστά ακατάλληλα για χρήση στην Ελλάδα. Τέλος, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων Φ/Β πλαισίων.



Εικόνα 2.5. Κελί άμορφου πυριτίου
(Πηγή: http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)

- **Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)**

Η κρυσταλλική ένωση Καδμίου-Τελλουρίου (CdTe) είναι ένα αποτελεσματικό υλικό κατασκευής Φ/Β κελιών. Για τη δημιουργία μιας ένωσης p-n σε ένα ηλιακό κελί, ένα στρώμα σουλφιδίου του Καδμίου προστίθεται στο CdTe. Λόγω της αποτελεσματικότητας, ένα κελί CdTe χρησιμοποιεί περίπου το 1% του ημιαγωγού υλικού σε σχέση με ένα κρυσταλλικό κελί. Μειονέκτημά τους αποτελεί το γεγονός της χρήσης του σπάνιου μετάλλου Τελλουρίου. Επιπλέον, η χρήση του Καδμίου επιβάλλει την αναγκαστική ανακύκλωσή τους μετά το πέρας της ζωής τους (το κάδμιο θεωρείται καρκινογόνο).



Εικόνα 2.6. Κελί Καδμίου-Τελλουρίου
(Πηγή: http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)

- **Κελιά Χαλκού-Ινδίου/Γαλλίου-Δισεληνιούχου (CIGS)**

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτής μεμβράνης κατασκευάζονται από ένα συνδυασμό Χαλκού-Ινδίου-Δισεληνιούχου και Χαλκού-Γαλλίου-Δισεληνιούχου. Τα κελιά αυτά επιδειξί αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτής μεμβράνης. Τέλος, το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το Ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση.



Εικόνα 2.7. Κελί CIGS
(Πηγή: http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)

- **Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs)**

Τα κελιά αυτά συναντώνται σε μικρό βαθμό ή σε εργαστηριακό επίπεδο. Τα Φ/Β κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου έχουν αυξημένο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Ο βαθμός απόδοσής τους, ο οποίος κυμαίνεται από 25-30% (εργαστηριακά έχει φθάσει έως και 36%), συνδυάζεται και με αυξημένο κόστος παραγωγής. Συνήθης χρήση των κελιών αυτών είναι σε διαστημικές εφαρμογές.


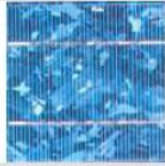



Εικόνα 2.8. Κελί Γαλλίου-Αρσενικούχου
(Πηγή: http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)

Παρακάτω ακολουθεί συγκεντρωτικοί Πίνακες, οι οποίοι παρουσιάζουν όλα τα είδη Φ/Β κελιών με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους.

Υλικά Φ/Β Στοιχείων	Μονο- κρυσταλλικό	Πολυ- κρυσταλλικό	Άμορφο πυρίτιο	Μεμβράνες GaAs	Μεμβράνες CdTe
Θεωρητική Βέλτιστη Απόδοση (%)	24	18	12	23	24
Πραγματική Απόδοση (%)	15	12	5	-	-

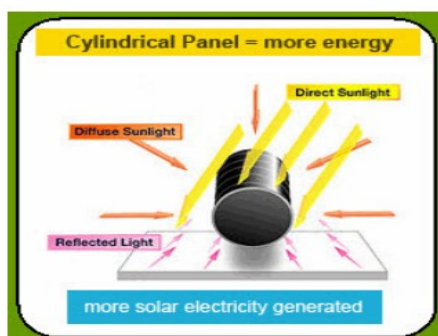
Πίνακας 2.1. Θεωρητικές και Πραγματικές αποδόσεις των διαφόρων τύπων κελιών
(Πηγή: <http://www.e-fotovoltaika.blogspot.com>)

Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών (εξοπλισμός που κυκλοφορεί στην αγορά στις αρχές 2008)			
ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Πίνακας 2.2. Βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών των Φ/Β κελιών
(Πηγή: Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φ/Β Έργων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας)

➤ Κυλινδρικό πλαίσιο

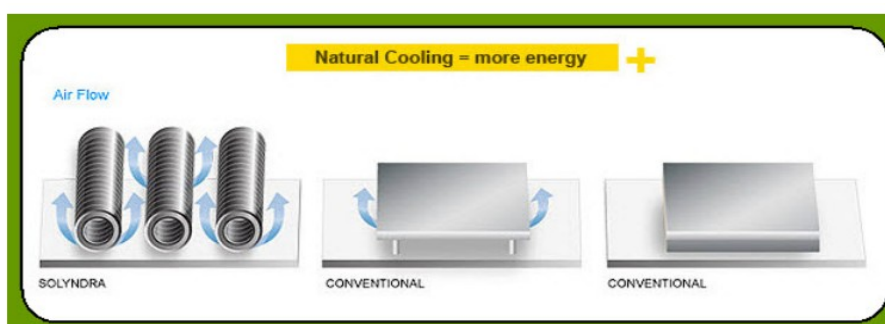
Τα κυλινδρικά Φ/Β πλαίσια απορροφούν ενέργεια από τις ακτίνες φωτός που πέφτουν απευθείας πάνω τους αλλά και από τις ανακλώμενες στο δάπεδο ακτίνες όπως επίσης και από αυτές που διαθλώνται. Με αυτόν τον τρόπο τα κυλινδρικά Φ/Β πλαίσια είναι πολύ περισσότερο αποδοτικά σε σχέση με τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια.



Εικόνα 2.9. Κυλινδρικό πλαίσιο
(Πηγή: <http://φωτοβολταικη.gr/solar-panel-solyndra.html>)

Το χαρακτηριστικό κυλινδρικό σχήμα των Φ/Β πλαισίων τους δίνει τη δυνατότητα τοποθέτησης πολύ κοντά μεταξύ τους και σε επίπεδη διάταξη. Έτσι, μπορούμε να αποφύγουμε την τοποθέτησή τους με απόσταση για να μη σκιάζονται μεταξύ τους και με τον τρόπο αυτό καλύπτουμε μεγαλύτερη επιφάνεια με Φ/Β πλαίσια. Λόγω λοιπόν του μεγαλύτερου χώρου κάλυψης που μπορούμε να έχουμε σε μια εγκατάσταση, η παραγόμενη ενέργεια σε σχέση με τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια είναι 30% μεγαλύτερη.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα των κυλινδρικών πλαισίων είναι το ότι η φυσική ροή του αέρα μεταξύ τους έχει ως αποτέλεσμα να μη ζεσταίνονται τόσο όσο τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια και ταυτόχρονα αφού ψύχονται καλύτερα και λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες έχουν χαμηλότερες απώλειες, δηλαδή παράγουν περισσότερη ενέργεια.



Εικόνα 2.10. Φυσικός εξαερισμός των κυλινδρικών πλαισίων
(Πηγή: <http://φωτοβολταικη.gr/solar-panel-solyndra.html>)

2.3.2. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV Module)

Τα ηλιακά κελιά χρησιμοποιούνται σπάνια μόνα τους. Συνήθως, κελιά με τα ίδια χαρακτηριστικά συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους ώστε να προκύψει μεγαλύτερη ισχύς με τη μορφή ενός Φ/Β πλαισίου. Τα ηλιακά κελιά έχουν συνήθως τετράγωνο σχήμα πλευράς περίπου 10 εκατοστών. Ένα ηλιακό κελί παράγει πολύ μικρή ισχύ (συνήθως λιγότερο από 2W) και μπορεί να συνδεθεί με άλλα σε σειρά ή παράλληλα.

Η παράλληλη σύνδεση κελιών αυξάνει την ένταση του ρεύματος, η οποία ισούται με το άθροισμα των επιμέρους εντάσεων, ενώ η τάση στα άκρα του συνδυασμού παραμένει η ίδια με την τάση του κάθε κελιού. Η παράλληλη σύνδεση κελιών δεν χρησιμοποιείται συνήθως, καθώς η μεγαλύτερη ένταση ρεύματος απαιτεί και μεγαλύτερες διατομές αγωγών, ενώ και οι απώλειες αυξάνονται με τη μείωση της τάσης. Για τους λόγους αυτούς, η σύνδεση των κελιών γίνεται συνήθως σε σειρά.

Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την τάση. Στη σύνδεση κελιών σε σειρά υπάρχει η ίδια ροή ρεύματος ανά κελί ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των κελιών.

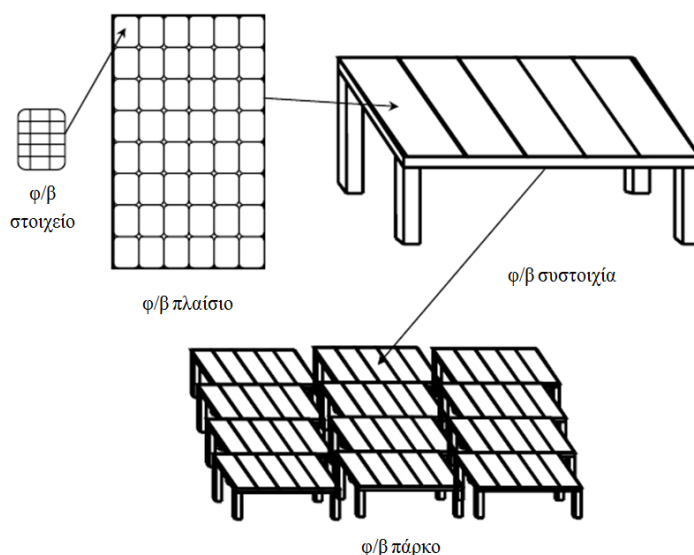
Σε γενικές γραμμές, τα Φ/Β κελιά τοποθετούνται σε ένα ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο αυτό, τα κελιά συνδέονται σε σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση επιθυμητής τάσης. Διαμορφώνεται έτσι το Φ/Β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών.

Συνώνυμο σχεδόν με το Φ/Β πλαίσιο είναι το Φ/Β πανέλο (panel). Όπως και το πλαίσιο, έχει συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί και είναι έτοιμο για τοποθέτηση σε Φ/Β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πανέλο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο) που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν όλες οι εταιρείες που κατασκευάζουν Φ/Β στοιχεία, δεν διαχωρίζουν τα πλαίσια από τα πανέλα. Το προϊόν που παράγεται ονομάζεται Φ/Β πλαίσιο (module) και διατίθεται σε ποικιλία, όσον αφορά στην ισχύ που παράγει, στην τάση και τελικά στις διαστάσεις του.

Το καλύτερο Φ/Β στοιχείο για την Ελλάδα είναι το άμορφο πυρίτιο όμως όχι σε μορφή λεπτής μεμβράνης που συναντάται συνήθως αλλά σε μορφή πλαισίου. Υπάρχει διαφορά απόδοσης σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία, η οποία όμως δεν είναι αξιοσημείωτη. Το μειονέκτημα που φέρει το άμορφο πυρίτιο είναι οι πολύ μεγάλες επιφάνειες που απαιτούνται για την εγκατάσταση συστημάτων ίδιας ισχύος. Οι εγκαταστάτες Φ/Β συστημάτων δουλεύουν κυρίως τα πολυκρυσταλλικά αλλά και τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια, καθώς αυτά κυριαρχούν στο εμπόριο. Στην πράξη, τα μονοκρυσταλλικά με τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια παρουσιάζουν μικρή διαφορά στην απόδοση. Για παράδειγμα, για πλαίσιο διαστάσεων 1,6x1,0, το πολυκρυσταλλικό παράγει 230Wp ονομαστικής ισχύος, ενώ το μονοκρυσταλλικό 250Wp. Επίσης, η διαφορά τιμής ανέρχεται σε 0,04€ ανά εγκατεστημένο Wp με ακριβότερο το μονοκρυσταλλικό. Παρατηρούμε δηλαδή μια πολύ μικρή διαφορά απόδοσης σε αντίθεση με την ουσιαστική διαφορά στην τιμή. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια.

2.3.3. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV String)

Σε μια Φ/Β εγκατάσταση που έχει σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες Φ/Β πλαίσια. Όπως, είναι αναμενόμενο τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/Β συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των Φ/Β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτό τον τρόπο, αν ένα Φ/Β σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται ώστε η ισχύς εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή.



Εικόνα 2.11. Δομικά στοιχεία Φ/Β συστήματος
(Πηγή: Κτενίδης Γ., «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φ/Β Σταθμού Παραγωγής
Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW)

2.4. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- **Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα**

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται για να καλύψουμε ενεργειακές ανάγκες σε περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ηλεκτροδότηση. Βρίσκουν εφαρμογή σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, σε εξοχικές κατοικίες, τροχόσπιτα, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, φάρους,

μετεωρολογικούς σταθμούς, σκάφη αναψυχής και οπουδήποτε υπάρχει ανάγκη ενεργειακής κάλυψης.

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από έναν αριθμό φωτοβολταϊκών συλλεκτών, ανάλογα με την εκάστοτε ενεργειακή κατανάλωση, οι οποίοι μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε συσσωρευτές ώστε να υπάρχει επάρκεια ενέργειας μέρα και νύχτα . Για τον έλεγχο και την προστασία των συσσωρευτών (μπαταρίες) χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής φόρτισης. Ο ρυθμιστής φόρτισης ρυθμίζει τον τρόπο και το ρυθμό με τους οποίους φορτίζει ο συσσωρευτής. Επίσης, όταν ο συσσωρευτής φορτίσει πλήρως, τότε ο ρυθμιστής διακόπτει την τροφοδοσία ενέργειας στο συσσωρευτή. Επιπλέον, σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει και ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει την παραγόμενη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη.

Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν *υβριδικά*.

Οι επιμέρους μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα είναι οι εξής:

- Φ/Β πλαίσιο
- Πίνακας ελέγχου
- Ρυθμιστής φόρτισης
- Συσσωρευτής
- Αντιστροφέας τάσης

▪ Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Σήμερα, το πιο σύνηθες είναι να παρέχεται όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο και το δίκτυο να προμηθεύει την απαιτούμενη ενέργεια για τα ηλεκτρικά φορτία (λόγω διαφοράς τιμής). Τέλος, στην περίπτωση

των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.

Οι επιμέρους μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα είναι οι εξής:

- Φ/Β πλαίσιο
- Πίνακας ελέγχου
- Αντιστροφέας τάσης
- Μετρητής Δ.Ε.Η.

• Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένα υβριδικό Φ/Β σύστημα είναι ένα αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας, όπως μια γεννήτρια πετρελαίου, ή άλλη μορφή ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες.

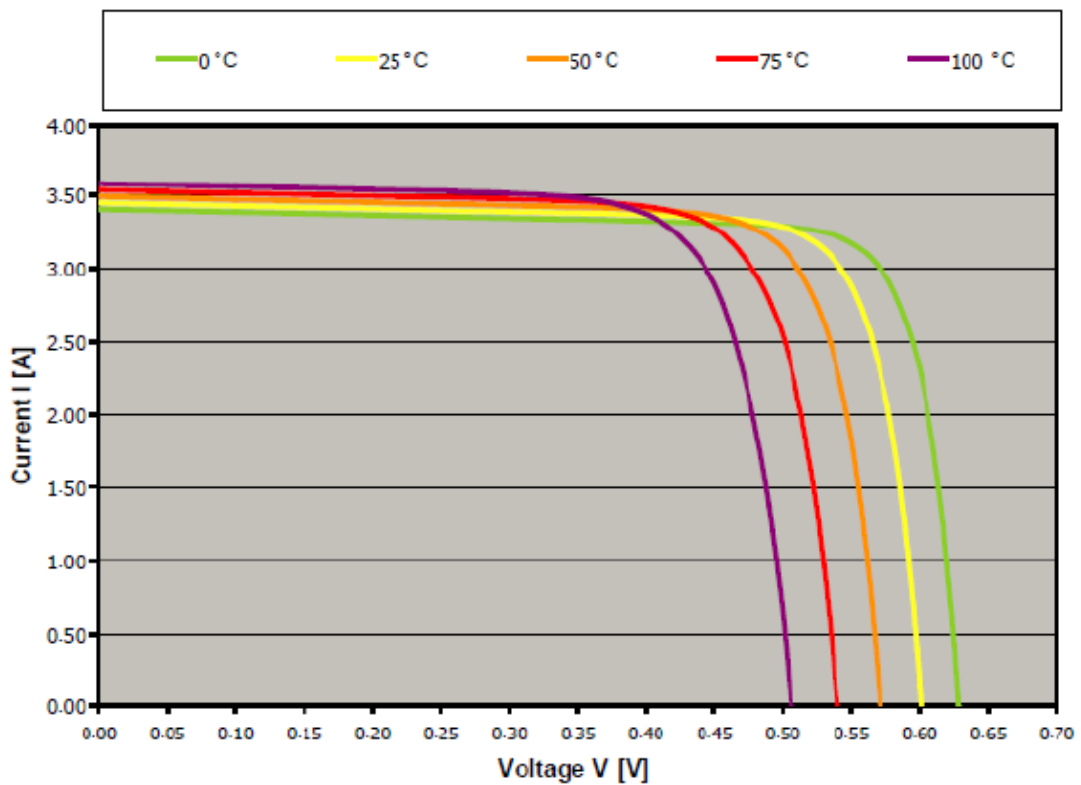
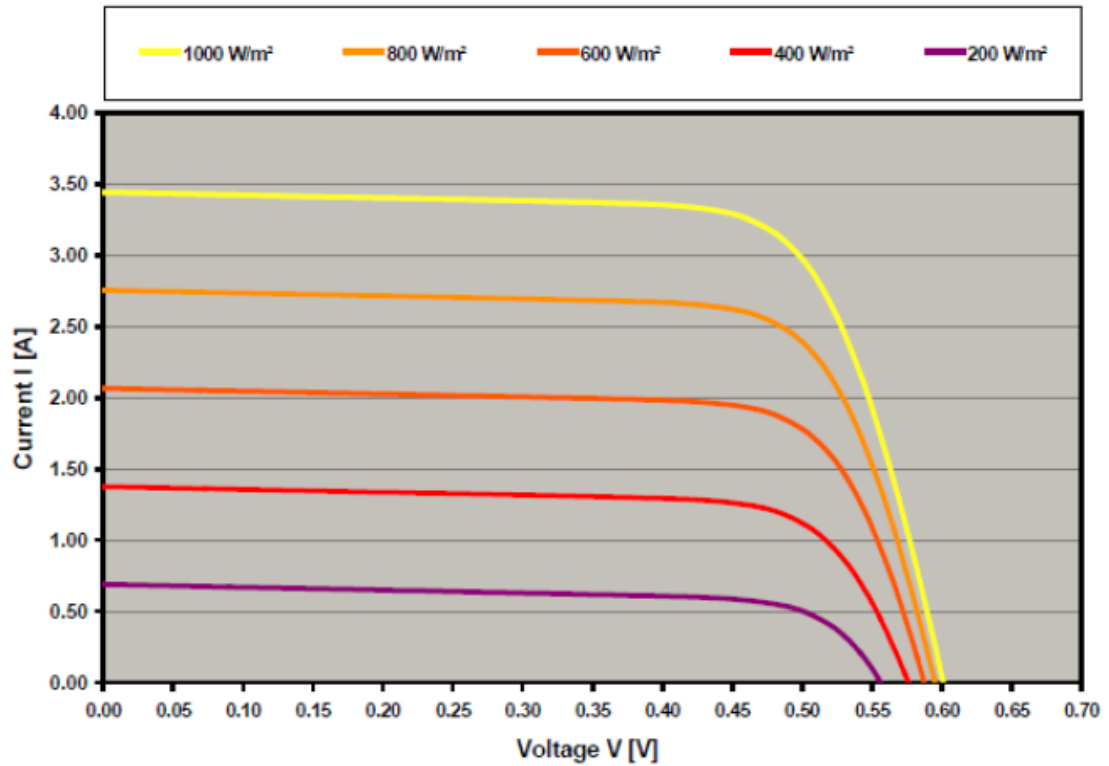
2.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Οι δύο κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια από ένα ηλιακό κελί είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει σχεδόν ανάλογη επίδραση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες κελιού.

Η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού κελιού. Πιο συγκεκριμένα, με μείωση της θερμοκρασίας, αυξάνεται σημαντικά η τάση ανοιχτού κυκλώματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά. Συνολικά, η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

Παρακάτω ακολουθούν Εικόνες οι οποίες απεικονίζουν την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στις χαρακτηριστικές I-V ενός ηλιακού κελιού.



Εικόνα 2.13. Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας & της θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού κελιού
(Πηγή: Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φ/Β Έργων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας)

Άλλοι παράγοντες η οποίοι επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β συστημάτων είναι οι εξής:

- **Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου:** Σχετίζονται άμεσα με τη θερμοκρασία λειτουργίας των Φ/Β. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες συνεπάγονται χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι βόρειοι άνεμοι επίσης συνεπάγονται χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τους νότιους.
- **Ρύπανση:** Επηρεάζει την απόδοση των Φ/Β λόγω της επικάλυψης διαφόρων στοιχείων στις επιφάνειες των πάνελ. Γι'αυτό το λόγο απαιτείται περιοδικός καθαρισμός των Φ/Β πλαισίων.
- **Σκίαση:** Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, στύλοι, κ.λπ.), από παροδικά (και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα) φαινόμενα (π.χ. σύννεφα) ή από περιορισμένη έκταση εγκατάστασης. Οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές, για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν.
- **Γήρανση:** Αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται φθορά των Φ/Β στοιχείων ενός Φ/Β συστήματος, η οποία οδηγεί σε μια πτώση της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που υπολογίζεται σε περίπου 1% ετησίως.
- **Απώλειες του Φ/Β συστήματος:** Είναι οι ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς των διαφόρων συνδέσεων, καθώς και οι συνδέσεις με άλλα μέρη του συστήματος. Οι απώλειες αυτές μπορεί να φθάσουν και σε ποσοστό περίπου του 30% ή και περισσότερο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

2.6. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του ενδιαφερόμενου. Όλα τα φωτοβολταϊκά πάντως μοιράζονται τα παρακάτω *πλεονεκτήματα*:

- Μηδενική ρύπανση
- Αθόρυβη λειτουργία
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)

- Απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- Ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως π.χ. τα φωτοβολταϊκά, τα μικρά συστήματα συμπαραγωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Τα φωτοβολταϊκά είναι λειτουργικά καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της ισχύος τους και δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή, και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν έτσι στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας. Η εμπειρία της Δανίας π.χ. έδειξε μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού από χρήστες φωτοβολταϊκών, της τάξης του 5-10%.

Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως π.χ. η βελτίωση της ποιότητας της ηλεκτρικής ισχύος, η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και η μείωση των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

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.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 12% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα για να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα, οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσον αφορά στην ποιότητα του ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μια μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; Ποιά ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ, τουλάχιστον, να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας; Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις «έξυπνες» επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα προσελκύσει πελάτες-παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες-παραγωγοί μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

Τα *μειονεκτήματα* των Φ/Β συστημάτων είναι τα εξής:

- Το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης
- Απαιτούν σχετικά μεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης
- Έχουν ακόμη (σήμερα) σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης
- Η απαραίτητη αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στις περισσότερες εφαρμογές, λόγω της μεγάλης διακύμανσης της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας

2.7. Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για την προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της έρευνας και των εφαρμογών στην Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.

- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού/καταναλωτή και συμβολή στην αιεφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας. Εκτίμηση 2004: 2 βιομηχανίες για κατασκευή Φ/Β, 3 ΜΜΕ για ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος και 3 μονάδες παραγωγής μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές.
- Προώθηση των στόχων της ΕΕ και του Κyoto σχετικά με τη μείωση των αερίων ρύπων και τη διεύθυνση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, σε ποσοστό 20% έως το 2010.

Βιβλιογραφία 2^{ου} Κεφαλαίου

- [1] Markvart Tomas, «Solar Electricity, Second Edition», 1994
- [2] Markvart Tomas, «Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and applications», 2003
- [3] Δικτυακός τόπος της arvis solar www.arvisolar.gr
- [4] Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων ΤΕΕ, ΤΚΜ 2011
- [5] Δικτυακός τόπος του Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών www.helapco.gr
- [6] Δικτυακός τόπος του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας www.cres.gr
- [7] Νίκη Καϊρή, «Ηλιακή Ενέργεια και Ηλιακός Θερμοσίφωνας», 2006
- [8] Προφορική συνέντευξη του Παναγιώτη Λαΐου Διπλωματούχου Μηχ/κου Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Συνιδιοκτήτη της «ML ENERGY SYSTEMS O.E.»
- [9] Δικτυακός τόπος της Helio systems φωτοβολταϊκά συστήματα www.selasenergy.gr
- [10] Αρκούδης Γ., «Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα», Οκτώβριος 2007
- [11] Δικτυακός τόπος www.solyndra.com
- [12] http://micro-kosmos.uoa.gr/gr/magazine/ergasies_foititon/ettap/2010-11/photovoltaic/thin_film.htm
- [13] Κολλάρου Κ., «Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας σε Κτίρια», Ιούλιος 2011
- [14] Κτενίδης Γεώργιος, «Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας των 100kW», Μάρτιος 2008
- [15] Καγκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- [16] Δικτυακός τόπος www.solar-systems.gr

Κεφάλαιο 3^ο

**Βέλτιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων
μέσω τρόπων στήριξης**

Εισαγωγή

Κάθε Φ/Β σύστημα, το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια το διακρίνουν κάποιες απαιτήσεις, οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο τοποθέτησης και στήριξης των Φ/Β πλαισίων του. Τα στοιχεία που προσδιορίζουν τον τρόπο τοποθέτησης των πλαισίων είναι τα ακόλουθα:

- Η ενέργεια που πρέπει να παραχθεί καθορίζει το πλήθος των Φ/Β στοιχείων, το μηχανολογικό και ηλεκτρικο-ηλεκτρονικό εξοπλισμό που θα τοποθετηθεί στο σύστημά μας.
- Το περιβάλλον και οι τοπικές καιρικές συνθήκες καθορίζουν τη θέση και τον τρόπο στήριξης.
- Η οικονομική δυνατότητα που έχουμε είναι αυτή που μας περιορίζει ή μας επιτρέπει να εγκαταστήσουμε ένα ακριβό σύστημα, το οποίο όμως θα έχει καλύτερη απόδοση από ένα οικονομικότερο.

Η στήριξη των Φ/Β συστημάτων έχει μεγάλη σημασία καθώς δεν εξασφαλίζει μόνο τη στατική επάρκεια αλλά κυρίως τη μέγιστη ενεργειακή απολαβή, η οποία εξαρτάται ακόμη από το κλίμα της περιοχής, το γεωγραφικό πλάτος και την ηλικία των Φ/Β πάνελ.

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ συνήθως εδράζονται επί εδάφους με δύο τρόπους:

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις»
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers).

3.1. Σταθερές Βάσεις

3.1.1. Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη

Οι σταθερές βάσεις με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι ο απλούστερος, οικονομικότερος και πιο διαδεδομένος τρόπος έδρασης Φ/Β συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη

με ισχυρούς ανέμους (π.χ. βουνά). Επίσης, χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια (στέγη, πρόσοψη).



Εικόνα 3.1. Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια.
(Πηγή: www.greenenergia.gr)

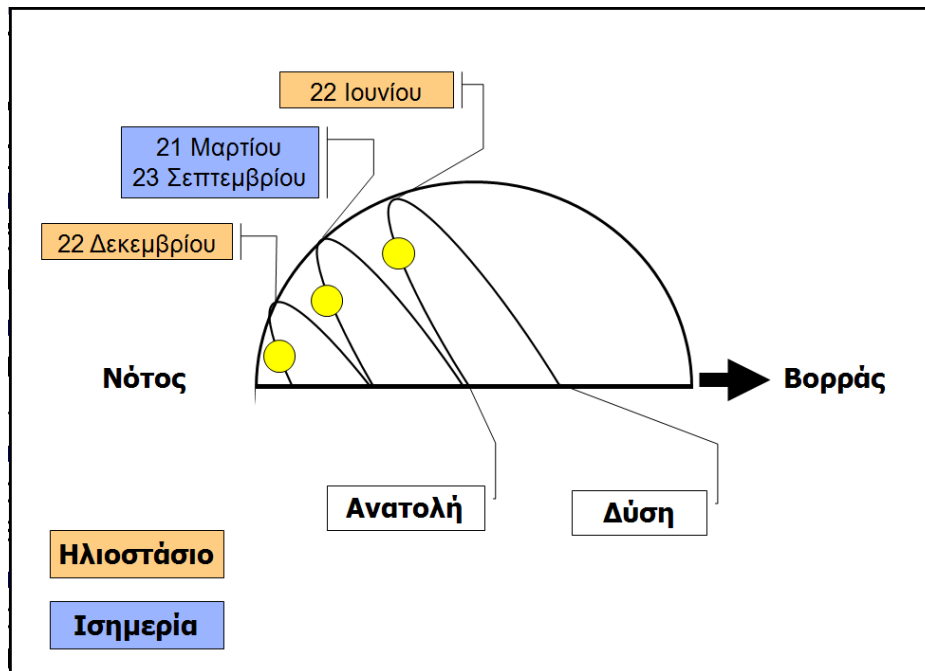
3.1.1.1. Αρχές Σχεδιασμού

➤ Γωνία κλίσης

Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Κυρίαρχο ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία και η γωνία πρόσπτωσης της στο Φ/Β πάνελ.

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{ελ}=(90^\circ-\lambda)^1-23,5^\circ$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη $ELM_{μεγ}=(90^\circ-\lambda)+23,5^\circ$, στις 21 Ιουνίου και στη συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Αυτά παρατηρούνται στην παρακάτω εικόνα.

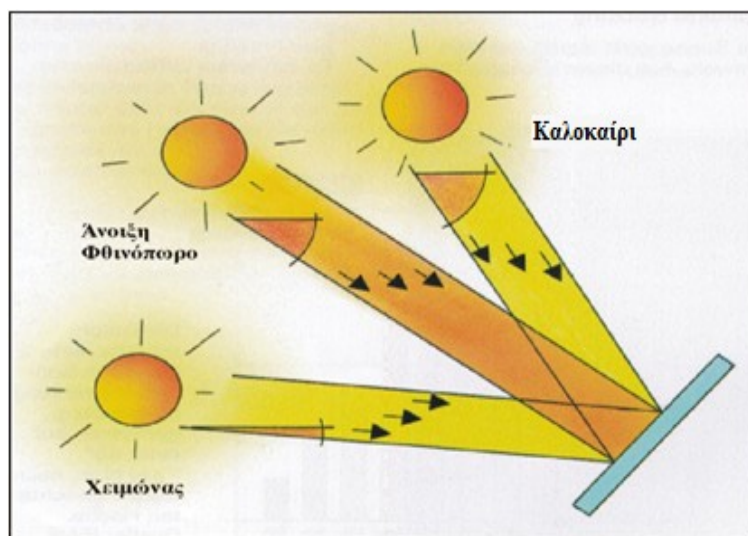
¹ λ =γεωγραφικό πλάτος του τόπου



Εικόνα 3.2. Μακροσκοπική άποψη των θέσεων του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους

(Πηγή: Λιβαδά Μ., «Μελέτη ηλιακής ακτινοβολίας για χρήση σε Φ/Β συστήματα)

Η γωνία των ακτίνων του ήλιου κατά τη μεσουράνησή του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$. Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με τη γωνία λ του τόπου (γεωγραφικό πλάτος) η μέση ημερήσια τιμή της ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη. Η βέλτιστη κλίση είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.



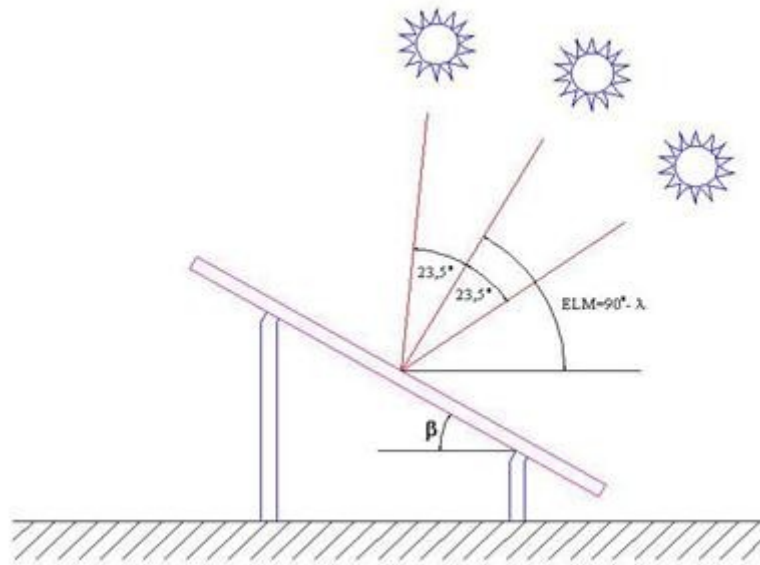
Εικόνα 3.3. Μικροσκοπική άποψη των θέσεων του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους
(Πηγή: www.google.gr)

Για να προκύψει βέβαια η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και το albedo του εδάφους (ανακλαστικότητα του εδάφους). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων, για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρο) σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη το albedo του εδάφους.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μικρά λ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι 0° . Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία 5° - 10° ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).
- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta = \lambda - 10^\circ$.
- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda + 15^\circ$. Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $\beta = \lambda - 15^\circ$.
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το φάσμα της κίνησης του ηλίου ως προς έναν ηλιακό συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης β . Το ελάχιστο και το μέγιστο ύψος του ηλίου σχηματίζει αντίστοιχα γωνία $90^\circ - \lambda - 23,5^\circ$ (στις 21 Δεκεμβρίου) και $90^\circ - \lambda + 23,5^\circ$ (στις 21 Ιουνίου) ως προς την οριζόντιο. Η ενδιάμεση θέση βρίσκεται σε γωνία $90^\circ - \lambda$ και εμφανίζεται στις δύο ισημερίες 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου. Όταν το γεωγραφικό πλάτος λ ισούται με τη γωνία κλίσης β , τότε έχουμε μέγιστη απόδοση του συλλέκτη στο ηλιακό μεσημέρι των δύο ισημεριών ($90^\circ - \lambda + \lambda = 90^\circ$, $\lambda = \beta$).



Εικόνα 3.4. Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης
(Πηγή: www.greenenergia.gr)

➤ Προσανατολισμός

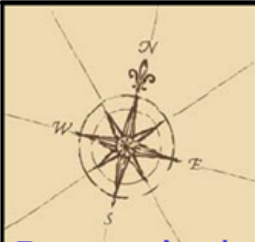
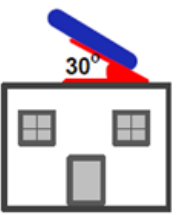
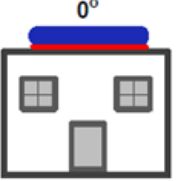
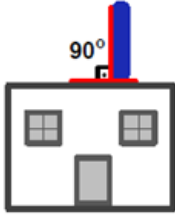
Η κατεύθυνση του συλλέκτη όταν βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο πρέπει να είναι νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός και όταν βρισκόμαστε στο νότιο ημισφαίριο πρέπει να είναι βόρειος.

Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται οι δυνητικές αποδόσεις Φ/Β συστημάτων σε συνάρτηση με τη γωνία κλίσης και τον προσανατολισμό.

Από τον Πίνακα παρατηρούμε τα εξής:

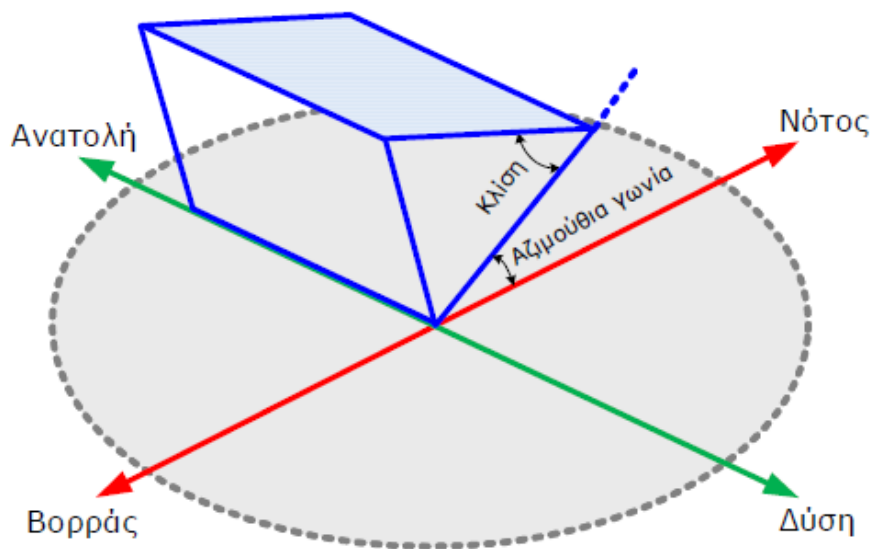
- Η μέγιστη απόδοση του Φ/Β συστήματος παρουσιάζεται για γωνία κλίσης ίση με 30° και νότιο προσανατολισμό.
- Όσο απομακρυνόμαστε από το νότο η απόδοση μειώνεται σημαντικά, φτάνοντας έως και 40% μείωση για γωνία κλίσης ίση με 30° και βόρειο προσανατολισμό.
- Για γωνία κλίσης ίση με 0° η απόδοση του Φ/Β συστήματος δεν επηρεάζεται από τον προσανατολισμό και παραμένει σταθερή και ίση με 90%.

Η απόδοση του συστήματος

 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	 30°	 0°	 90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh _(max)	90%kWh _(max)	50%kWh _(max)
Νότιοανατολικός - Δυτικός	95%kWh _(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
Νότιος	kWh_(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
Βόρειοανατολικός - Δυτικός	67%kWh _(max)	90%kWh _(max)	30%kWh _(max)
Βόρειος	60%kWh _(max)	90%kWh _(max)	20%kWh _(max)

Πίνακας 3.1. Ενδεικτική απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση
(Πηγή: www.anp.gr)

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση ενός Φ/Β συστήματος πρέπει να επιλεχθεί η κατάλληλη γωνία κλίσης και ο κατάλληλος προσανατολισμός. Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών Φ/Β εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να είναι ανέφικτες (λόγω των περιορισμών που προκύπτουν από τις δεδομένες διαθέσιμες επιφάνειες του κτιρίου), θα πρέπει να γίνει εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί η Φ/Β συστοιχία. Η μείωση της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (στην επιφάνεια της Φ/Β συστοιχίας) συγκριτικά με τη μέγιστη θεωρητική τιμή της (βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού) συνίσταται να μην υπερβαίνει το 10% προκειμένου να μεγιστοποιούνται τα οικονομικά οφέλη του ανεξάρτητου παραγωγού. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που προκύπτουν από τις διαθέσιμες επιφάνειες των κτιρίων, προτιμώνται γενικά επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με απόκλιση έως 70° από την κατεύθυνση του νότου (αζιμούθια γωνία), και κλίσης στο εύρος 0°-50°. Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών κλίσης άνω των 10°-15° διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.



Εικόνα 3.5. Κλίση-Προσανατολισμός
(Πηγή: ΚΑΠΕ, Οδηγός για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις)

3.1.2. Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη

Στα Φ/Β συστήματα σταθερής γωνίας κλίσης δεν υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της γωνίας κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή (είτε την μηνιαία, είτε όποτε το επιθυμούν) ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δύο φορές το χρόνο, μία κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου) και μία κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90° .

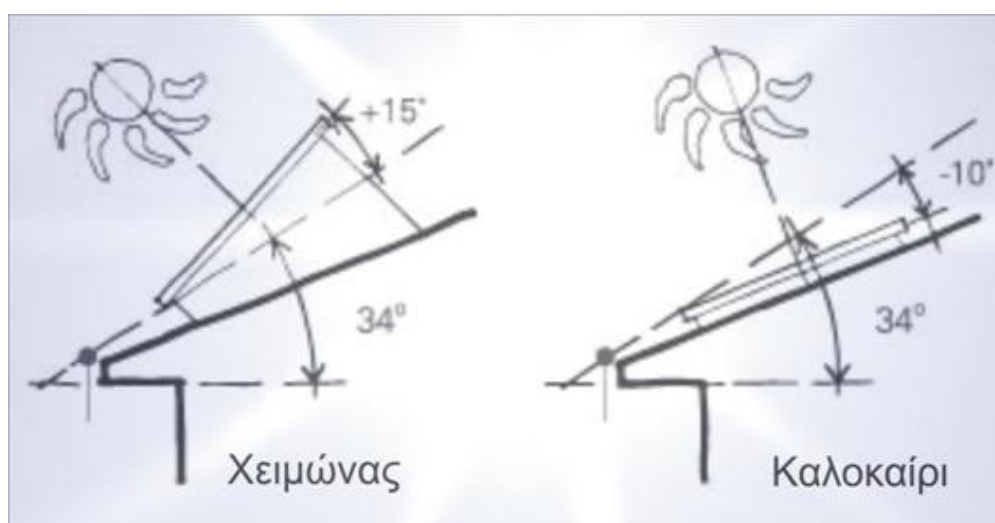
Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνίας του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, ανέμου, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και το albedo του εδάφους, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο.

Η καταλληλότερη γωνία κλίσης του συλλέκτη ισούται με $\beta = \lambda + (10^\circ \div 15^\circ)$ κατά τη χειμερινή περίοδο και με $\beta = \lambda - (10^\circ \div 15^\circ)$ κατά τη θερινή περίοδο.

Κατά την τοποθέτηση συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στα εξής:

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης πρέπει να τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά τη διάρκεια όλου του έτους.
- Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δύο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.

Στην Εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται συλλέκτης τοποθετημένος σε βάση στήριξης με δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας κλίσης.



Εικόνα 3.6. Στήριξη με δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας κλίσης
(Πηγή: www.greenenergia.gr)

Στον Πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται η μηνιαία ηλιακή ενέργεια συναρτήσει διαφόρων φασμάτων της γωνίας κλίσης για διάφορες πόλεις της Ελλάδας, και παρατηρούμε τα εξής:

- Για μικρές τιμές της γωνίας κλίσης επιτυγχάνεται βέλτιστη απόδοση το θερινό εξάμηνο (Απρίλιος-Σεπτέμβριος), καθώς το διάστημα αυτό ο ήλιος βρίσκεται στις υψηλότερες θέσεις του.
- Για τιμές κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου έχουμε τη μέγιστη απόδοση του συστήματος σε ετήσια βάση (όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως).
- Για τιμές μεγαλύτερες του γεωγραφικού πλάτους του τόπου παρουσιάζεται μέγιστη απόδοση το χειμερινό εξάμηνο (Οκτώβριος-Μάρτιος), καθώς το διάστημα αυτό ο ήλιος βρίσκεται στις χαμηλότερες θέσεις του.

Μηνιαία Ηλιακή Ενέργεια για τις βέλτιστες γωνίες κλίσεις β των Φ/B ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{μήνα}$), και βέλτιστη κλίση σε ετήσια (Ε) βάση, χειμερινή (Χ) και θερινή (Θ) περίοδο, για διάφορες περιοχές της Ελλάδος															
Κλίση Β (°)	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε	Χ	Θ
Αθήνα ($\phi=37,96^\circ$, $L=23,92^\circ$)															
7-14	70	84	118	151	190	201	217	206	158	117	84	67	1663	540	1123
23-33	86	97	126	151	181	188	204	202	166	133	104	85	1723	631	1092
42-52	98	103	124	137	154	156	171	178	159	140	118	99	1637	682	955
Ηράκλειο ($\phi=35,33^\circ$, $L=25,15^\circ$)															
5-12	73	90	133	175	211	216	221	207	173	129	94	73	1795	592	1203
20-30	87	101	140	174	202	203	210	203	180	143	112	89	1844	672	1172
38-48	96	107	140	163	180	177	185	186	176	151	124	101	1786	719	1067
Θεσσαλονίκη ($\phi=40,63^\circ$, $L=22,93^\circ$)															
9-16	62	75	105	140	174	183	203	182	141	101	69	58	1493	470	1023
25-35	77	87	111	139	166	171	191	178	148	114	85	74	1541	548	993
45-55	86	92	110	130	148	150	168	163	144	119	94	85	1489	586	903
Ιωάννινα ($\phi=39,67^\circ$, $L=20,83^\circ$)															
9-16	63	76	118	148	189	200	215	199	154	118	77	57	1614	509	1105
24-34	75	86	125	148	181	188	204	196	161	132	92	70	1658	580	1078
44-54	86	91	125	137	159	162	177	178	157	140	104	81	1597	627	970

(ϕ : γεωγρ. πλάτος, L : γεωγρ. μήκος)

Πίνακας 3.2. Μηνιαία Ηλιακή Ενέργεια για τις βέλτιστες γωνίες κλίσεις β των Φ/B ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{μήνα}$), και βέλτιστη κλίση σε ετήσια (Ε) βάση, χειμερινή (Χ) και θερινή (Θ) περίοδο, για διάφορες περιοχές της Ελλάδος

(Πηγή: Α. Γάγλια, Α. Αργυρίου, Σ. Λυκούδης, Κ.Α. Μπαλαράς, Απόδοση Πειραματικής Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης-Βέλτιστης Κλίσης Φωτοβολταϊκών και Ωφέλιμη Ηλιακή Ενέργεια στις Ελληνικές Περιοχές. 8^ο Συνέδριο για τις ΑΠΕ, ΙΥΤ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαρτίου 2006)

3.2. Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (trackers)

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, τεκμαίρεται πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Όπως προαναφέρθηκε, οι συλλέκτες τοποθετούνται είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Στην πρώτη περίπτωση, η απολαβή της ενέργειας από τον ήλιο είναι μικρή ενώ στη δεύτερη περίπτωση, όπου αποτελεί μια βελτιωμένη μέθοδο, έχουμε αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη.

Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές μοιάζουν αρκετά με το φυτό ηλιοτρόπιο ή ηλιάνθος, από όπου πήραν και το όνομά τους. Τα ηλιοτρόπια (trackers) στρέφουν τους συλλέκτες έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Με τα ηλιοτρόπια υπάρχει μια αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος από 20% έως 45%, σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Οι συσκευές αυτές βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

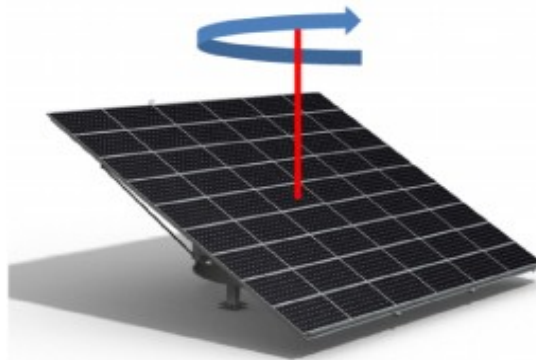
Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερ (tracker) χαρακτηρίζονται από μεγάλη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στα συστήματα μονού άξονα και στα συστήματα διπλού άξονα.

3.2.1. Συστήματα μονού άξονα (single axis systems)

Πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα η κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Τα συστήματα μονού άξονα διακρίνονται στις εξής κατηγορίες, το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο και το πολικό ηλιοτρόπιο.

➤ Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη. Παρακολουθεί δηλαδή το σύστημα την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Για την επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών ακολουθείται η ίδια λογική με τις προηγούμενες μεθόδους, όπου οι συλλέκτες τοποθετούνται με σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάση του γεωγραφικού πλάτους.



Εικόνα 3.7. Περιστροφή συστήματος γύρω από κατακόρυφο άξονα
(Πηγή: www.google.gr)

Χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας.

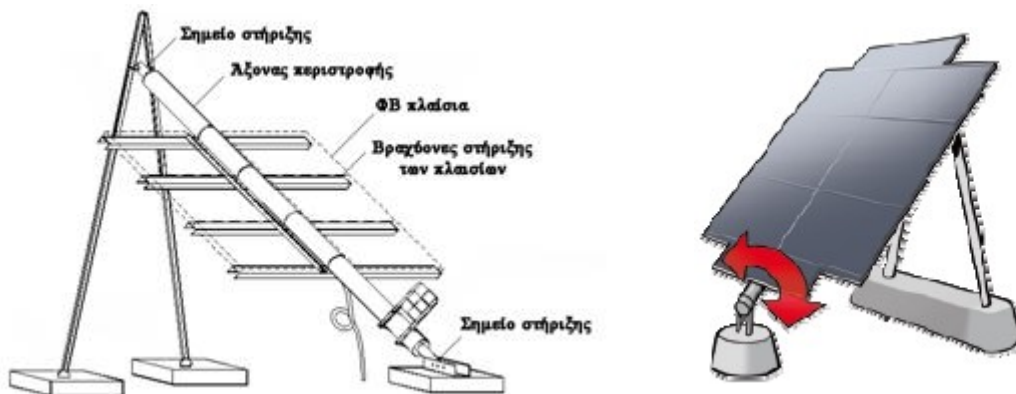
Η αύξηση ισχύος είναι περίπου 20-30%, εξαρτάται βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.



Εικόνα 3.8. Αζιμουθιακά Ηλιοτρόπια
(Πηγή: www.greenenergia.gr)

➤ Πολικό ηλιοτρόπιο (polar tracker)

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Με αυτό τον τρόπο ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά τη διάρκεια του έτους η γωνία μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη κυμαίνεται από $-23,5^{\circ}$ έως $+23,5^{\circ}$ (όπως προαναφέρθηκε).



Εικόνα 3.9. Πολικό Ηλιοτρόπιο
(Πηγή: www.greenenergia.gr & www.helarco.gr)

Η βασική χρήση των συστημάτων αυτών είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να αποκλείεται και η χρήση τους σε θερμικούς σταθμούς. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 35% ανάλογα με την εποχή του έτους.

Είναι σχετικά απλά στην κατασκευή και στον έλεγχο. Μειονεκτούν σημαντικά όσον αφορά στην αντοχή τους σε ισχυρούς ανέμους. Για την προστασία τους χρειάζονται ισχυρά συστήματα πέδησης. Επίσης, τα πλαίσια δεν τοποθετούνται ομοιόμορφα, αλλά σε τριγωνικό σχηματισμό, έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Αν δεν εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος τοποθέτησης μένει αρκετός χώρος αναξιοποίητος.

Σε πολλές περιπτώσεις τοποθετούνται και κάτοπτρα για την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.10. Ηλιακό κάτοπτρο σε φωτοβολταϊκό πάρκο
(Πηγή: www.greenenergia.gr)



Εικόνα 3.11. Πολικό Ηλιοτρόπιο
(Πηγή: www.google.gr)

3.2.2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis systems)

Πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 35%-45% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



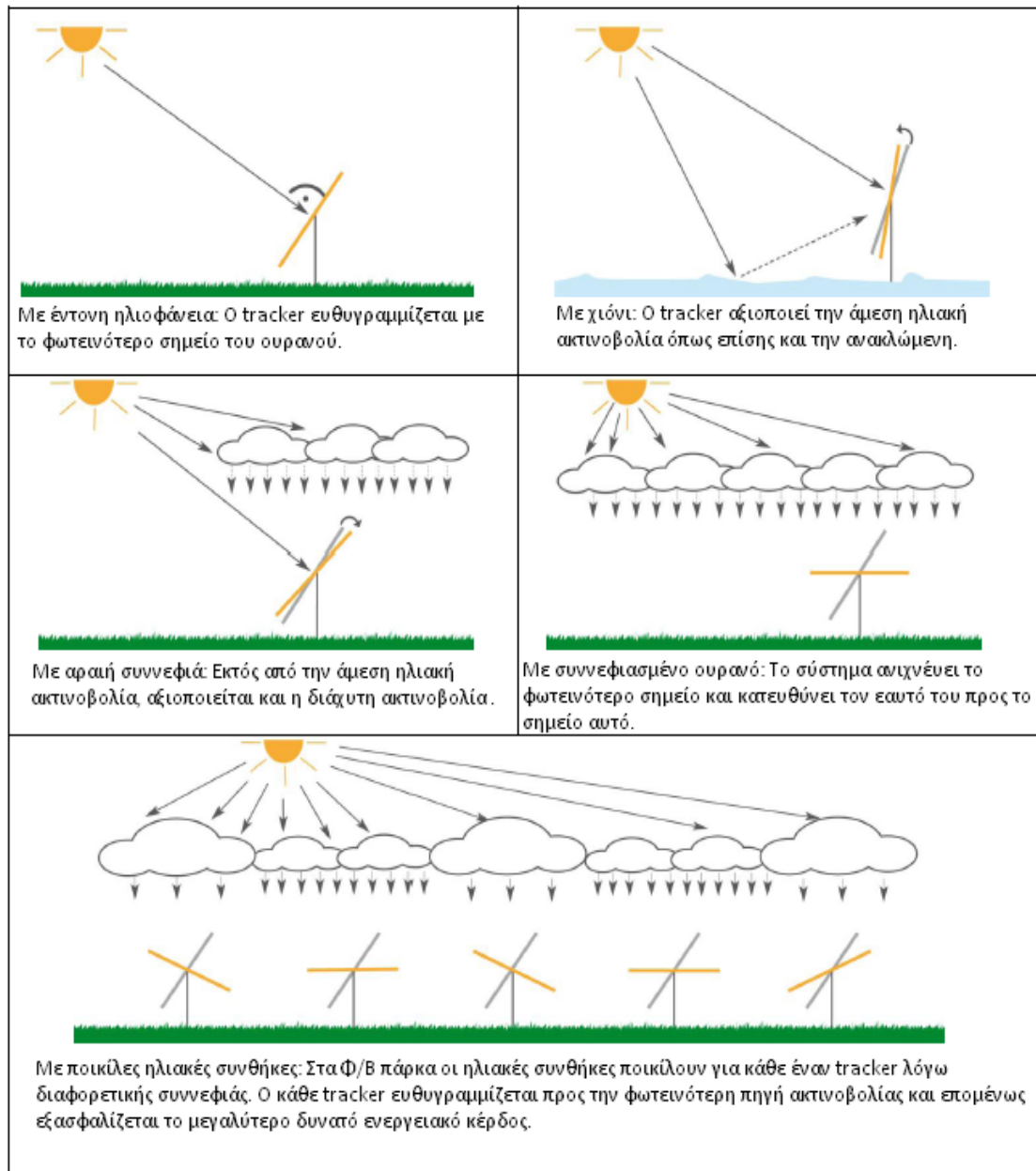
Εικόνα 3.12. Περιστροφή συστήματος γύρω από δύο άξονες
(Πηγή: www.google.gr & www.helapco.gr)





Εικόνα 3.13. Διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου διπλού άξονα
(Πηγή: www.google.gr)

Η αποδοτικότητα των Φ/Β συστημάτων εξαρτάται από την ενέργεια την οποία μπορούν να συλλέξουν. Τα συστήματα ιχνηλάτησης εξασφαλίζουν τη βέλτιστη αξιοποίηση όλης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην Εικόνα που ακολουθεί απεικονίζεται η δυνατότητα ενός συστήματος με tracker να συλλέγει τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 3.14. Προσαρμογή συστημάτων ιχνηλάτησης ανάλογα με τις υπάρχουσες καιρικές συνθήκες (Πηγή: Τεχνικό Εγχειρίδιο Deger Tracker)

3.2.3. Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου

Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται συνήθως με ηλεκτρο-μηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά δέκα λεπτά. Ωστόσο, είναι

σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα Φ/Β πάνελ λόγω της διαφοράς τιμής.

Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος είναι μέσω λογισμικού από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και η πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

Λόγω της ανάγκης κίνησης σημαντικού αριθμού πάνελ, τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από επίπεδες επιφάνειες τοποθετημένες σε μία κάθετη ως προς το έδαφος βάση στήριξης (εξαιρούνται τα πολικά ηλιοτρόπια).

Το γεγονός αυτό οδηγεί σε κατασκευές σημαντικού ύψους το οποίο κυμαίνεται από 2,5 έως 10-12 μέτρα, αναλόγως της κατασκευής. Το ύψος κατασκευής συνήθως αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας των πάνελ. Σήμερα τα συστήματα ιχνηλάτησης κατασκευάζονται για να φέρουν ισχύ πάνελ που κυμαίνεται από 2-3kWp έως περίπου 33kWp (το καθένα).

Το σημαντικό μέγεθος της κατασκευής καθιστά πολυπλοκότερη και την έδραση. Συνήθως οι βάσεις στήριξης εδράζονται σε οπλισμένο σκυρόδεμα σημαντικού όγκου (από 2-3 έως και περίπου 20-30 κυβ. μέτρα) ώστε να εξασφαλίζεται η στατική τους επάρκεια. Είναι προφανές, ότι τα κόστη εγκατάστασης αυξάνονται σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Το σημαντικό μέγεθος των συστημάτων αυτών (και κυρίως το ύψος τους) αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου σε σχέση με ένα σύστημα σταθερών βάσεων, συνήθως κατά 1,5-2 φορές, λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ τους για την αποφυγή σκιάσεων. Επιπλέον, το μέγεθος των τράκερ τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους (σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων) σε ανεμοπιέσεις. Η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι να χρησιμοποιείται ένα ανεμόμετρο και όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το σύστημα κίνησης να λαμβάνει εντολή να θέτει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος, μια διαδικασία γνωστή ως «οριζοντίωση», για λόγους προστασίας. Η ταχύτητα αυτή κυμαίνεται ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά μπορεί να είναι και χαμηλή και να αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 5-6 Bf. Κατά συνέπεια, κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εκτιμά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης προτού προχωρήσει στην επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου τέτοιου συστήματος.

Πέραν των παραπάνω, κάθε μελετητής μηχανικός και εν δυνάμει ιδιοκτήτης Φ/Β πάρκου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του τα εξής πρακτικά ζητήματα που αφορά την τοποθέτηση των συστημάτων ιχνηλάτησης:

- Όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χρήζουν συντήρησης (ετήσιο κόστος συντήρησης περίπου ίσο με το 1% του κόστους επένδυσης) λόγω της ύπαρξης ηλεκτρο-μηχανικών ή ηλεκτρο-υδραυλικών μέσων κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να καταστεί απαραίτητος ο επαναπρογραμματισμός του λογισμικού του συστήματος κίνησης, λόγω απώλειας δεδομένων.
- Λόγω του σημαντικού τους ύψους είναι απαραίτητη η έκδοση οικοδομικής άδειας και όχι έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας, όπως ισχύει για τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και επηρεάζει το χρόνο υλοποίησης κατασκευής του σταθμού.
- Επιπρόσθετα, λόγω του σημαντικού ύψους, η εκτέλεση διαφόρων εργασιών γίνεται δυσκολότερη σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών αποτελούν η αντικατάσταση ενός πάνελ που έχει υποστεί φθορά ή ο καθαρισμός των πάνελ.

Ακολουθεί Πίνακας ο οποίος απεικονίζει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε ετήσια βάση, για Φ/Β σύστημα κάθε είδους στήριξης στην περιοχή της Λαμίας. Στα συστήματα σταθερής βάσης ο προσανατολισμός είναι νότιος.

Παρατηρούμε ότι:

- Τα συστήματα σταθερής βάσης παρουσιάζουν τη μικρότερη απόδοση.
- Με εφαρμογή της εποχιακής ρύθμισης (2 ρυθμίσεις/έτος ή μηνιαία ρύθμιση) παρατηρείται μικρή βελτίωση της απόδοσης. Η μηνιαία ρύθμιση είναι πιο αποδοτική από την εξαμηνιαία.
- Τα συστήματα με trackers παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση της απόδοσης. Εάν επιπλέον εφαρμόσουμε και σε αυτά ρύθμιση της γωνίας κλίσης, τότε η βελτίωση είναι μεγαλύτερη αλλά όχι αξιοσημείωτη.
- Η μεγαλύτερη διαφορά στην απόδοση εμφανίζεται μεταξύ συστήματος μονού άξονα και συστήματος σταθερής βάσης με μηνιαία ρύθμιση της γωνία κλίσης.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
Φ/Β με σταθερή βέλτιστη ετήσια κλίση													
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε [kWh/m ²]	79,1	86,7	134,7	160,6	197,7	201,8	208,4	200,2	169,0	128,6	100,3	83,8	1751,0
Κλίση Φ/Β σε (°)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	-
Μία κλίση ανά εποχή (2 κλίσεις ανά έτος) & γ=0													
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε [kWh/m ²]	89,3	90,9	131,3	160,0	205,2	213,6	218,8	202,4	161,8	133,4	113,3	98,1	1818,0
Κλίση Φ/Β σε (°)	53	53	53	12	12	12	12	12	12	53	53	53	-
Μηνιαία κλίση (12 κλίσεις ανά έτος) & γ=0													
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε [kWh/m ²]	89,7	91,1	135,7	161,5	205,4	215,2	219,4	202,8	169,2	134,1	113,8	99,5	1837,2
Κλίση Φ/Β σε (°)	60	50	36	20	6	0	1	14	31	48	60	64	-
Ενός άξονα περιστροφής με σταθερή κλίση β=49° & γ=γs)													
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε [kWh/m ²]	100,1	104,2	163,8	198,2	246,3	252,5	262,0	254,2	209,0	156,4	128,6	109,5	2184,9
Κλίση Φ/Β σε (°)	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	-
Ενός άξονα περιστροφής με μηνιαία κλίση & γ=γs													
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε [kWh/m ²]	103,2	104,9	163,8	198,6	248,7	256,3	265,1	254,9	209,0	157,2	132,7	114,8	2209,3
Κλίση Φ/Β σε (°)	64	56	51	45	40	38	39	44	49	56	64	68	-
Διπλού άξονα περιστροφής με συνεχή μεταβολή της κλίσης & γ=γs													
Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε [kWh/m ²]	103,8	105,8	167,1	205,9	259,5	268,0	277,2	266,0	214,3	158,9	133,7	115,4	2275,6
Κλίση Φ/Β σε (°)	Η κλίση είναι σε κάθε στιγμή ίδια με την ζενιθιακή γωνία του ήλιου (β = θz)												

Πίνακας 3.3. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε Φ/Β σύστημα στην περιοχή της Λαμίας

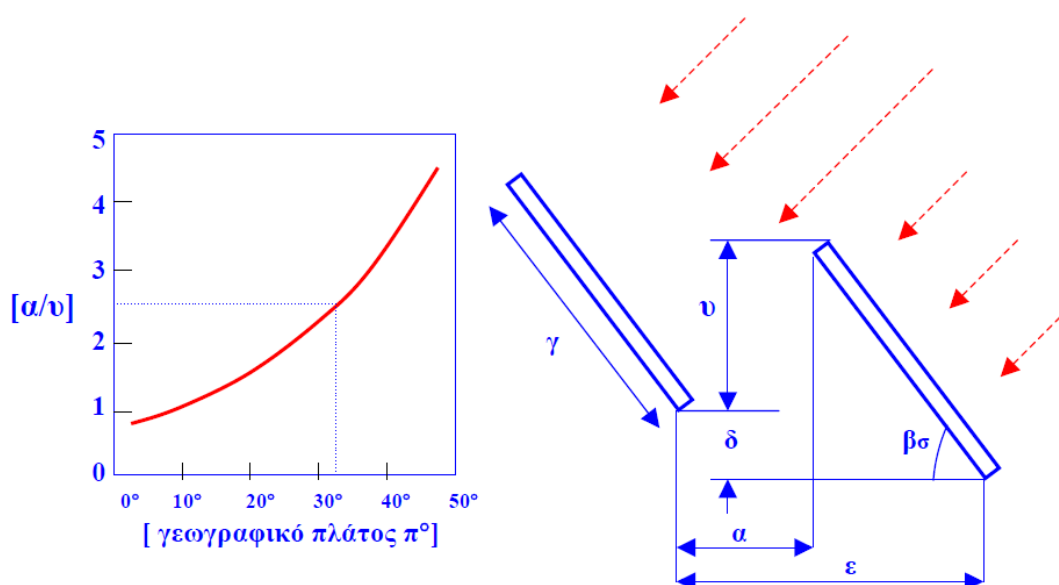
(Πηγή:Α. Γάγλια, Α. Αργυρίου, Σ. Λυκούδης, Κ.Α. Μπαλαράς, Απόδοση Πειραματικής Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης-Βέλτιστης Κλίσης Φωτοβολταϊκών και Ωφέλιμη Ηλιακή Ενέργεια στις Ελληνικές Περιοχές. 8^ο Συνέδριο για τις ΑΠΕ, ΙΥΤ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη,29-31 Μαρτίου 2006)

3.3. Σκίαση

Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος (στα Φ/Β πάρκα δεν μπορεί να υφίσταται κάτι τέτοιο) είναι η ύπαρξη σκιασμών. Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δε θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από παρακείμενα κτήρια, κολώνες, στηθαίο, κ.λπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι, τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη.

Σύμφωνα με το διάγραμμα του Moneron, το οποίο ακολουθεί, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου προκύπτει μία τιμή του λόγου απόστασης προς ύψος για την οποία αποφεύγεται ο κίνδυνος μείωσης της απόδοσης λόγω σκιάσεων.

Στην Ελλάδα η απόσταση από το πιθανό εμπόδιο (κτήριο, δέντρο, καμινάδα) πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.



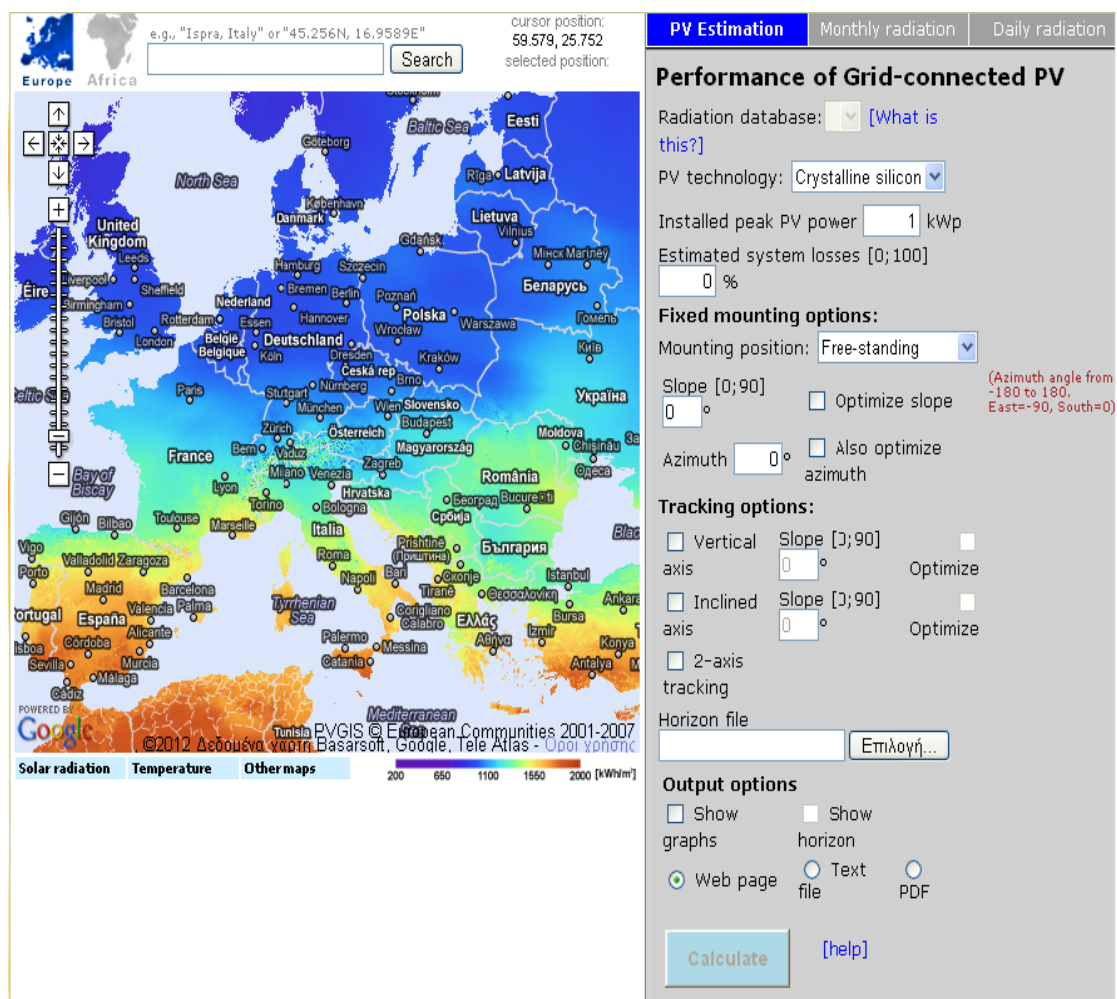
Εικόνα 3.15. Διάγραμμα Moneron
(Πηγή: Καγκαράκης Κ., «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία»)

3.4.Πρόγραμμα PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)

Με τη χρήση του προγράμματος PVGIS μπορεί ο οποιοσδήποτε να υπολογίσει την κατά προσέγγιση απόδοση ενός εγκατεστημένου ή ενός εν δυνάμει Φ/Β συστήματος σε οποιαδήποτε περιοχή επιθυμεί. Το πρόγραμμα έχει κατασκευαστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση και βρίσκεται δωρεάν προς χρήση στο διαδίκτυο.

Για τον υπολογισμό της απόδοσης ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ δύο βάσεων δεδομένων, οι οποίες είναι οι Classic PVGIS και Climate-SAF PVGIS. Η πρώτη χρησιμοποιεί δεδομένα από γεωμορφολογικές μετρήσεις και η δεύτερη κλιματολογικά δεδομένα που προέρχονται από υπολογισμούς δορυφόρων.

Το πρόγραμμα πριν την εισαγωγή δεδομένων έχει την εξής μορφή:



The image shows the PVGIS web interface. On the left is a map of Europe with a color-coded solar radiation scale from 200 to 2000 kWh/m². A search bar at the top left allows for location input, with a cursor position of 59.579, 25.752. The right panel, titled 'Performance of Grid-connected PV', contains several configuration options:

- PV Estimation:** Monthly radiation (selected) and Daily radiation.
- Radiation database:** A dropdown menu with a link to '[What is this?]'.
- PV technology:** Crystalline silicon.
- Installed peak PV power:** 1 kWp.
- Estimated system losses:** 0%.
- Fixed mounting options:** Mounting position: Free-standing. Slope: 0°. Azimuth: 0°. Options for 'Optimize slope' and 'Also optimize azimuth' are present.
- Tracking options:** Vertical axis, Inclined axis, and 2-axis tracking, each with a 'Slope [0;90]' field and an 'Optimize' checkbox.
- Horizon file:** A text input field with a 'Επιλογή...' button.
- Output options:** Checkboxes for 'Show graphs' and 'Show horizon'. Radio buttons for 'Web page', 'Text file', and 'PDF'.
- Buttons:** 'Calculate' and '[help]'.

Εικόνα 3.16. Αρχική μορφή PVGIS
(Πηγή: www.pvtech.gr)

Για να υπολογιστεί η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος πρέπει να εισάγουμε τα εξής δεδομένα:

- Επιλέγουμε την τοποθεσία.
- Επιλέγουμε τη βάση δεδομένων βάσει της οποίας θα πραγματοποιηθούν οι υπολογισμοί.
- Επιλέγουμε το υλικό κατασκευής των Φ/Β στοιχείων. Το πρόγραμμα μας επιτρέπει να διαλέξουμε μεταξύ του κρυσταλλικού πυριτίου (Crystalline Silicon), του τελλουριούχου καδμίου (CdTe) και του δισηληνιούχου ινδιούχου χαλκού (CIS). Η συνηθέστερη επιλογή είναι αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου.
- Εισάγουμε την τιμή της παραγόμενης ισχύος του συστήματος.
- Εισάγουμε τις εκτιμώμενες απώλειες του συστήματος. Οι απώλειες περιλαμβάνουν θερμικές απώλειες μέσω των καλωδίων, απώλειες λόγω πιθανής σκίασης, απώλειες λόγω γήρανσης των πάνελ και απώλειες στον αντιστροφέα. Μια λογική τιμή για τις απώλειες ανέρχεται σε 14%.
- Επιλέγουμε την τοποθεσία εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος μεταξύ δομημένου περιβάλλοντος (Building Integrated), π.χ. πόλη, και ελεύθερης έδρασης (Free Standing), π.χ. Φ/Β επί γηπέδου.
- Εισάγουμε τις τιμές της γωνίας κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας. Οι τιμές της γωνίας κλίσης κυμαίνονται από 0° - 90° και σε περίπτωση που δε γνωρίζουμε τη βέλτιστη και δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός επιλέγουμε «Optimize Slope». Αντίστοιχα, για την αζιμούθια γωνία, οι τιμές κυμαίνονται από 0° - 180° και από -180° - 0° . Στις 0° αντιστοιχεί ο Νότος. Αν δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός και δεν γνωρίζουμε τη βέλτιστη τιμή της επιλέγουμε «Optimize Azimuth». (Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο σε σύστημα σταθερής βάσης. Στο πρόγραμμα όμως, πρέπει να χρησιμοποιηθεί και για σύστημα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου προς σύγκριση των αποτελεσμάτων)
- Σε περίπτωση συστήματος σταθερής βάσης τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι τα παραπάνω και έπειτα επιλέγουμε «Calculate».
- Σε περίπτωση συστήματος ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου κάνουμε τα εξής επιπλέον:
Στην ενότητα «Tracking Options» έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε μεταξύ μονοαξονικού συστήματος και συστήματος διπλού άξονα.
 - Μονοαξονικό σύστημα: Επιλέγουμε «Vertical» αν το σύστημά μας αποτελείται από Αζιμουθιακά Ηλιοτρόπια (περιστρέφονται γύρω από κατακόρυφο άξονα) ή «Inclined» αν αποτελείται από Πολικά Ηλιοτρόπια (περιστρέφονται γύρω από κεκλιμένο άξονα). Και στις δύο περιπτώσεις επιλέγουμε «Optimize» για τη γωνία κλίσης.
 - Σύστημα Διπλού Άξονα: Επιλέγουμε «2-axis tracking».Τέλος, επιλέγουμε «Calculate».

Για την καλύτερη κατανόηση του προγράμματος ακολουθεί παράδειγμα. Θεωρούμε ότι το Φ/Β σύστημα βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας, σε ελεύθερη έδραση και είναι ισχύος 100kWp. Καταγράφονται τα αποτελέσματα για όλους τους τρόπους στήριξης, δηλαδή σταθερή βάση, trackers μονού άξονα (κατακόρυφου και κεκλιμένου) και trackers διπλού άξονα.

Οι παραδοχές που κάνουμε είναι οι εξής:

- Τοποθεσία: Πολυτεχνειούπολη, Ζωγράφου
- Βάση δεδομένων: Climate-SAF PVGIS
- Υλικό: Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο
- Απώλειες: 14%
- Γωνία κλίσης: Βέλτιστη
- Αζιμούθια γωνία: Βέλτιστη
- Επιλέγουμε «Vertical-Optimize», «Inclined-Optimize» και «2-axis tracking» για να λάβουμε αποτελέσματα για όλες τις περιπτώσεις.

Έπειτα από εισαγωγή των δεδομένων το πρόγραμμα έχει την παρακάτω μορφή.

Εικόνα 3.17. Μορφή PVGIS έπειτα από την εισαγωγή των δεδομένων (Πηγή: www.pvtech.gr)

Τα αποτελέσματα τα οποία εξάγονται αναφέρονται στα εξής μεγέθη:

- Μέση ημερήσια ηλεκτρική παραγωγή από το σύστημα (E_d , kWh)
- Μέση μηνιαία ηλεκτρική παραγωγή από το σύστημα (E_m , kWh)
- Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τα στοιχεία του συστήματος (H_d , kWh/m²)
- Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται από τα στοιχεία του συστήματος (H_m , kWh/m²)

Fixed system: inclination=32 deg., orientation=2 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	279.00	8650	3.48	108
Feb	329.00	9200	4.15	116
Mar	423.00	13100	5.43	168
Apr	474.00	14200	6.23	187
May	505.00	15700	6.81	211
Jun	537.00	16100	7.41	222
Jul	542.00	16800	7.56	234
Aug	545.00	16900	7.56	234
Sep	477.00	14300	6.49	195
Oct	398.00	12300	5.25	163
Nov	313.00	9380	3.99	120
Dec	261.00	8090	3.27	102
Year	424.00	12900	5.64	172
Total for year		155000		2060
Vertical axis tracking system inclination=52°				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	337.00	10500	4.24	131
Feb	399.00	11200	5.06	142
Mar	523.00	16200	6.70	208
Apr	607.00	18200	7.90	237
May	672.00	20800	8.92	277
Jun	751.00	22500	10.20	305
Jul	757.00	23500	10.40	322
Aug	726.00	22500	9.96	309
Sep	608.00	18200	8.21	246
Oct	491.00	15200	6.47	201
Nov	382.00	11500	4.91	147
Dec	313.00	9710	3.96	123
Year	548.00	16700	7.25	221
Total for year		200000		2650

Inclined axis tracking system inclination=34°				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	324.00	10100	4.04	125
Feb	394.00	11000	4.98	139
Mar	528.00	16400	6.76	210
Apr	618.00	18500	8.07	242
May	679.00	21000	9.04	280
Jun	753.00	22600	10.20	307
Jul	764.00	23700	10.50	325
Aug	742.00	23000	10.20	316
Sep	619.00	18600	8.36	251
Oct	489.00	15200	6.43	199
Nov	369.00	11100	4.72	141
Dec	300.00	9290	3.76	116
Year	549.00	16700	7.27	221
Total for year		200000		2650
2-axis tracking system				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	344.00	10700	4.33	134
Feb	404.00	11300	5.13	144
Mar	530.00	16400	6.79	210
Apr	621.00	18600	8.12	243
May	698.00	21700	9.33	289
Jun	789.00	23700	10.80	323
Jul	793.00	24600	10.90	339
Aug	751.00	23300	10.30	320
Sep	619.00	18600	8.37	251
Oct	497.00	15400	6.56	203
Nov	390.00	11700	5.01	150
Dec	319.00	9900	4.04	125
Year	564.00	17200	7.49	228
Total for year		206000		2730

Πίνακας 3.4. Εκτιμώμενη απόδοση του συστήματος για διάφορους τρόπους στήριξης (Πηγή: www.pvtech.gr)

Έπειτα από μελέτη του παράπανω Πίνακα μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Για συστήματα σταθερής βάσης η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 155.000 kWh.
- Για συστήματα μονού άξονα (είτε κατακόρυφου είτε κεκλιμένου) η αντίστοιχη τιμή της παραγωγής βελτιώνεται σημαντικά και ισούται με 200.000 kWh. Σε σχέση με τα συστήματα σταθερής βάσης η βελτίωση είναι της τάξεως του 29%.
- Τέλος, για συστήματα διπλού άξονα παρουσιάζεται περαιτέρω ακόμη μεγαλύτερη βελτίωση της παραγωγής, η οποία φτάνει τις 206.000 kWh.

3.5. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, η απόδοση ενός Φ/Β συστήματος είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους. Οι διάφοροι τρόποι στήριξης επιτρέπουν στο κάθε σύστημα να προσαρμόζεται ως προς το ηλιακό μονοπάτι με σκοπό τη βέλτιστη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως είδαμε και παραπάνω, έπειτα από μελέτη του Πίνακα 3 και από τα αποτελέσματα του προγράμματος PVGIS, η μεγαλύτερη διαφορά στην απόδοση παρουσιάζεται μεταξύ συστήματος μονού άξονα και συστήματος με σταθερή βάση. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα συστήματα με μονοαξονικά trackers, συγκριτικά με τα συστήματα σταθερής βάσης, εμφανίζουν περίπου 30% μεγαλύτερη απόδοση. Για την εγκατάσταση ενός Φ/Β πάρκου με τέτοια συστήματα το κόστος αυξάνεται περίπου 20% σε σχέση με συστήματα σταθερής βάσης (αναφερόμαστε πάντα στα ίδια kWh). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι το κόστος ενός Φ/Β πάρκου ισχύος 100kWp με συστήματα σταθερής βάσης ξεκινά από 190.000€, ενώ το αντίστοιχο κόστος με μονοαξονικά συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου ξεκινά από 230.000€. (Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στο συνολικό κόστος του συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει αγορά, εγκατάσταση, οικίσκος, περίφραξη, κ.λπ.)

Βιβλιογραφία 3^{ου} Κεφαλαίου

- [1] Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων ΤΕΕ, ΤΚΜ 2011
- [2] Δικτυακός τόπος greenenergia.gr
- [3] Γάγλια Α., «Απόδοση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες – Δυνατότητα εφαρμογής στα ελληνικά κτίρια», Νοέμβριος 2009
- [4] Δικτυακός τόπος του Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών www.helapco.gr
- [5] Καγκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- [6] Δικτυακός τόπος www.pvtech.gr
- [7] Deger Top Tracker, Τεχνικό Εγχειρίδιο Προϊόντος
- [8] Προφορική συνέντευξη του Παναγιώτη Λαΐου Διπλωματούχου Μηχ/κου Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Συνιδιοκτήτη της «ML ENERGY SYSTEMS Ο.Ε.»
- [9] Δικτυακός τόπος του Iowa Energy Center <http://energy.iastate.edu>
- [10] Δικτυακός τόπος της Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker

Κεφάλαιο 4^ο

Νομοθεσία - Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Εισαγωγή

Η πρώτη προσπάθεια προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε το 1985 με την έκδοση του Ν. 1599/1985 «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 135/Α/85) με τον οποίο παρέχεται η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, σε ιδιώτες αυτοπαραγωγούς, ΔΕΗ και ΟΤΑ.

Ο Ν. 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 168/Α/1994), αποτέλεσε την απαρχή για την ουσιαστική ανάπτυξη των ΑΠΕ. Ο Νόμος αυτός έδωσε την δυνατότητα σε ιδιώτες να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ ως ανεξάρτητοι παραγωγοί, καθορίζοντας για το διασυνδεδεμένο σύστημα της χώρας σταθερές τιμές πώλησης ανανεώσιμης ενέργειας σε επίπεδα ίσα με το 90% του γενικού τιμολογίου στη μέση τάση και υποχρέωση της ΔΕΗ για αγορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια, ο Ν. 2773/99 «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 286/Α/99), καθιερώνει την άδεια παραγωγής. Με την ΥΑ 2000/2002 «Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών και τύποι συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας» (ΦΕΚ Β 158), η άδεια παραγωγής αποτελεί προϋπόθεση για την έναρξη της αδειοδοτικής διαδικασίας.

Με τον Νόμο 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 129/1/2006) καταργήθηκαν ορισμένα άρθρα των Νόμων 2773/1999 και 2244/1994 και επαναπροσδιορίστηκε από το άρθρο 3 (Άδεια Παραγωγής) η διαδικασία αδειοδότησης και εγκατάστασης μονάδων ΑΠΕ. Σύμφωνα με τον παραπάνω νόμο στην διαδικασία έκδοσης άδειας παραγωγής περιλαμβάνεται και η διαδικασία της περιβαλλοντικής αδειοδότησης που αφορά στην έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

Η συνεχής εναλλαγή των νομοθετημάτων και κανονιστικών διατάξεων για τα έργα ΑΠΕ αντικατοπτρίζει την προσπάθεια ρύθμισης τεχνικών, περιβαλλοντικών, χωροταξικών και κοινωνικών ζητημάτων, που αναδείχθηκαν μέσα από τις παλαιότερες διαδικασίες αδειοδότησης, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση στην υλοποίηση των αντίστοιχων επενδύσεων.

Στο παρελθόν τα βασικότερα προβλήματα στην αδειοδοτική διαδικασία των έργων ΑΠΕ, εστιάζονταν στην πολυπλοκότητα της διαδικασίας και στον έντονα υποκειμενικό χαρακτήρα αξιολόγησης των αιτήσεων αδειοδότησης. Η χωροθέτηση των εγκαταστάσεων ΑΠΕ στην Ελλάδα είχε αντιμετωπιστεί αποκλειστικά στο πλαίσιο των διαδικασιών περιβαλλοντικής αδειοδότησης των σχετικών έργων. Η διαδικασία αυτή, αν και επέτρεπε την εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον στο επίπεδο κάθε συγκεκριμένης εγκατάστασης, εν τούτοις δεν μπορούσε, λόγω του εξατομικευμένου χαρακτήρα της, να απαντήσει στην ανάγκη καθιέρωσης γενικών κριτηρίων χωροθέτησης έργων ΑΠΕ. Κριτήρια δηλαδή που διασφάλιζαν ένα κοινό πλαίσιο χωρικής οργάνωσης των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων ανάλογα με τη φυσιογνωμία και τις χωροταξικές ιδιαιτερότητες των επιμέρους ενοτήτων του Ελληνικού χώρου, τις επιμέρους κατηγορίες έργων ΑΠΕ και τις ειδικές ανάγκες έργων ανάπτυξης, προστασίας ή διαφύλαξης που απαντώνται σε συγκεκριμένες περιοχές και σε ευπαθή οικοσυστήματα της χώρας.

Την ανάγκη για ορθολογικό σχεδιασμό και προγραμματισμό για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων ΑΠΕ, υπέδειξε και το Συμβούλιο της Επικρατείας, επαναλαμβάνοντας και στο πεδίο των ΑΠΕ, την πάγια νομολογία για την ανάγκη ευρύτερου χωροταξικού σχεδιασμού.

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία αδειοδότησης για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και επισημαίνονται κομβικά σημεία αυτής. Επίσης, γίνεται αναφορά στις κυριότερες διατάξεις του Νομοθετικού πλαισίου που αναφέρεται σε αυτά.

Ως εθνικός στόχος, ορίζεται η κάλυψη με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) να ανέρχεται σε ποσοστό 40% τουλάχιστον της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2020. Στην επίτευξη του στόχου αυτού, η συνδρομή των Φ/Β συστημάτων ανέρχεται σε 2200 MWp έως το 2020. Από την ισχύ αυτή, τα 750 MWp έχει αποφασιστεί ότι θα δοθούν στους κατ' επάγγελμα αγρότες (500 MWp έως το 2014 και 750 MWp συνολικά έως το 2020) και τα υπόλοιπα θα κατανεμηθούν σε όλους τους άλλους επενδυτές (1.000 MWp έως το 2014 και 1.450 MWp συνολικά έως το 2020).²

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα παραπάνω όρια ισχύος δεν συνυπολογίζεται η ισχύς Φ/Β που εντάσσονται στο ειδικό πρόγραμμα στεγών.³

Η τελευταία καταληκτική ημερομηνία για αιτήσεις ένταξης επενδύσεων στον αναπτυξιακό νόμο ήταν 31 Ιανουαρίου 2010. Ο επόμενος αναπτυξιακός νόμος

² ΥΑ 19598/2010 αρθ. 1 §1

³ ΥΑ 19598/2010 αρθ. 2 §4

αναμένεται να μην επιδοτεί τις επενδύσεις σε Φ/Β συστήματα. Αυτό οφείλεται στο ότι πλέον οι εν λόγω επενδύσεις θεωρούνται εξαιρετικά κερδοφόρες ακόμα και χωρίς επιπλέον επιδότηση. Ως εκ τούτου, ο δυνητικός επενδυτής θα πρέπει προτού εκκινήσει την διαδικασία αδειοδότησης να έχει διερευνήσει το κόστος της επένδυσης και την δυνατότητα χρηματοδότησης είτε από το τραπεζικό σύστημα είτε από μόνος του.

Στην παρούσα φάση, ανάλογα με τη θέση εγκατάστασης και την ισχύ ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Συστήματα έως 10 kWp σε στέγες κτιρίων.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Αγροτεμάχια.

4.1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα έως 10 kWp σε Στέγες Κτιρίων

Από την 1^η Ιουλίου 2009 ισχύει ένα πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών Φ/Β συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για κατοικία ή στέγαση πολύ μικρών επιχειρήσεων. Με το πρόγραμμα αυτό, το οποίο αφορά παραγόμενη ενέργεια που εγχέεται στο δίκτυο, δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κλοβατώρας, ώστε ο καταναλωτής να κάνει απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησε και να έχει ένα λογικό κέρδος.

Το πρόγραμμα ισχύει για μονάδες δυναμικότητας έως 10 kWp στο ηπειρωτικό δίκτυο, για τα νησιά εκείνα που είναι διασυνδεδεμένα σε αυτό (π.χ. Εύβοια, Ιόνια, Σποράδες, νησιά Αργωσαρωνικού) καθώς και τη Κρήτη.⁴ Όσον αφορά στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, ως μέγιστη ισχύς στο πλαίσιο του προγράμματος ορίζονται τα 5 kWp. Παρατίθεται παρακάτω σχετικός πίνακας όπου φαίνονται τα περιθώρια ανάπτυξης Φ/Β συστημάτων με την αντίστοιχη συνολική ισχύ για το καθένα από αυτά.⁵

Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα έχουν φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες, φυσικά πρόσωπα επιτηδευματίες που κατατάσσονται στις πολύ μικρές επιχειρήσεις, Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου⁶ (Ν.Π.Δ.Δ.), καθώς και τα μη

⁴ Ν.18513 αρθ.1 §3

⁵ Απόφαση ΡΑΕ Υπ.Αριθ. 703/2008

⁶ *Ν.Π.Δ.Δ.* Χαρακτηρίζονται εκείνα των οποίων ο σκοπός αφορά την εξυπηρέτηση και την επιτέλεση κάποιας κρατικής λειτουργίας ή υπηρεσίας. Πρότυπο Νομικού Προσώπου Δημοσίου Δικαίου είναι η ίδια η Πολιτεία (το Κράτος) αλλά χαρακτηριστικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου είναι οι οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Δήμοι και Περιφέρειες), η Εκκλησία της Ελλάδος κ.λπ.

κερδοσκοπικού χαρακτήρα Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου⁷ (Ν.Π.Ι.Δ.), τα οποία έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίον θα εγκατασταθεί το Φ/Β σύστημα.

4.1.1. Οικιακοί Παραγωγοί

Ως οικιακοί παραγωγοί ορίζονται τα φυσικά πρόσωπα, μη επιτηδευματίες που επιθυμούν να εγκαταστήσουν Φ/Β συστήματα σε κτίριο μόνιμης διαμονής τους καθώς και σε μία μόνο εξοχική κατοικία, ισχύος έως 10 kWp. Σε κατοικίες του ίδιου φυσικού προσώπου στο ίδιο ακίνητο μπορεί να εγκατασταθεί ένα ή περισσότερα Φ/Β συστήματα που η συνολική ισχύς τους δεν θα υπερβαίνει τα 10 kWp. Στην περίπτωση Φυσικού προσώπου που έχει στην κυριότητά του κατοικία την οποία μισθώνει, μετά την ενεργοποίηση του Φ/Β συστήματος δεν μπορεί να γίνει διαδοχή της παροχής ρεύματος στο όνομα του μισθωτή χωρίς να γίνει καταγγελία των συμβάσεων Σύνδεσης και Συμψηφισμού.

Σε περίπτωση επικαρπίας και ψιλής κυριότητας σε ακίνητο, στο πρόγραμμα μπορεί να ενταχθεί ο επικαρπωτής και μόνον, χωρίς τη συναίνεση του ψιλού κυρίου, καθότι εκ του νόμου ο επικαρπωτής δικαιούται να καρπώνεται την πρόσοδο και να χρησιμοποιεί το χώρο που εγκαθίσταται το Φ/Β σύστημα. Στην περίπτωση αυτή, η υφιστάμενη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος της ΔΕΗ θα πρέπει να είναι στο όνομα αυτού που έχει την επικαρπία. Αντίθετα, ο ψιλός κύριος δεν δικαιούται ο ίδιος, ακόμη και αν έχει τη συναίνεση του επικαρπωτή, να ενταχθεί στο πρόγραμμα, καθότι δεν δικαιούται να χρησιμοποιεί το ακίνητο όσο ζει ο επικαρπωτής.

Στην περίπτωση όπου το κτίριο είναι διατηρητέο, ή βρίσκεται εντός οικισμού χαρακτηρισμένο ως παραδοσιακό ή σε ιστορικό τμήμα πόλης, επιτρέπεται σε αυτό η εγκατάσταση Φ/Β εφόσον δεν απαγορεύεται από τα σχετικά διατάγματα και τις αποφάσεις προστασίας τους και υπό τον όρο ότι τοποθετούνται στους ακάλυπτους χώρους των κτιρίων και σε σημεία μη ορατά από κοινόχρηστους χώρους.

Η έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας χορηγείται ύστερα από σύμφωνη γνώμη της Αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου. Η Ε.Π.Α.Ε. ελέγχει την τήρηση των παραπάνω προϋποθέσεων, την ένταξη των εγκαταστάσεων στο χώρο καθώς και την εναρμόνισή τους με το τοπίο. Στις περιπτώσεις που απαιτείται έγκριση από το Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού υποβάλλεται σκαρίφημα του χώρου τοποθέτησης Φ/Β στοιχείων και φωτογραφική τεκμηρίωση.⁸

⁷ Ν.Π.Ι.Δ. Χαρακτηρίζονται εκείνα που ιδρύονται από ιδιώτες και συνεπώς ακολουθούν τους κανόνες του Ιδιωτικού Δικαίου. Τα κυριότερα Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου είναι : Σωματεία (Σύλλογοι), Ιδρύματα, Εταιρείες, Συνεταιρισμοί.

⁸ Υ.Α. 16-2-2011, άρθ.5 §1, 2

Η εγκατάσταση μπορεί να γίνει στο δώμα ή στη στέγη νομίμως υφιστάμενου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης. Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση Φ/Β συστημάτων πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου καθώς και σε φρεάτιο ανελκυστήρα. Τα Φ/Β συστήματα θα πρέπει να αποτελούν ενιαίο σύνολο με τις υπόλοιπες κατασκευές⁹, εφόσον υπάρχουν, έτσι ώστε να μην προσβάλλεται η αισθητική του κτιρίου και του περιβάλλοντος.

Η διάταξη των Φ/Β στοιχείων δεν θα πρέπει να δημιουργεί χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης ή ημιυπαίθριο χώρο ή να εμποδίζει την απρόσκοπτη προσπέλαση σε κοινόχρηστους χώρους. Σε περίπτωση ορόφου σε υποχώρηση, οι εγκαταστάσεις αυτές θα περιορίζονται στο περίγραμμα του ορόφου. Σε περίπτωση τοποθέτησης σε στέγη, αυτή θα πρέπει να γίνεται εντός του περιγράμματος της στέγης, ακολουθώντας την κλίση της, ώστε να εξασφαλίζεται η αισθητική εικόνα του κτιρίου¹⁰.

Σύμφωνα με τους όρους του προγράμματος τα Φ/Β συστήματα τοποθετούνται σε σταθερά και συγκεκριμένα σημεία των κτιρίων. Στις πέργκολες ως κατασκευές στήριξης των φυτών και μόνο και στις τέντες ως μη σταθερές κατασκευές, δεν επιτρέπεται η επικάλυψη από οποιοδήποτε υλικό μόνιμο ή προσωρινό¹¹.

Αν τα Φ/Β συστήματα τοποθετούνται στο δώμα του κτιρίου, οι αποστάσεις από το στηθαίο του δώματος θα είναι κατ' ελάχιστο 0,50 μ. για λόγους ασφαλείας¹².

Όσον αφορά στις πολυκατοικίες, θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι. Είτε να συμφωνήσουν εγγράφως όλοι οι ιδιοκτήτες, είτε το Φ/Β να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών, τους οποίους εκπροσωπεί ο διαχειριστής. Εάν κάποιος ιδιοκτήτης έχει το αποκλειστικό δικαίωμα χρήσης του δώματος, μπορεί να ξεκινήσει την εγκατάσταση για ίδιο όφελος, εάν αυτό δεν απαγορεύεται από ρητή διάταξη του κανονισμού την πολυκατοικίας, και αν όχι, δηλαδή ο χώρος είναι κοινόκτητος και οι κύριοι του θέλουν να τον παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη, τότε μπορούν να το κάνουν. Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει μόνο ένα σύστημα. Αν το σύστημα βέβαια μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπου περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

⁹ Άρθρο 16, Ν.1577/1985

¹⁰ ΥΑ 36720, αρθ.2 §3

¹¹ Εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ 54435/ΕΓΚ.39/1998

¹² ΥΑ 36720, αρθ.2 §5

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον Κύριο του Φ/Β συστήματος δεν υφίστανται φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας στο δίκτυο. Καμία φορολογική ή ασφαλιστική υποχρέωση (άνοιγμα βιβλίων, έκδοση τιμολογίων, ασφάλιση κ.λ.π.) δεν έχει ο παραγωγός-καταναλωτής¹³.

4.1.2. Μικρές Επιχειρήσεις

Μικρή επιχείρηση λογίζεται αυτή που έχει έως δέκα (10) άτομα προσωπικό και ετήσιο τζίρο έως δύο εκατομμύρια ευρώ. Μπορούν να ενταχθούν στο πρόγραμμα πολύ μικρές επιχειρήσεις (φυσικά ή νομικά πρόσωπα επιτηδευματίες, που κατατάσσονται στις πολύ μικρές επιχειρήσεις) που επιθυμούν να εγκαταστήσουν Φ/Β ισχύος έως 10 kWp στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφιστάμενου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης.

Όσον αφορά αυτή τη κατηγορία, πρέπει να σημειωθεί ότι για να εγκατασταθεί Φ/Β Σύστημα είναι απαραίτητο να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση. Δηλαδή, έστω ότι υπάρχει μια Α επιχείρηση, η οποία στεγάζεται σε κτίριο το οποίο ανήκει στον Κύριο Β. Δεν μπορεί ούτε η επιχείρηση Α, ούτε ο κύριος Β να τοποθετήσουν Φ/Β σύστημα στο συγκεκριμένο κτίριο. Για να γίνει αυτό, πρέπει ο κύριος Β κάτοχος του κτιρίου να στεγάζει εκεί τη δική του επιχείρηση.

Στην περίπτωση μικρής επιχείρησης, τα όποια έσοδα έχει από την πώληση ενέργειας δεν φορολογούνται με την προϋπόθεση ότι τα κέρδη εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Σε περίπτωση διανομής ή κεφαλοποίησης τους, ισχύει η τρέχουσα φορολογία για τα κέρδη που διανέμονται.

Τέλος, ισχύουν οι ίδιες κατασκευαστικές δεσμεύσεις όπως και στην περίπτωση των οικιακών παραγωγών.

Διαδικασία σύνδεσης στο Δίκτυο Χαμηλής Τάσης

Βασική προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενεργής σύνδεσης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στο όνομα του κυρίου του Φ/Β στο κτίριο όπου το σύστημα εγκαθίσταται.

¹³ Εγκύκλιος 1078580/6637/491/Β0014 (6-8-2009) IV φορολογία εισοδήματος

Αίτηση προς Δ.Ε.Η. Α.Ε. (Τοπική Υπηρεσία, Περιοχή)

Το έντυπο της αίτησης χορηγείται από τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. και πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τα εξής:

1. Στοιχεία του κύριου του Φ/Β συστήματος.
2. Στοιχεία της εγκατάστασης.
3. Στοιχεία των Φ/Β πλαισίων και του αντιστροφέα.
4. Λοιπά τεχνικά στοιχεία για την εγκατάσταση και τη λειτουργία.
5. Υπεύθυνες δηλώσεις ότι πληρούνται οι προϋποθέσεις ένταξης στο πρόγραμμα:
 - Ότι καλύπτει μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό από (ΑΠΕ) ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, γεωθερμική αντλία θερμότητας) – εφόσον πρόκειται για κατοικία.
 - Ότι δεν έχει λάβει κάποια δημόσια ενίσχυση – επιδότηση για το φωτοβολταϊκό από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα.
6. Δήλωση σχετικά με τα στοιχεία που αποδεικνύουν την ιδιότητα Μ.Μ.Ε. (Μικρομεσαία επιχείρηση) μιας επιχείρησης, σύμφωνα με το έντυπο της αίτησης.

Μετά την υποβολή της αίτησης η Δ.Ε.Η. ως Διαχειριστής του Δικτύου, εξετάζει το αίτημα και εντός είκοσι (20) ημερών προβαίνει σε Διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης, η οποία ισχύει για τρεις (3) μήνες από την ημερομηνία έκδοσής της.

Η Διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης περιλαμβάνει την περιγραφή και δαπάνη των έργων σύνδεσης. Κατά τη διατύπωση των όρων σύνδεσης θα αναφέρεται το συνολικό προϋπολογιστικό κόστος.

Μετά την αποδοχή της Προσφοράς Σύνδεσης, υπογράφεται η Σύμβαση Σύνδεσης μεταξύ του κύριου του Φ/Β συστήματος και της Δ.Ε.Η. και καταβάλλεται η σχετική δαπάνη (κόστος έργων). Μαζί με τη Σύμβαση Σύνδεσης κατατίθεται υπεύθυνη δήλωση¹⁴ με την οποία γνωστοποιεί την έναρξη εργασιών στη Δ.Ε.Η καθώς και υπεύθυνη δήλωση ότι δεν απαιτείται γνωμοδότηση της Ε.Π.Α.Ε. Η κατασκευή των έργων σύνδεσης ολοκληρώνεται εντός είκοσι (20) ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης.

Το κόστος των έργων σύνδεσης ανέρχεται σε 800€ πλέον Φ.Π.Α., στις περιπτώσεις που η απόσταση του ακινήτου επί του οποίου τοποθετείται το Φ/Β σύστημα από

¹⁴ Άρθρο 8 Ν. 1599/1986

την έδρα της μονάδας της Δ.Ε.Η. είναι σχετικά μικρή (εκτιμώμενος χρόνος μετάβασης επιστροφής μικρότερος 2 ωρών) και δεν απαιτείται η αντικατάσταση του καλωδίου παροχής, και σε 1000€ πλέον Φ.Π.Α. στις περιπτώσεις που είτε η πιο πάνω απόσταση είναι μεγαλύτερη είτε απαιτείται αντικατάσταση του καλωδίου παροχής. Λαμβάνουμε σαν δεδομένο ότι εφόσον το κτίσμα έχει ήδη ρεύμα άλλα έργα δεν απαιτούνται. (Τα χρήματα καταβάλλονται για κουτί, μετρητή και πιθανόν μπαροκιβώτιο.)

Ακολουθεί η αίτηση για τη σύναψη Σύμβασης Συμψηφισμού προς τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. Συνάπτεται μεταξύ του κυρίου του Φ/Β και της Δ.Ε.Η. Α.Ε. ή άλλου προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί το Φ/Β σύστημα. Η διαδικασία ολοκληρώνεται εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την παραλαβή του αιτήματος. Η διάρκεια για την οποία ισχύει είναι είκοσι πέντε (25) έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του ΦΒ συστήματος.

Η εταιρεία Φ/Β εγκαθιστά το σύστημα. Στη συνέχεια, για την ενεργοποίηση της σύνδεσης, υποβάλλεται αίτημα προς τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. , στο οποίο επισυνάπτονται τα ακόλουθα:

- Αντίγραφο της Σύμβασης Συμψηφισμού.
- Υπεύθυνη Δήλωση του κυρίου του Φ/Β συστήματος όπου θα αναφέρεται ότι καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του Φ/Β δεν θα τροποποιηθούν οι ρυθμίσεις που δηλώθηκαν.
- Υπεύθυνη Δήλωση Μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας για τη συνολική εγκατάσταση με συνημμένα τα εξής:
 - Τεχνική περιγραφή του τρόπου αποφυγής του φαινομένου της νησιδοποίησης.
 - Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης.

Κατόπιν, γίνεται έλεγχος της εγκατάστασης και ακολουθεί ενεργοποίηση της σύνδεσης με το δίκτυο από τον διαχειριστή (Δ.Ε.Η.).¹⁵

4.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές & Εμπορικές Στέγες (>10kWp)

Οι βιομηχανικές και εμπορικές στέγες αποτελούν έναν ιδανικό χώρο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς δίνεται η δυνατότητα

¹⁵ ΚΥΑ 12323 αρθ. 4 §1-6

εκμετάλλευσής τους προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πολύ απλές διαδικασίες και ευνοϊκούς όρους.

Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/25-8-2010 επιτρέπουν την εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων κάθε ισχύος στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφιστάμενου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων, βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης.

Ανάλογα με την ισχύ του Φ/Β Συστήματος που επιθυμούμε να εγκαταστήσουμε διακρίνονται τρεις (3) κατηγορίες:

1. Από 10 kWp έως 100 kWp.
2. Από 100 kWp έως 1000 kWp.
3. Μεγαλύτερη των 1000 kWp (1MWp).

4.2.1. Μονάδες Δυναμικότητας από 10 kWp έως 100 kWp

✚ Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Αίτηση σύνδεσης στη τοπική ΔΕΗ η οποία θα διατυπώσει προσφορά και όρους σύνδεσης με το Δίκτυο της. Η συγκεκριμένη αίτηση περιλαμβάνει:
 - Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας.
 - Τεχνικά στοιχεία και πιστοποιήσεις Φ/Β πλαισίων & αντιστροφών συνοδευόμενα από τεχνικά φυλλάδια.
 - Υπεύθυνες δηλώσεις παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας & εγκαταστάτη.
 - Υπεύθυνη δήλωση ότι δεν απαιτείται γνωμοδότηση της Ε.Π.Α.Ε. (στις περιπτώσεις που απαιτείται, αυτή κατατίθεται μαζί με το έγγραφο γνωστοποίησης εργασιών).¹⁶
2. Υπογραφή σύνδεσης αγοροπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ.

Δεν απαιτείται πλέον έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας αλλά αρκεί μια απλή γνωστοποίηση προς τη Δ.Ε.Η. (διαχειριστής δικτύου) ότι ξεκινά η

¹⁶ Υ.Α. 16-2-2011, άρθρ.6 §4

εγκατάσταση.¹⁷ Ο αρμόδιος διαχειριστής οφείλει να κοινοποιεί τη σύμβαση σύνδεσης στην αρμόδια διεύθυνση πολεοδομίας πέραν των λοιπών αποδεκτών.¹³

→εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.

4.2.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 100 kWp έως 1000 kWp

✚ Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Συνυποβολή έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία και δήλωσης πολιτικού μηχανικού για τη στατική επάρκεια του κτιρίου. Για τη λήψη της έγκρισης από την Πολεοδομία, απαιτούνται σχέδιο κάτοψης με αποτυπωμένα τα φωτοβολταϊκά πάνελ και πλάγια όψη των πάνελ, καθώς και τεχνική περιγραφή του έργου.
2. Αίτηση στο περιφερειακό γραφείο της Δ.Ε.Η. για προσφορά όρων σύνδεσης.
3. Η υπογραφή της σύμβασης αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

→εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.

Για τα συστήματα αυτά δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση, ενώ για συστήματα ισχύος 1MWp δεν απαιτείται και άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση.

4.2.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp

✚ Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Αίτηση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για έκδοση Άδειας Παραγωγής.
2. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Εγκατάστασης.
3. Συνυποβολή έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία και δήλωσης πολιτικού μηχανικού για τη στατική επάρκεια του κτιρίου.
4. Αίτηση στον ΔΕΣΜΗΕ για προσφορά όρων σύνδεσης.
5. Υπογραφή της σύμβασης αγοραπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ
→εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.
6. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Λειτουργίας.

¹⁷ Υ.Α. 36720/2010, άρθρ. §6

Σε κτίρια τα οποία βρίσκονται σε περιοχές εκτός σχεδίου επιτρέπεται η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων υπό τους ίδιους όρους όπως παραπάνω. Για την εγκατάσταση όμως Φ/Β ισχύος μεγαλύτερης των 10 kWp όμως, απαιτείται επιπλέον η συνυποβολή τοπογραφικού διαγράμματος και αντιγράφου της οικοδομικής άδειας.¹⁸

4.3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί Εδάφους

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις επί εδάφους είναι μια σχετικά καινούργια μορφή επένδυσης για τη χώρα μας. Μετά την υπογραφή του πρόσφατου νόμου (Ν.3851/2010) για παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), η επένδυση αυτή προσελκύει όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Απαραίτητη προϋπόθεση, για την εγκατάσταση των Φ/Β συστημάτων, είναι η απόδειξη της κυριότητας ή της νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης, καθώς και της συμφωνίας του συνόλου τυχόν συνιδιοκτητών.¹⁹

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου επιτρέπεται στους ακάλυπτους χώρους των οικοπέδων που βρίσκονται σε περιοχές εντός σχεδίου και εντός οικισμών, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου για τις Α.Π.Ε.²⁰

Ανάλογα την κάλυψη από την κατοικία, υπάρχει σίγουρα κάποιος περιορισμός στο εμβαδόν που μπορεί να καταλάβει ο Φ/Β στάθμος. Είναι αυτονόητο πως παρόλο που υπάρχει κατοικία στο ίδιο οικόπεδο, η ενέργεια που παράγει ο Φ/Β σταθμός τιμολογείται από τον Διαχειριστή (Δ.Ε.Η.) σαν ενέργεια από Φ/Β σταθμό επί γηπέδου και όχι σαν ενέργεια που προέρχεται από Φ/Β σταθμό σε στέγη κτιρίου.

Όσον αφορά στις περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, εφόσον δεν απαγορεύεται η εγκατάστασή τους από τη σχετική νομοθεσία προστασίας και εφόσον αυτές εναρμονίζονται κατά το δυνατόν με τον περιβάλλοντα χώρο, επιτρέπεται η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων. Η διαδικασία έγκρισης είναι ίδια με αυτή των διατηρητέων κτιρίων στην κατηγορία των οικιακών παραγωγών.⁷

Δεν δικαιολογείται η τοποθέτηση εγκαταστάσεων σε αδόμητα οικόπεδα εντός σχεδίου, καθώς αυτές αποτελούν κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την άμεση ή έμμεση εξυπηρέτηση κτιρίων ή της λειτουργικότητάς τους και επιπλέον

¹⁸ ΥΑ 40158/2010 αρθ. 2, §3

¹⁹ ΥΑ 40158/2010 αρθ.1 §5

²⁰ Υ.Α. 16-2-2011. Άρθ.4 §1

εντάσσονται στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής ως ενεργητικά συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας.²¹ Δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός στα εκτός σχεδίου.

Τα Συστήματα αυτά διακρίνονται ανάλογα με την ισχύ τους στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Φ/Β συστήματα με ισχύ έως 500 kWp.
2. Φ/Β συστήματα με ισχύ από 500 kWp έως 1000 kWp.
3. Φ/Β συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1000 kWp.

4.3.1. Μονάδες Δυναμικότητας

4.3.1.1. Μονάδες Δυναμικότητας έως 500 kWp

✚ Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Αίτηση στην Περιφέρεια για βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων ΕΠΟ.
2. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Πολεοδομία, για τη λήψη της οποίας απαιτείται τοπογραφικό, σχέδιο κάτοψης με αποτυπωμένα τα φωτοβολταϊκά πάνελ και πλάγια όψη των πάνελ, καθώς και τεχνική περιγραφή του έργου. Για τη λήψη της έγκρισης από την Πολεοδομία, απαιτούνται βεβαίωση από Δασαρχείο ότι το γήπεδο δεν είναι σε δασική έκταση, βεβαίωση από τη Δ/νση Γεωργίας της αρμόδιας Νομαρχίας αναφορικά με την αγροτική παραγωγικότητα του γηπέδου (χαμηλή, μέση ή υψηλή), βεβαίωση από την αρχαιολογία καθώς και αποδεικτικό κοινοποίησης στο ΥΠΕΚΑ.²²
3. Αίτηση στο τοπικό (<100 kWp) ή περιφερειακό (>100kWp) γραφείο της ΔΕΗ που θα διατυπώσει προσφορά και όρους σύνδεσης με το Δίκτυο της.

Η συγκεκριμένη αίτηση περιλαμβάνει:

- Τοπογραφικό.
- Τίτλος κυριότητας οικοπέδων (συμβολαιογραφική πράξη και πιστοποιητικό μεταγραφής στο υποθηκοφυλακείο) ή κατοχής του οικοπέδου (σε περίπτωση μίσθωσης, απαιτείται μισθωτήριο θεωρημένο από τη ΔΟΥ και αντίγραφο του τίτλου κυριότητας του ιδιοκτήτη).

²¹ Ν. 1577/1985, «Περί Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού» άρθ.2 §19,44

²² Υ.Α. 16-02-11

- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας.
- Τεχνικά στοιχεία και πιστοποιήσεις Φ/Β πλαισίων & αντιστροφών συνοδευόμενα από τεχνικά φυλλάδια.
- Υπεύθυνες δηλώσεις παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας & εγκαταστάτη.

4. Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ.

→ εγκατάσταση φωτοβολταϊκού

Η βεβαίωση απαλλαγής από την ΕΠΟ εκδίδεται από τη ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. της οικείας περιφέρειας εντός αποκλειστικής προσθεσμίας είκοσι (20) ημερών, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα.²³ Για την απόδειξη της άπρακτης παρέλευσης, ο ενδιαφερόμενος πρέπει στα επόμενα στάδια να προσκομίζει σχετική βεβαίωση της περιφέρειας ή εναλλακτικά, αντίγραφο του αιτήματος του με τον αριθμό πρωτοκόλλου και την ημερομηνία κατάθεσης του, μαζί με υπεύθυνη δήλωση²⁴ για τη παρέλευση του εικοσαημέρου (20) χωρίς έκδοση ούτε απαλλαγής, ούτε αρνητικής απόφασης. Κατ' εξαίρεση απαιτείται ΕΠΟ εάν:

- Το έργο εγκαθίσταται εντός περιοχής Natura 2000 ή σε απόσταση μικρότερη από εκατό μέτρα (100μ.) από αιγιαλό.
- Γειτνιάζει σε απόσταση μικρότερη από εκατόν πενήντα μέτρα (150μ.) με άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας, η δε αθροιστική ισχύς υπερβαίνει το όριο των 500 kWp.

4.3.1.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 500 kWp έως 1000 kWp

✚ Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Αίτηση στην Περιφέρεια για Έγκριση Περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ).
2. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία.
3. Αίτηση στο περιφερειακό γραφείο της ΔΕΗ για προσφορά όρων σύνδεσης.
4. Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ.

→ εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.

²³ Ν. 3851/2010 αρθ. 3

²⁴ Άρθρο 8 του Νόμου 1559/1986

4.3.1.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp

✚ Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι :

1. Αίτηση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) για έκδοση Άδειας Παραγωγής.
2. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Εγκατάστασης (περιλαμβάνει και έκδοση ΕΠΟ).
3. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία.
4. Αίτηση στον ΔΕΣΜΗΕ για προσφορά όρων σύνδεσης.
5. Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ →εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.
6. Αίτηση στην Περιφέρεια για έκδοση Άδειας Λειτουργίας.

Απαιτείται Προσωρινή Σύνδεση για Δοκιμαστική Λειτουργία που γίνεται κατόπιν αιτήσεως προς τον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία δεκαπέντε (15) ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών.²⁵

Στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις μαζί με την αίτηση στη Δ.Ε.Η. απαιτούνται 500€ πλέον Φ.Π.Α. εάν η ισχύς του Φ/Β σταθμού που πρόκειται να εγκατασταθεί είναι μικρότερη των 100 kWp και 1000€ πλέον Φ.Π.Α. εάν είναι μεγαλύτερη.

Δεν απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) αλλά ούτε και απαλλαγή για τα Φ/Β που εγκαθίστανται εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (ΒΙ.ΠΕ. , ΒΙ.ΠΑ. κτλ) πάνω σε κτίρια, ή άλλες δομικές κατασκευές.²⁶ Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να προσκομίζεται τοπογραφικό διάγραμμα ή έγγραφο προσφοράς σύνδεσης από τα οποία να προκύπτει με σαφήνεια η εγκατάσταση σε υποδοχέα ή πάνω σε κτίριο αντίστοιχα.

Ειδικότερα, σε γήπεδα μη άρτια και οικοδομήσιμα (εκτός σχεδίου), οι δομικές κατασκευές για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων δεν μπορεί να υπερβαίνουν τις απολύτως αναγκαίες. Αυτές είναι:

- Στυλίσκος μετρητής της Δ.Ε.Η.
- Οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ανά 500 kWp) των Φ/Β Συστημάτων εμβαδού μέχρι δεκαπέντε τετραγωνικά μέτρα (15 τ.μ.) και συνολικού ύψους μέχρι και δυόμιση μέτρα (2,5μ.). (Υπάρχει δυνατότητα

²⁵ Υ.Α. 13310/2007

²⁶ Ν.3468/2006, αρθ. 8, όπως αντικαταστάθηκε με τον Ν. 3851/2010, αρθ.3 § 2

προσαύξησης του ύψους αυτού (2,5 μέτρα) μέχρι 20% στην περίπτωση εγκατάστασης εργοστασιακών πεδίων διανομής των αντιστροφών μετασχηματιστών).

- Περίφραξη για την προστασία της εγκατάστασης με συρματοπλεγμά μέχρι ύψους δύομιση μέτρα (2,5μ.) με συμπαγές τοιχίο μέχρι τριάντα εκατοστά (30εκ.).
- Εγκατεστημένος εξοπλισμός Φ/Β συστημάτων των οποίων κανένα στοιχείο δεν υπερβαίνει τα δύομιση μέτρα (2,5μ.) από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων.

Για εργασίες από σκυρόδεμα που συνοδεύουν τις παραπάνω κατασκευές, όπως θεμελιώσεις των βάσεων στήριξης των φωτοβολταϊκών στοιχείων, είναι υποχρεωτική η έκδοση οικοδομικής άδειας. Εξαιρέση αποτελούν οι περιπτώσεις κατά τις οποίες η θεμελίωση πραγματοποιείται με πασαλόμπηξη, με γεωβίδες, με χρήση βαρυτικών βάσεων, ακόμα και όταν μέρος τους (μέχρι 50%) τοποθετείται κάτω από τη φυσική στάθμη του εδάφους, καθώς και πάσης φύσεως οικίσκο που εδράζονται βαρυτικά στο έδαφος και που ως αποκλειστικό σκοπό έχουν την προφύλαξη του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του σταθμού.²⁷

Οι συνολικές εγκαταστάσεις (Φ/Β συστήματα, τυχόν οικίσκος) πρέπει να απέχουν από τα όρια των γηπέδων:

- Απόσταση ίση με δύομιση μέτρα (2,5μ.) όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων είναι δύομιση μέτρα (2,5μ.).
- Απόσταση ίση με πέντε μέτρα, όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα δύομιση μέτρα (2,5μ.).²⁸

Στην περίπτωση που οι εγκαταστάσεις του Φ/Β εξοπλισμού υπερβαίνουν τα δύομιση μέτρα (2,5μ.) (από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων), οι βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων πρέπει να είναι πιστοποιημένες ως προς την αντοχή τους σε ακραίες ανεμοπιέσεις από ανεξάρτητο διαπιστευτικό φορέα, σύμφωνα με κάποιο ευρωκώδικα ή το πρότυπο DIN ή άλλο αντίστοιχο εθνικό πρότυπο. Υπάρχει βέβαια περίπτωση να υπάρχει για αυτές τις εγκαταστάσεις δήλωση στατικής επάρκειας από διπλωματούχο μηχανικό και τα στοιχεία συνυποβάλλονται με τα δικαιολογητικά για την έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας.²⁵

²⁷ ΥΑ 16-2-2011, άρθ.2, ΥΑ 40158/2010 αρθ. 1 § 1

²⁸ ΥΑ 16-02-11 αρθ 1 § 2

Τα Φ/Β συστήματα δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν σε κάλυψη το εξήντα τοις εκατό (60%) της επιφάνειας του γηπέδου. Σε περίπτωση ανέγερσης και άλλων χρήσεων δομικών κατασκευών εντός του γηπέδου (όπως κατοικία) αυτές συνυπολογίζονται στο παραπάνω καθοριζόμενο ποσοστό κάλυψης.²⁹

Τέλος ο κάτοχος άδειας παραγωγής μπορεί, μετά από σχετική απόφαση της ΡΑΕ, να μεταβιβάζει την άδειά του σε άλλα φυσικά ή νομικά πρόσωπα. Αντίθετα, οι Φ/Β σταθμοί που απαλλάσσονται από άδεια παραγωγής δεν επιτρέπεται να μεταβιβάζονται πριν από την έναρξη λειτουργίας τους. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η μεταβίβασή τους σε νομικά πρόσωπα, εφόσον το εταιρικό κεφάλαιο της εταιρείας προς την οποία γίνεται η μεταβίβαση κατέχεται εξ ολοκλήρου από το μεταβιβάζον φυσικό ή νομικό πρόσωπο.

4.3.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα για Αγρότες

Όσον αφορά στους επαγγελματίες αγρότες³⁰, δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β σταθμού έως 100 kWp. Δεν επιτρέπεται η μεταβίβαση των σταθμών αυτών πριν από την πάροδο πενταετίας από την έναρξη λειτουργίας τους, εκτός αν πρόκειται για μεταβίβαση λόγω κληρονομικής διαδοχής.²⁸ Για την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν αυτοί οι σταθμοί ισχύει ότι και για τα υπόλοιπα Φ/Β της ίδιας ισχύος. Παράλληλα, οι αιτήσεις από επαγγελματίες αγρότες εξετάζονται κατά προτεραιότητα³¹ (στην οποία περίπτωση η συμφωνία τιμής επιτυγχάνεται πιο γρήγορα) και επίσης το ποσό που απαιτείται για το όλο εγχείρημα χρηματοδοτείται ολόκληρο από κάποιες τράπεζες, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει στις παραπάνω περιπτώσεις. Επιπρόσθετα, τα έσοδα από την εγκατάσταση Φ/Β από επαγγελματίες αγρότες επιβαρύνονται φορολογικά όμοια με τις εταιρείες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας (Γ.Γ.Υ.Π.) απαγορεύεται η άσκηση οποιασδήποτε άλλης δραστηριότητας εκτός από την γεωργική εκμετάλλευση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Η μόνη περίπτωση στην οποία επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β σταθμούς σε αγροτική γη (Γ.Γ.Υ.Π)³², είναι όταν ο Φ/Β σταθμός καλύπτει εδαφική έκταση που δεν ξεπερνά το ένα τοις εκατό (1%).³³

²⁹ ΥΑ 40158 αρθ.1 §1, ΥΑ 16-02-11 αρθ. 1 § 1

³⁰ Στο ΦΕΚ 1049 Β 12.07.2010 (σελ. 2 αρθ. 1-3) ορίζεται ποιιο θεωρούνται κατ' επάγγελμα αγρότες και πως οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να γίνουν. (<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=X%2bXr2JqTCJg%3d&tabid=555>)

³¹ Ν. 3851/2010 αρθ.15 §6 β' και Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.28135

³² Γ.Γ.Υ.Π. Χαρακτηρίζονται αγροτεμάχια σε περιοχές της επικράτειας από εγκεκριμένα Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια (Γ.Π.Σ.) ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης (Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π.) καθώς και από Ζώνες Οικιστικού ελέγχου (Ζ.Ο.Ε.).

³³ Ν. 3851/2010 αρθ. 9 § 7

4.4. Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

Τα παραπάνω ισχύουν μόνο για το ηπειρωτικό δίκτυο, αφού στα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα είτε πρόκειται για εγκατάσταση φ/β σε βιομηχανικές στέγες, είτε σε γήπεδα, αυτά δεν μπορούν να ξεπερνούν σε ισχύ τα 150 kWp.³⁴ Πάντως τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα θεωρούνται κορεσμένα και αδειοδοτούνται στην πράξη μόνο οικιακά Φ/Β.

Παρακάτω επισυνάπτεται ο πίνακας που εκδόθηκε από τη Ρ.Α.Ε.³⁵

Συστήματα Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών		Περιθώριο ΦΒ (Απόφαση ΡΑΕ 703/2008) (kWp)	Συνολική αδειοδοτημένη ΦΒ ισχύς – Ιούλιος 2010 (kWp)
	Αγαθονήσι	26	4,00
	Αγ.Ευστράτιος	54	18,00
	Αμοργός	333	371,06
	Ανάφη	56	10,00
	Αντικύθηρα	12	25,00
	Άρκοι		40,00
	Αστυπάλαια	356	424,00
	Γαύδος		24,00
	Δονούσα	29	25,80
	Ερεϊκούσα	34	0,00
Σύμπλεγμα	Θήρα	3937	945,91
	Θηράσια	28	18,00
	Ικαρία	1040	737,55
Σύμπλεγμα	Κάρπαθος	1150	1470,00
	Κάσος	122	143,14
	Κύθνος	297	384,30
Σύμπλεγμα	Κως	8441	7886,24
	Κάλυμνος	2165	2378,78
	Λέρος	1155	1199,56
	Τέλενδος	12	0,00
	Ψέριμος	12	12,00
	Γυαλί	12	6,00
	Νίσυρος	158	12,00
	Τήλος	109	6,00
	Λειψοί	97	12,00
	Λέσβος	10482	15808,01

³⁴ Ρ.Α.Ε. 1252/2010

³⁵ Αποφ. 703/08, απόφ. 1252/10

	Λήμνος	2256	3900,00
	Μαράθι		0,00
	Μεγίστη	135	6,00
Σύμπλεγμα	Μήλος	1294	1395,00
	Κίμωλος	91	47,06
Σύμπλεγμα	Μύκονος	4132	2865,64
	Δήλος		0,00
	Σύρος	3684	1241,63
	Όθωνοι	40	0,00
Σύμπλεγμα	Πάρος	3042	3142,78
	Νάξος	3006	2758,92
	Αντίπαρος	242	123,75
	Κουφονήσι	78	6,00
	Σχοινούσα	50	25,80
	Ηράκλεια	21	6,00
	Σίκινος	43	0,00
	Ίος	505	298,40
	Φολέγανδρος	121	12,00
Σύμπλεγμα	Σάμος	5201	7578,04
	Φούρνοι	112	0,00
	Θύμαινα	11	0,00
	Πάτμος	547	448,72
	Σέριφος	442	299,60
	Σίφνος	582	202,56
	Σκύρος	524	566,00
	Σύμη	730	299,66
Σύμπλεγμα	Χίος	7299	6265,83
	Οινούσες	104	29,97
	Ψαρά	60	4,00
Σύμπλεγμα	Ρόδος	24337	23083,05
	Χάλκη	49	6,00
	Κρήτη	102042	92952,79
	Σύνολο	190898	179521
	Λοιπά ΜΔΝ(ΠΛΗΝ ΚΡΗΤΗΣ)	88856	86568

Πίνακας 4.1. Πίνακας Περιθωρίου Ισχύος
Για Κάθε Νησί Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(Πηγή: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Απ. 703/2008,1252/2010)

Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε κάποια νησιά, όπως για παράδειγμα η Αστυπάλεια, όπου η αδειοδοτημένη ισχύς είναι μεγαλύτερη από το περιθώριο ισχύος για ανάπτυξη Φ/Β σταθμών. Αυτό γίνεται διότι κάποιοι αδειοδοτημένοι σταθμοί είναι πολύ πιθανόν να μην γίνουν. Είτε μπορεί να προκύψει κάποιο πρόβλημα με υπαιτιότητα του ιδιοκτήτη, είτε να μη μπορεί ο ίδιος να εξασφαλίσει τα απαιτούμενα πιστοποιητικά.



Εικόνα 4.1. Φωτοβολταϊκό πάρκο
(Πηγή: www.google.gr)

4.5. Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς γίνεται με βάση τα στοιχεία του πίνακα που ακολουθεί.

Έτος	Συστήματα σε οικιακές & εμπορικές στέγες ≤ 10 kWp (€/MWh)	Μήνας	Ηπειρωτικό δίκτυο (€/MWh)		Μη διασυνδεδεμένα νησιά (€/MWh)
			>100kWp	≤100kWp	
					Ανεξαρτήτως ισχύος(με εξαίρεση τα μικρά συστήματα έως 10 kWp σε κτίρια όπου ισχύουν ενιαίες τιμές για όλη τη χώρα)
2009	550	Φεβρουάριος	400	450	450
		Αύγουστος			
2010		Φεβρουάριος	392,04	441,05	441,05
		Αύγουστος			
2011		Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
		Αύγουστος			
2012	495	Φεβρουάριος	292,08	328,60	328,60
	470,25	Αύγουστος	271,64	305,60	305,60
2013	446,73	Φεβρουάριος	252,62	284,20	284,20
	424,40	Αύγουστος	234,94	264,31	264,31
2014	403,18	Φεβρουάριος	218,49	245,81	245,81
	383,02	Αύγουστος	203,20	228,60	228,60
Για κάθε έτος ω από το 2015 και μετά $\mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$ = Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος v-1	-5% το εξάμηνο		$1,3^* \mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$	$1,4^* \mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$	$1,4^* \mu\text{OT}\Sigma_{v-1}$
Διάρκεια Σύμβασης	25 έτη		20 έτη		
Οι τιμές που καθορίζονται στον ανώτερω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους.					

Πίνακας 4.2. Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας.³⁶

³⁶ΥΑΠΕ/Φ1/οικ2262&2266/2012 [http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=362&sni\[524\]=1535&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=362&sni[524]=1535&language=el-GR)

Βιβλιογραφία 4^{ου} Κεφαλαίου

- [1] Δικτυακός τόπος του Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών www.helapco.gr
- [2] Δικτυακός τόπος του ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) www.desmie.gr
- [3] Δικτυακός τόπος της ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) www.rae.gr
- [4] Δικτυακός τόπος www.dei.gr
- [5] Νάκου Ε., «Χωροθέτηση αιολικού πάρκου στο Νομό Φωκίδας με λογική της ασάφειας και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών», 2007
- [6] Δικτυακός τόπος του ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) www.ypeka.gr

Κεφάλαιο 5^ο

**Οικονομοτεχνική Μελέτη Φωτοβολταϊκού Πάρκου
Ισχύος 100kWp**

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται δίχως τροποποιήσεις μια Οικονομοτεχνική Μελέτη Φωτοβολταϊκού Πάρκου Ισχύος 99,36kWp, στη θέση «Τσουκαλάκια» του Δήμου Δελφών Νομού Φωκίδας. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου 2011, στην Ιτέα Φωκίδος. Χορηγείται από την εγκαταστάτρια εταιρεία στον ιδιώτη προκειμένου να κατατεθεί μαζί με τα υπόλοιπα δικαιολογητικά στην τράπεζα για την χορήγηση του δανείου.

**ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 99,36 kWp
ΣΤΗ ΘΕΣΗ «ΤΣΟΥΚΑΛΑΚΙΑ» ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΔΕΛΦΩΝ ΝΟΜΟΥ ΦΩΚΙΔΑΣ**

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΕΠΕΝΔΥΤΗ	
Όνοματεπώνυμο:	
Περιοχή Εγκατάστασης:	Τσουκαλάκια Δεσφίνας (Δήμος Δελφών)
Διεύθυνση Κατοικίας:	Δεσφίνα – Δήμος Δελφών
Ισχύς Φ/Β Συστήματος:	99.36 kw
ΑΦΜ:	XXXXXXXXXX ΔΟΥ Άμφισσας
Ιδιότητα Παραγωγού:	Επαγγελματίας Αγρότης

Μέχρι σήμερα ο ενδιαφερόμενος παραγωγός δεν έχει υλοποιήσει άλλο έργο στο πλαίσιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.

A. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

A.1 Περιγραφή

Το έργο αφορά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, που πρόκειται να κατασκευαστεί από την εταιρία _____ για λογαριασμό του _____ σε έκταση εμβαδού 2954,18 m², συνολικής ισχύος 99,36 kWp στη θέση «Τσουκαλάκια» της Δ.Ε. Δεσφίνας του Δήμου Δελφών Νομού Φωκίδας.

Το έργο περιλαμβάνει τον παρακάτω εξοπλισμό, κατασκευαστικές εργασίες και υπηρεσίες:

Προμήθεια εξοπλισμού

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου SM LX-230P/156-60L+ (Poly) της εταιρείας LUXOR (ισχύος 230 Wp έκαστο)
Ποσότητα: 432 τεμάχια
Συνολική ισχύς: 99,36 KWp
- Αντιστροφείς (Inverters) – SMA SMC11000TL
Ποσότητα: 9 τεμάχια

- Βάσεις στήριξης από εν θερμώ γαλβανισμένο χάλυβα
- Όλο το απαραίτητο ηλεκτρολογικό υλικό για:
Δίκτυο μέσης τάσης εντός σταθμού
DC και AC συνδέσεις και πίνακες χαμηλής τάσης
Εγκατάσταση Γειώσεων
- Σύστημα επικοινωνίας
- Σύστημα ασφαλείας και παρακολούθησης
- Προκατασκευασμένο οικίσκο ελέγχου 6,25 τ.μ.

Κατασκευαστικές Εργασίες & Υπηρεσίες

- Διαμόρφωση Χώρου
- Περιμετρική περίφραξη, η οποία θα γίνει με γαλβανισμένους πασσάλους ύψους 2,00m (πάνω από το έδαφος) και οι οποίοι θα πακτώνονται σε περιμετρικό σενάζ διαστάσεων 0.15m και πλάτος 0,20m ύψος
- Εγκατάσταση Εξοπλισμού
- Ενεργοποίηση του συστήματος
- Δοκιμαστική Λειτουργία του συστήματος
- Μελέτες εφαρμογής

A.1.1. Σκοπιμότητα της Επένδυσης

Σκοπός του εν λόγω επενδυτικού σχεδίου είναι η αξιοποίηση της υφιστάμενης νομοθεσίας που προσφέρει τη δυνατότητα βιώσιμης επενδυτικής δραστηριότητας στον τομέα των Φ/Β συστημάτων.

Το έργο θα συμβάλλει στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας με τρόπο τεχνικοοικονομικά συμφέροντα, δίνοντας παράλληλα σημαντική βαρύτητα στην προστασία του περιβάλλοντος. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με περίπου ένα 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 τη μόνη 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, κ.λπ). Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον. Η «πρώτη ύλη» παραγωγής ενέργειας για το συγκεκριμένο έργο είναι ο ήλιος και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού πάρκου δεν προκαλεί κανενός είδους στερεά, υγρά ή αέρια απόβλητα ή άλλου είδους ρύπους ή απόβλητα.

A.1.2. Περιγραφή κλάδου δραστηριότητας

Ο κλάδος σχετίζεται με τον Κωδικό 401.1, ο οποίος αφορά στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το αιολικό δυναμικό, το ηλιακό δυναμικό και το υδάτινο δυναμικό κατά κυρίαρχο λόγο και δευτερευόντως από γεωθερμία και άλλες πηγές ηλεκτρικές ενέργειας.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έξαρση στον τομέα δραστηριοποίησης στον κλάδο των συστημάτων Α.Π.Ε., οι οποίες αναμένεται να έχουν πολλαπλές θετικές παρεμβάσεις. Η συσσωρευμένη εμπειρία της τελευταίας 15ετίας, τόσο σε διεθνές επίπεδο (μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση λειτουργούν ήδη πάνω από 45.000 MW σταθμών ΑΠΕ), όσο και στην Ελλάδα, όπου λειτουργούν ήδη περίπου 600 MW ανανεώσιμων, κυρίως αιολικά πάρκα, δείχνει καθαρά, και πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι η ίδρυση και λειτουργία έργων ΑΠΕ εμπορικής κλίμακας δημιουργεί ισχυρούς πόλους τοπικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής αναβάθμισης και προσπορίζει πολλαπλά, μετρήσιμα και ουσιαστικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες, στις περιοχές των οποίων εγκαθίστανται τα έργα αυτά. Αντίστοιχη εξέλιξη αναμένεται πλέον και για τα Φ/Β συστήματα στην Ελλάδα, μετά τις νέες νομοθετικές παρεμβάσεις και τη σταδιακή αλλά ελαφρά μείωση της τιμής που παραμένει σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα συγκριτικά με τα αιολικά (εξαπλάσια τιμή).

Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα συμπεραίνεται ότι:

Σε εμβρυακή κατάσταση παραμένει στην Ελλάδα η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, ανεξάντλητης πλουτοπαραγωγικής πηγής της χώρας. Η πιο ευνοημένη σε ηλιοφάνεια χώρα της Ευρώπης κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού, δηλαδή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η αξιοποίηση της υπ' αριθμόν ένα Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας της Ελλάδας μπορεί να καλύψει σχεδόν το 25% των ετήσιων αναγκών της σε ηλεκτρισμό, υποκαθιστώντας δαπανηρά εισαγόμενα καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, με προφανή οφέλη για την εθνική οικονομία της και ενισχύοντας το στρατηγικό στόχο της διασφάλισης ενεργειακής τροφοδοσίας. Παράλληλα, μια ισχυρή αγορά Φ/Β μπορεί να στηρίξει την ανάπτυξη της εγχώριας φωτοβολταϊκής βιομηχανίας, δημιουργώντας πολύτιμες θέσεις απασχόλησης, όπως άλλωστε διδάσκει η εμπειρία πολλών άλλων χωρών.

Έχοντας συνολική εγκατεστημένη ισχύ, από φωτοβολταϊκά, μόλις 2,37 MW το 2002, από τα οποία το 1 MW είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, η Ελλάδα υστερεί σημαντικά ακόμη και έναντι χωρών του ευρωπαϊκού Βορρά όπως η Γερμανία (278 MW), η Ολλανδία (28,31 MW), η Αυστρία (10,04 MW), η Σουηδία (3,28 MW) αλλά και του μεσογειακού Νότου όπως η Ιταλία (22,75 MW), η Ισπανία (19,3 MW) και η Γαλλία (16,66 MW).

Μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία, μεγάλη διάρκεια ζωής, ελάχιστη συντήρηση, αυτονομία - ανεξάρτηση από τροφοδοσία καυσίμων, εξασφάλιση ηλεκτρικού σε σημεία που δεν υπάρχει δίκτυο ΔΕΗ, είναι κάποια από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ειδικότερα στις ενεργειακές συνθήκες της Ελλάδας, κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά και όχι από συμβατικά, ρυπογόνα καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης στην ατμόσφαιρα περίπου 1 κιλού διοξειδίου του άνθρακα και λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων, όπως αιωρούμενα μικροσωματίδια, οξείδια του αζώτου, ενώσεις θείου κ.λπ.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά ήταν της τάξεως των 391,6 MW το 2002 (πηγή Eurobserv"ER). Οι προοπτικές ανάπτυξης της αγοράς εκτιμώνται σε ετήσιο ρυθμό 27%, με στόχο την εγκατάσταση 3.000 MW ως το 2010. Στην Ελλάδα των 2,37 MW ο στόχος που έχει θέσει το Εθνικό Πρόγραμμα για τις κλιματικές αλλαγές είναι 15 MW φωτοβολταϊκών το 2010.

Ο προβληματισμός για την επίτευξη αυτού του στόχου αφορά και τα κίνητρα που θα πρέπει να δοθούν, για να μην χάσει η Ελλάδα το τρένο του ηλιακού ηλεκτρισμού.

Η επιδότηση της αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών (και στον οικιακό τομέα) αλλά και η ενίσχυση της ηλιακής κιλοβατώρας είναι από τις βασικές μεθόδους που εφάρμοσαν οι χώρες εκείνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που σήμερα διαθέτουν αξιόλογη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού, καθώς και μια ανθούσα βιομηχανία φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, με ετήσιο κύκλο εργασιών άνω του 1 δισ. ευρώ, ενώ έχουν δημιουργηθεί περισσότερες από 15.000 νέες θέσεις εργασίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, οι προοπτικές του κλάδου εμφανίζονται ιδιαίτερα ικανοποιητικές, όχι απολογιστικά τα τελευταία έτη όσο και για την επόμενη δεκαετία. Στην περίπτωση κατά την οποία υλοποιηθούν όλες οι ανωτέρω επενδύσεις θα προσεγγισθεί ικανοποιητικά ο στόχος της Οδηγίας.

Αντίστοιχες θετικές εκτιμήσεις έχουν διατυπωθεί τόσο από τους Συνδέσμους των παραγωγών από Α.Π.Ε., όσο και από άλλους κοινωνικούς φορείς (ΣΕΒ, κ.λπ) αλλά και από τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, αλλά και από το Τ.Ε.Ε.

Εξάλλου, αυτό είναι απολύτως εμφανές όσον αφορά τις αιτήσεις για δημιουργία νέων φωτοβολταϊκών υποδομών μετά την υλοποίηση των διατάξεων του νέου θεσμικού πλαισίου που αφορά αδειοδοτήσεις και τιμή πώλησης, τόσο από υφιστάμενους όσο και από νέους φορείς, ανεξάρτητα των τεράστιων εμποδίων που δημιουργούνται κύρια στον τομέα των αδειοδοτήσεων.

A.1.3. Περιγραφή Προϊόντων που θα Παραχθούν

Ο επενδυτής/παραγωγός θα λειτουργεί υπό το καθεστώς του ανεξάρτητου παραγωγού ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως αυτό καθορίζεται από τους Νόμους Ν. 3468 (ΦΕΚ 129/27-06-2006), Ν. 3734 (ΦΕΚ 8/28-01-2009) και Ν. 3851 (ΦΕΚ 85/04-06-2010), και κατά συνέπεια το σύνολο της παραγωγής θα απορροφάται κατά προτεραιότητα και αποκλειστικά από το ηλεκτρικό σύστημα (ΔΕΣΜΗΕ) σύμφωνα με τους τεχνικούς περιορισμούς του Συστήματος.

Το καθεστώς αυτό, της κατά προτεραιότητας απορρόφησης της πράσινης ηλεκτρικής ενέργειας από το Σύστημα παραμένει σε ισχύ και μετά την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σύμφωνα με τις σχετικές κοινοτικές Οδηγίες.

Με βάση τα ανωτέρω, η διάθεση της παραγόμενης ενέργειας είναι εξασφαλισμένη για μια εικοσαετία. Όλα τα ανωτέρω έχουν ληφθεί υπόψη στην οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

Το μοναδικό προϊόν που θα παράγει το Φωτοβολταϊκό Πάρκο είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Το προϊόν αυτό θα διοχετεύεται απ' ευθείας στο Εθνικό Δίκτυο Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, μέσω του δικτύου διανομής Μέσης Τάσης 20kV, στα πλαίσια Συμβάσεως Αγοραπωλησίας εικοσαετούς διάρκειας που συνάπτεται μεταξύ του Φορέα και του Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) για τον σκοπό αυτό. Το σύνολο της παραγωγής θα απορροφηθεί από τον ΔΕΣΜΗΕ προς 0,419€/kWh.

Η συνολικά εκτιμώμενη παραγωγή σύμφωνα με την σχετική μελέτη του ηλιακού δυναμικού της περιοχής σε συνδυασμό με την δυναμικότητα της εγκατάστασης και λαμβάνοντας υπ' όψιν τις αναμενόμενες απώλειες (ηλεκτρικές απώλειες μεταφοράς, μετασχηματισμού κλπ) όπως αναλυτικά περιγράφονται στην σχετική μελέτη που πραγματοποιήθηκε και αναφέρεται αναλυτικότερα στην παράγραφο Α.2.9., αναμένεται να είναι 129.373,2 kWh ετησίως.

A.1.4. Πρώτες και Βοηθητικές Ύλες

Το σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελείται αμιγώς από συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων, συνεπώς η μοναδική πρωτογενής ενέργεια που χρησιμοποιεί είναι η ηλιακή. Δεν απαιτείται κανενός άλλου είδους ενέργεια για τροφοδοσία της εγκατάστασης. Επισημαίνεται, ότι η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν τα συστήματα tracking παρακολούθησης του ήλιου είναι ελάχιστη, και προέρχεται από την ίδια την παραγωγή του πάρκου.

Η παραγόμενη Συνεχής Τάση των συστοιχιών συνδέεται σε κατάλληλους Μετατροπείς Τάσεως (Inverter) που την μετασχηματίζουν σε Εναλλασσόμενη Τάση. Εν συνεχεία η έξοδος του Inverter με χρήση μετασχηματιστών 0,4/20 KV θα συνδεθεί στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

Στις Μονάδες Φωτοβολταϊκών Πάρκων ως “πρώτη ύλη” για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα βασικά και ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής είναι ότι:

Είναι εγχώρια και ανανεώσιμη και διατίθεται ελεύθερα προς εκμετάλλευση όπως και όλες οι μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας όπως η αιολική, οι υδατοπτώσεις, η γεωθερμία κλπ.

Το κλάσμα της ενέργειας που απομαστεύεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ως προς το περιεχόμενο της προσπίπτουσας ενέργειας του ήλιου είναι ιδιαίτερα χαμηλό και ως εκ τούτου δεν επιδρά καθόλου στις κλιματολογικές συνθήκες και γενικότερα στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Η εκτιμώμενη μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία είναι χαρακτηριστικό γενικά σταθερό κατά την διάρκεια ζωής του έργου (20 έτη) με μικρές διακυμάνσεις πάνω και κάτω και προσδιορίζει την διαθεσιμότητα της “πρώτης ύλης” που στην περίπτωση αυτή είναι η ενέργεια του ήλιου και είναι ελεύθερα διαθέσιμη. Την εκμετάλλευση και την λειτουργία της επένδυσης βαρύνουν μόνον τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης (επισκευές, αναλώσιμα, ασφάλιση).

A.1.5. Τόπος Εγκατάστασης Επένδυσης






Όπως έχει ήδη αναφερθεί, φωτοβολταϊκός σταθμός θα εγκατασταθεί στη θέση «Τσουκαλάκια» της Δ.Ε. Δεσφίνας του Δήμου Δελφών Νομού Φωκίδας.

Από το τοπογραφικό του έργου παρέχονται οι συντεταγμένες σε σύστημα ΕΓΣΑ87, φαίνεται ότι οι κατά προσέγγιση συντεταγμένες σε παγκόσμιο σύστημα φ, λ του χώρου εγκατάστασης είναι:

φ: 38° 25' 2"

λ: 22° 31' 46"

Για την επιλογή του τρόπου τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο διαθέσιμο γήπεδο ελήφθησαν υπ' όψη τα ακόλουθα:

-  Το μέγεθος του γηπέδου
-  Οι κλίσεις του εδάφους και η ελαχιστοποίηση των χωματουργικών έργων
-  Η μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στα φ/β πλαίσια
-  Η μείωση των απωλειών στις καλωδιώσεις
-  Η ευκολία στη συντήρηση του συστήματος

Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών των φ/β πλαισίων επιλέγονται με κριτήριο την αποφυγή σκιάσεων τις ώρες που η γωνία θέσης του ήλιου σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο είναι μικρή (συνήθως στις 21 Δεκεμβρίου κάθε έτους). Για την αποφυγή σκιάσεων μεταξύ των σειρών των πλαισίων λαμβάνεται υπόψη και η γωνία που σχηματίζουν με το οριζόντιο επίπεδο, η οποία για τη συγκεκριμένη θέση υπολογίζεται περίπου στις 30° (μοίρες).

A.2. Παραγωγική Διαδικασία

A.2.1. Ενεργειακή Ροή στην Παραγωγική Διαδικασία

Η ροή της παραγωγής και η ροή ενέργειας ταυτίζονται στην προτεινόμενη επένδυση αφού το παραγόμενο προϊόν είναι η ηλεκτρική ενέργεια.

Η ροή ενέργειας του φωτοβολταϊκού σταθμού έχει ως ακολούθως: Μέρος της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στις Φ/Β συστοιχίες μετατρέπεται σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (DC). Στη συνέχεια, το συνεχές ρεύμα οδηγείται μέσω καλωδιώσεων στους inverters όπου μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο (AC) και κατόπιν στους Μετασχηματιστές όπου η τάση ανυψώνεται στα 20 KV για να γίνει εφικτή η σύνδεση στη Μ.Τ. Οι ενεργειακές απώλειες περιορίζονται στις θερμικές απώλειες κατά την μεταφορά, τη μετατροπή σε AC και τον μετασχηματισμό όπως προαναφέρθηκε.

A.2.2. Συνοπτικά οφέλη

Η έννοια του ολικού ενεργειακού κόστους, το οποίο ορίζεται ως το άθροισμα του γνωστού συμβατικού κόστους παραγωγής και του περιβαλλοντικού και κοινωνικού κόστους προέκυψε από την ανάγκη αποτίμησης των πραγματικών επιπτώσεων από την παραγωγή ενέργειας στην οικονομία. Περιλαμβάνει τις διάφορες απ' ευθείας επιδοτήσεις από την πολιτεία προς τις εταιρείες παραγωγής, καθώς και τις έμμεσες, όπως φοροεκπτώσεις, απαλλαγές από ΦΠΑ, δυνατότητα χρήσης ορυκτών αποθεμάτων, ασφαλιστικές εξαιρέσεις, εξαγωγή και απώλεια συναλλάγματος, κλπ. Τα προαναφερόμενα κόστη και η περιβαλλοντική προστασία, αποτιμούν κυρίως τις επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών και την ποιότητα ζωής τους από την παραγωγή ενέργειας αν ληφθούν υπόψη το φαινόμενο της όξινης βροχής, το "νέφος" στις πόλεις, τα ραδιενεργά απόβλητα, η ρύπανση της θάλασσας από ατυχήματα κατά τη μεταφορά πετρελαίου καθώς και τα πυρηνικά ατυχήματα. Το μεγαλύτερο και ουσιαστικότερο κόστος είναι αυτό του "φαινομένου του θερμοκηπίου", το οποίο απειλεί να δημιουργήσει μη αναστρέψιμα φυσικά φαινόμενα στον πλανήτη και να καταστρέψει το οικοσύστημα. Από τα ανωτέρω τίθεται πλέον ανάγκη εκτίμησης του ολικού κόστους παραγωγής ενέργειας, ώστε κάθε κοινωνία να μπορεί να χαράξει την ενεργειακή της πολιτική βασισμένη σε αντικειμενικά κριτήρια.

Συνοπτικά τα οφέλη που θα προκύπτουν από τη λειτουργία της μονάδας μπορούν να χωριστούν στα παρακάτω:

Ενεργειακά

Τα ενεργειακά οφέλη που προκύπτουν από την εγκατάσταση του Φωτοβολταϊκού Πάρκου, είναι προφανή, καθώς η ηλιακή ενέργεια είναι μια φυσική πηγή ενέργειας, απαλλαγμένη πλήρως από ρυπογόνες εκπομπές αερίων (CO₂, NO_x, κλπ) ανεξάντλητη, και κυρίως εγχώρια. Υποκαθιστά δε ενέργεια παραγόμενη από εισαγόμενα ή εγχώρια ορυκτά καύσιμα, τα αποθέματα των οποίων είναι πεπερασμένα.

Η τεράστια ενεργειακή συνεισφορά που δύναται να έχει η ηλιακή ενέργεια στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Ευρώπης, είναι φανερό πως ισχύει και για την χώρα μας, ειδικότερα δε αν ληφθεί υπόψη το σχετικά υψηλό ηλιακό δυναμικό που διαθέτουν αρκετές περιοχές αυτής.

Εκτιμάται ότι η συνολικά παραγόμενη ενέργεια που θα απορροφάται ετησίως από το Ηλεκτρικό Σύστημα από το συγκεκριμένο έργο θα ανέρχεται περίπου στις 129.373,2 kWh ετησίως.

Οικονομικά

Το συνολικό κόστος της παρούσας επένδυσης ανέρχεται σε 267.940,21€ και η διάρκεια ζωής της είναι τουλάχιστον 20 έτη. Όσον αφορά τα γενικότερα οφέλη από την λειτουργία του φωτοβολταϊκού σταθμού για την εθνική οικονομία, σημειώνεται ότι παρόλο που η παραγωγή ηλεκτρισμού από Ηλιακή Ενέργεια δεν επιφέρει απαραίτητα αντίστοιχη μείωση των επενδυτικών αναγκών σε συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, συμβάλλει στην εξοικονόμηση ορυκτών καυσίμων, αναλωσίμων αλλά και ανταλλακτικών που θα έπρεπε να δαπανηθούν για την παραγωγή της υποκαθιστάμενης ενέργειας.

Περιβαλλοντικά

Η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας στην προστασία του περιβάλλοντος είναι αναμφισβήτητη, ιδιαίτερα σήμερα που οι δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση άλλων πηγών ενέργειας γίνονται όλο και περισσότερο αισθητές. Η αποφυγή αερίων ρύπων λόγω λειτουργίας του Α/Π είναι σημαντική και παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα:

Ρύποι που αποφεύγονται	Εκπομπές (g/kWh)	Μείωση Ρύπων (κιλά ανα έτος)
<u>CO2</u>	<u>850</u>	<u>109.967,22</u>
<u>SO2</u>	<u>15,5</u>	<u>2.005,29</u>
<u>NO2</u>	<u>1,2</u>	<u>155,25</u>
<u>Σωματίδια</u>	<u>0,8</u>	<u>103,50</u>

Αξίζει να σημειωθεί, ότι η φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους κατά τις πιο ζεστές ώρες του καλοκαιριού, βοηθώντας έτσι σημαντικά το ηλεκτρικό σύστημα της περιοχής αλλά και της χώρας έτσι ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες διακοπών λόγω μεγάλης αύξησης της ζήτησης.

A.2.3. Διαχείριση τυχόν αποβλήτων

Η λειτουργία των μονάδων δεν προκαλεί κανενός είδους απόβλητα.

A.2.4. Πρόγραμμα ανάπλασης χώρων

Η αποκατάσταση των ελάχιστων φθορών που θα προκληθούν στο έδαφος του χώρου εγκατάστασης θα είναι σχεδόν πλήρης. Όλες οι εκσκαφές για τις καλωδιώσεις και την τοποθέτηση του εξοπλισμού θα επανακαλυφθούν με τα προϊόντα εκσκαφής, ώστε να μην υπάρξει αλλοίωση του ανάγλυφου. Οποιαδήποτε εναπομείναντα προϊόντα εκσκαφής θα απομακρυνθούν από το χώρο εγκατάστασης και θα απορριφθούν σε ειδικά προβλεπόμενους χώρους.

A.2.5. Ενεργειακή μετατροπή - επιλογή τεχνολογίας

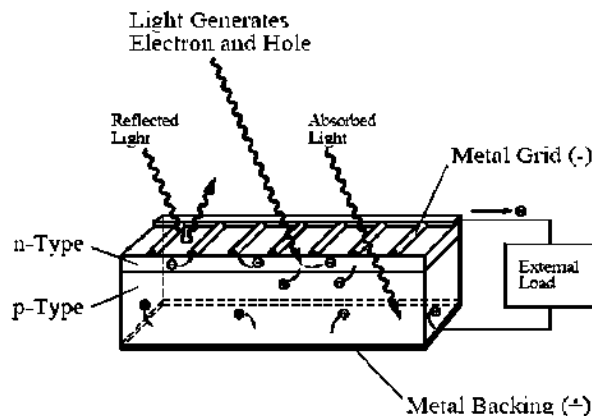
Το σύστημα παραγωγής ενέργειας αποτελείται αμιγώς από συστοιχίες φωτοβολταϊκών πλαισίων, συνεπώς η μοναδική πρωτογενής ενέργεια που χρησιμοποιεί είναι η ηλιακή.

Δεν απαιτείται κανενός άλλου είδους ενέργεια για τροφοδοσία της εγκατάστασης, πλην της ελάχιστης ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν τα συστήματα παρακολούθησης της λειτουργίας του έργου, η οποία προέρχεται από την ίδια την παραγωγή του πάρκου.

Η παραγόμενη Συνεχής Τάση των συστοιχιών συνδέεται σε κατάλληλους Μετατροπείς Τάσεως (Inverter) που την μετασχηματίζουν σε Εναλλασσόμενη Τάση. Εν συνεχεία η έξοδος του Inverter με χρήση μετασχηματιστών 0,4/20 KV όπως περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο, θα συνδεθεί στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

A.2.6. Χρησιμοποιούμενη Τεχνολογία του σταθμού και τα κριτήρια επιλογής της

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη εγκατάσταση, είναι η αυτή του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Τα Φωτοβολταϊκά Στοιχεία δημιουργούνται με την επαφή δύο ημιαγωγικών στρωμάτων, ενός τύπου p και ενός τύπου n. Όταν το στοιχείο φωτίζεται, ένα ποσοστό των προσπίπτοντων φωτονίων με ενέργειες $E_{ph} = hf$ μεγαλύτερες του ενεργειακού κενού E_g της επαφής, απορροφάται και προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρρευμα) ευθέως ανάλογο της πυκνότητας ισχύος του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός.



Εικόνα Α1 : Η παραγωγή φωτο-ρεύματος κατά τον φωτισμό επαφής ημιαγωγών (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο)

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων δεδομένου τύπου, εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- ✚ Την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (solar intensity). Η ενεργειακή απόδοση του πλαισίου είναι ευθέως ανάλογη με της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ο παράγοντας αυτός σχεδιαστικά επηρεάζεται αποκλειστικά από την επιλογή του χώρου εγκατάστασης και την σωστή χωροθέτηση των πλαισίων.
- ✚ Την γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο πλαίσιο. Η εξάρτηση της παρεχόμενης ισχύος από την γωνία πρόσπτωσης θ μπορεί επαρκώς να προσεγγισθεί ως έχουσα σχέση αναλογίας με το συνημίτονο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για $0 < \theta < 500$. Για τιμές της γωνίας θ μεταξύ $500 < \theta < 850$ η παρεχόμενη ενέργεια μειώνεται ταχύτατα και για $\theta > 850$ πρακτικά μηδενίζεται.
- ✚ Την θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων. Η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων οδηγεί σε: μείωση του ενεργειακού διακένου του ημιαγωγού και συνεπακόλουθα σε σημαντική μείωση της τάσης του και σε αμελητέα αύξηση του παρεχόμενου ρεύματος.

A.2.7. Τεχνικά χαρακτηριστικά πρώτων υλών και ετοιμών προϊόντων

Η επένδυση αφορά σε νέα παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Πριν την επένδυση δεν υπάρχει παραγωγική διαδικασία, ούτε υφίσταται παραγωγική μονάδα. Στην συγκεκριμένη επένδυση ως “πρώτη ύλη” νοείται η ηλιακή ακτινοβολία και η περιεχόμενη ενέργειά του και το μοναδικό προϊόν προς πώληση είναι η ηλεκτρική ενέργεια.

Σε ότι αφορά την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας ως φυσικό μέγεθος γίνονται μετρήσεις βάσει των οποίων προσδιορίζονται τα βασικά ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της (βλ. επόμενη ενότητα).

Σε ότι αφορά στο προϊόν, δηλαδή την παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια, τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά καθορίζονται από τις Προδιαγραφές του ΔΕΣΜΗΕ και της ΔΕΗ.

Για την εν λόγω επένδυση με βάση το ισχύον θεσμικό πλαίσιο και τις σχετικές άδειες:

- α) Το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας απορροφάται από το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- β) Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια απορροφάται από το Δίκτυο μέσης τάσης 20 kV.

A.2.8. Περιγραφή παραγωγικής διαδικασίας

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι σήμερα από τις πιο πετυχημένες και ανερχόμενες μορφές ΑΠΕ καθώς θεωρείται ώριμη και οικονομικά ανταγωνιστική, ενώ ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια.

Παραγωγική Διαδικασία

Αν και συνήθως γίνεται λόγος για «παραγωγή ενέργειας» και «κατανάλωση ενέργειας», η ενέργεια δεν δημιουργείται ούτε καταναλώνεται, απλά μετατρέπεται από μία μορφή σε άλλη. Στην συγκεκριμένη παραγωγική διαδικασία ως πρώτη ύλη νοείται η ηλιακή ακτινοβολία και η περιεχόμενη ενέργεια της. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία και μετατρέπεται σε συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (DC). Στη συνέχεια, οδηγείται στους αντιστροφείς όπου μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο (AC) κατάλληλης συχνότητας και τέλος στον Μετασχηματιστή (Μ/Τ) όπου η τάση ανυψώνεται για να συνδεθεί στο δίκτυο και από εκεί στην κατανάλωση.

A.2.9. Εκτίμηση Παραγωγής Μονάδας

I. Γενικά

Ο σταθμός θα μετατρέπει αδιάλειπτα, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα εγχέεται στο δίκτυο Μέσης Τάσης (ανεξάρτητη παραγωγή) που θα κατασκευαστεί για τις ανάγκες του φωτοβολταϊκού σταθμού. Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής παραγωγής του φωτοβολταϊκού σταθμού χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο PVGIS του Ενιαίου Κέντρου Έρευνας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

II. Υπολογισμοί με το Μοντέλο PVGIS

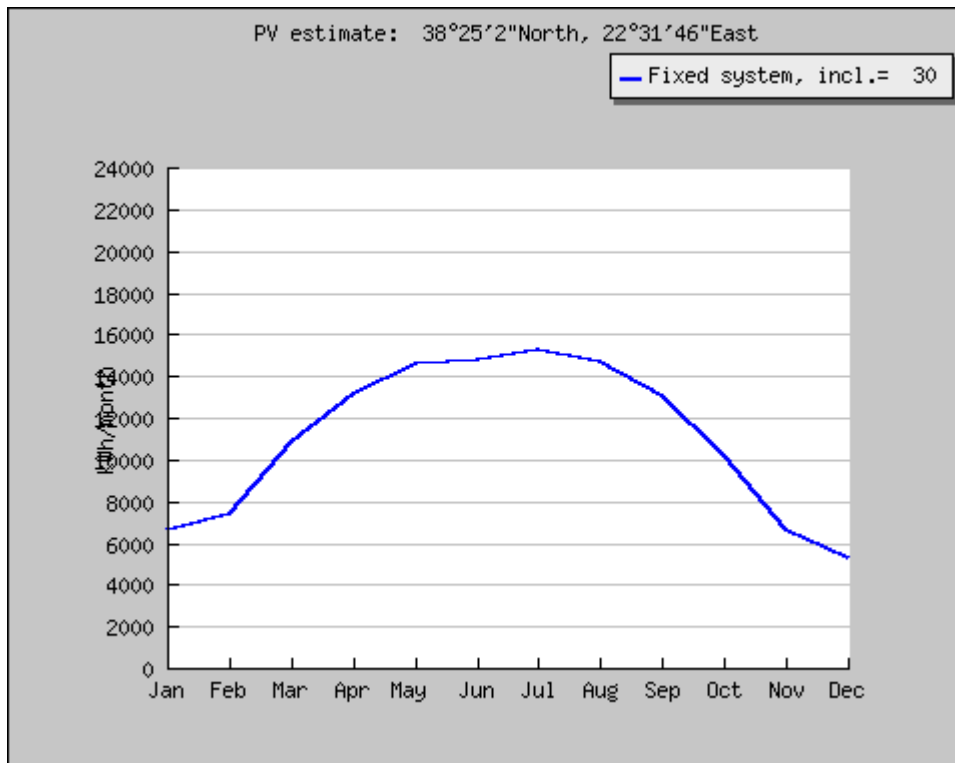
Όπως αναφέρθηκε, ένα ασφαλές και συντηρητικό μοντέλο υπολογισμού είναι το μοντέλο PVGIS του Ενιαίου Κέντρου Έρευνας (Joint Research Centre) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>).

Στον Παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου (input data) για την εκτέλεση του μοντέλου PVGIS.

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Τοποθεσία	38°25'2" Βόρεια 22°31'46" Ανατολικά, Υψόμετρο: 680 m
Πλησιέστερη πόλη	Δεσφίνα, Ελλάδα
Ονομαστική ισχύς Φ/Β συστήματος	100.0 kW (crystalline silicon)
Κλίση των στοιχείων (modules)	30.0°
Προσανατολισμός (azimuth) των στοιχείων modules	0.0°
Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας	10,0% (χρησιμοποιώντας τοπικά δεδομένα θερμοκρασίας)
Εκτιμώμενες απώλειες λόγω φαινομένων γωνιακής ανάκλασης (angular reflectance effects)	2,7%
Άλλες απώλειες (καλώδια, inverter κ.ά)	10,0%
Συνδυασμένες απώλειες συστήματος PV	21,2%

Στον Πίνακα και το Σχήμα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου PVGIS για τον υπό μελέτη Φ/Β σταθμό.

Αποτελέσματα: Ονομαστική ισχύς=100.0 kW, Απώλειες συστήματος=10,0%		
Κλίση=30°, Προσανατολισμός=0°		
Μήνας	Production per month (kWh/month)	Production per day (kWh/day)
Ιανουάριος	6610	213
Φεβρουάριος	7380	264
Μάρτιος	10800	350
Απρίλιος	13100	438
Μάιος	14600	470
Ιούνιος	14800	494
Ιούλιος	15200	491
Αύγουστος	14700	473
Σεπτέμβριος	13000	435
Οκτώβριος	10200	328
Νοέμβριος	6670	222
Δεκέμβριος	5330	172
Ετήσιος Μέσος Όρος	11000	363
Ετήσια παραγωγή (kWh)	132000	



III. ΠΩΛΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, η συνολική ετήσια ενεργειακή παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού στη θέση «Τσουκαλάκια» της Δ.Ε. Δεσφίνας του Δήμου Δελφών Νομού Φωκίδας παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα.

Εκτιμώμενες ισοδύναμες ώρες λειτουργίας (h/year)	1.320,00
Ετησία διαθεσιμότητα	99,0%
Συντελεστής απορροφήσεως ενέργειας	99,0%
Ονομαστική ετησία παραγωγή σε kWh	132.000
Ετησία παραγωγική δυναμικότητα μονάδος MWh	130.680
Συνολική διατιθέμενη ετησία παραγωγή MWh (πρόβλεψη)	129.373,2

B.1. Κόστος Επένδυσης – Χρηματοδοτικό Σχήμα

Οι συνολικές δαπάνες που προβλέπονται στα πλαίσια υλοποίησης του παρόντος επενδυτικού σχεδίου ανέρχονται στα 267.940,21 €, σύμφωνα με την οικονομική προσφορά που επισυνάπτεται.

Ο τρόπος κάλυψης των απαιτούμενων αυτών κεφαλαίων παρουσιάζεται στον Πίνακα που ακολουθεί.

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ	ΠΟΣΟ (€)	ΠΟΣΟΣΤΟ
Ίδια Κεφάλαια	40.191,0315€	15%
Τραπεζικός Δανεισμός	227.749,1785 €	85%
Γενικό Σύνολο Επένδυσης	267.940,21 €	100%

Σημειώνεται ότι στις ανωτέρω τιμές δεν έχει υπολογιστεί ο Φ.Π.Α., του οποίου εξαιρείται η προμήθεια των πλαισίων, η προμήθεια των inverter, η προμήθεια των βάσεων στήριξης και το κόστος σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ. Ως εκ τούτου, το σύνολο της επένδυσης με ΦΠΑ ανέρχεται στο ποσό των 279.854,21 €.

B.2. Παραδοχές Προβλέψεων

B.2.1. Πωλήσεις

Οι λειτουργικές χρηματικές εισροές από την υλοποίηση της επένδυσης θα προέρχονται αποκλειστικά από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ειδικότερα, η τιμή πώλησης ανέρχεται σε 0,419 € / kWh σύμφωνα με τα οριζόμενα στον Ν. 3851/10 και την υπογραφείσα σύμβαση με το ΔΕΣΜΗΕ με προσαύξηση κατ' έτος σύμφωνα με τον Παρακάτω Πίνακα.

1 ΕΤΟΣ	0.0%	μέση αύξηση
2 ΕΤΟΣ	2.5%	μέση αύξηση
3 ΕΤΟΣ	2.5%	μέση αύξηση
4 ΕΤΟΣ	2.5%	μέση αύξηση
5 ΕΤΟΣ	2.5%	μέση αύξηση

Πίνακας: Μέση ετήσια αύξηση πωλήσεων μετά την υλοποίηση του προτεινόμενου επενδυτικού σχεδίου

Η ενεργειακή απολαβή της επένδυσης για τα 5 πρώτα έτη λειτουργίας της μονάδας, παρουσιάζεται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Έτος	1	2	3	4	5
Ενεργ. Απολαβή (MWh/yr)	132,00	131,34	130,68	130,03	129,38

B.2.2. Κύκλος Εργασιών

Ως τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνονται τα 0,419 € / kWh σύμφωνα με τα οριζόμενα στον Ν. 3851/10 και την υπογραφείσα σύμβαση με το ΔΕΣΜΗΕ, με προσαύξηση κατ' έτος σύμφωνα με τον Πληθωρισμό. Τα συνολικά έσοδα από την επένδυση για τα πρώτα 5 έτη λειτουργίας της μονάδας, παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί:

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ					
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΟΣΑ ΣΕ €				
	1ο ΕΤΟΣ	2ο ΕΤΟΣ	3ο ΕΤΟΣ	4ο ΕΤΟΣ	5ο ΕΤΟΣ
Έσοδα/έτος	56.419,6908	56.983,8877	57.553,72659	58.129,26385	58.710,55649

Πίνακας: Ο εκτιμώμενος κύκλος εργασιών

B.2.3. Προβλεπόμενος Λογαριασμός αποτελεσμάτων χρήσεως

Για τον καταρτισμό του Προβλεπόμενου Λογαριασμού Αποτελεσμάτων Χρήσης, πέραν των υπολογισμών των πωλήσεων και του κόστους πωληθέντων, λαμβάνονται υπόψη ο υπολογισμός των τοκοχρεωλυσίων του νέου μακροπρόθεσμου δανείου, ο υπολογισμός των αποσβέσεων των ενσώματων ακινητοποιήσεων, καθώς και τα λοιπά έξοδα που αναφέρονται στη συνέχεια:

A. Ασφάλιστρα παγίων

Το κόστος ασφάλισης του φωτοβολταϊκού σταθμού λογίζεται ως το 0,5% επί της αξίας του μηχανολογικού εξοπλισμού και των ειδικών εγκαταστάσεων.

B. Ενέργεια

Σχετική δαπάνη δεν προβλέπεται.

Γ. Μισθοί υπαλλήλων

Δεν προβλέπεται πρόσληψη προσωπικού

Δ. Έξοδα συντήρησης

Τα έξοδα συντήρησης λογίζονται ως το 0,3% επί της αξίας του μηχανολογικού εξοπλισμού και των ειδικών εγκαταστάσεων.

E. Λοιπά έξοδα

Τα λοιπά έξοδα λογίζονται ως το 0,2% επί της αξίας του μηχανολογικού εξοπλισμού και των ειδικών εγκαταστάσεων.

B.2.4. Κεφάλαιο Κίνησης

Σχετική δαπάνη δεν προβλέπεται

B.2.5. Υφιστάμενα Δάνεια και Εξυπηρέτηση αυτών

Τρέχων δανεισμός δεν υφίσταται.

B.2.6. Αποσβέσεις

Ο συντελεστής απόσβεσης θεωρείται σταθερός και ίσος με 9%. Η απόσβεση γίνεται στα πρώτα 12 έτη.

B.2.7. Έξοδα Διάθεσης

Έξοδα διάθεσης δεν προβλέπονται.

B.3. Προβλέψεις Βιωσιμότητας – Προβλεπόμενες Ροές Κεφαλαίων – Αξιολόγηση Εκτιμώμενων Αποτελεσμάτων

Οι προβλέψεις βιωσιμότητας για τα 5 πρώτα έτη λειτουργίας της μονάδας παρουσιάζονται στους Πίνακες που ακολουθούν.

ΕΤΟΣ	1	2	3	4	5
Έσοδα (€/yr)	56419,6908	56983,8877	57553,72659	58129,26385	58710,55649
• Το συνολικό κόστος			267940,21	279.854 €	κόστος με ΦΠΑ
Έξοδα (€/yr)					
Ασφάλιστρα (€/yr)	1.399,27	1.399,27	1.399,27	1.399,27	1.399,27
	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
Λειτουργία και συντήρηση (€/yr)	839,56	839,56	839,56	839,56	839,56
	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%
Διοίκηση (€/yr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0	0	0	0
Λοιπά έξοδα (€/yr)	559,71	559,71	559,71	559,71	559,71
	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%
Σύνολικά έξοδα (€/yr)	2.798,54 €	2.798,54 €	2.798,54 €	2.798,54 €	2.798,54 €
• Τα συνολικά κέρδη είναι η διαφορά μεταξύ εσόδων και εξόδων					
Κέρδη (€/yr)	53.621,15 €	54.185,35 €	54.755,18 €	55.330,72 €	55.912,01 €
κέρδη χωρίς το κόστος απόσβεσης	έσοδα - έξοδα	έσοδα - έξοδα	έσοδα - έξοδα	έσοδα - έξοδα	έσοδα - έξοδα
• Θεωρούμε πως ο συντελεστής απόσβεσης είναι σταθερός					
• Ο συντελεστής απόσβεσης ισούτε με 9% του συνολικού κόστους					
Κόστος απόσβεσης(€/yr)	25.186,88	25.186,88	25.186,88	25.186,88	25.186,88
Συνολικό κόστος που απομένει να αποσβεστεί (€)	254.667,33	229.480,45	204.293,57	179.106,69	153.919,82
Κέρδη (€/yr)	28.434,27 €	28.998,47 €	29.568,31 €	30.143,84 €	30.725,14 €
κέρδη συνυπολογισμένου του κόστους απόσβεσης	κέρδη-ετήσιο κόστος απόσβεσης	κέρδη-ετήσιο κόστος απόσβεσης	κέρδη-ετήσιο κόστος απόσβεσης	κέρδη-ετήσιο κόστος απόσβεσης	κέρδη-ετήσιο κόστος απόσβεσης

Πίνακας: Προβλεπόμενες χρηματοροές.

Όπως προκύπτει από τα στοιχεία του ανωτέρω πίνακα, το ύψος των εισροών υπερβαίνει σταθερά καθ' όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου το ύψος των εκροών, γεγονός που καταδεικνύει την θετική χρηματοοικονομική διάρθρωση της προτεινόμενης επένδυσης.

ΕΤΟΣ	1	2	3	4	5
Έσοδα (€)	56419,69	56983,89	57553,73	58129,26	58710,56
Σύνολικά πραγματικά έξοδα (€)	2.798,54 €	2.798,54 €	2.798,54 €	2.798,54 €	2.798,54 €
Κόστος απόσβεσης (€)	25.186,88	25.186,88	25.186,88	25.186,88	25.186,88
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΞΟΔΑ (€)	27.985,42 €	27.985,42 €	27.985,42 €	27.985,42 €	27.985,42 €
Συνολικά Κέρδη προ φόρων (€)	28.434,27 €	28.998,47 €	29.568,31 €	30.143,84 €	30.725,14 €
Φόρος σε € (25%)	7.108,57 €	7.249,62 €	7.392,08 €	7.535,96 €	7.681,28 €
Ετήσια Αποτελέσματα (€)	21.325,70 €	21.748,85 €	22.176,23 €	22.607,88 €	23.043,85 €
Καθαρή Χρηματοροή					
+	56419,69	56983,89	57553,73	58129,26	58710,56
-	-35.093,99 €	-35.235,04 €	-35.377,50 €	-35.521,38 €	-35.666,70 €
=	21.325,70 €	21.748,85 €	22.176,23 €	22.607,88 €	23.043,85 €
Καθαρή Παρούσα Αξία					
Στιγμιαία ΠΑ	20118,59	19356,40	18619,59	17907,56	17219,71
Σ(ΚΠΑ)	350211,26				
ΚΠΑ	70357,05				
IRR	20,58%				

Πίνακας: Αποτελέσματα Επένδυσης για το έργο.

Όπως προκύπτει από την ανάλυση στον παραπάνω Πίνακα το Εσωτερικό Ποσοστό Απόδοσης (IRR) της επένδυσης είναι θετικό και ίσο με 20,58%, γεγονός που καθιστά την υλοποίηση του παρόντος, ιδιαίτερα χαμηλής επικινδυνότητας επενδυτικού σχεδίου και αν μη τι άλλο αρκετά ελκυστική.

Συμπεράσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κυριότερα συμπεράσματα:

- 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 (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου). Ένα κιλοβάτ 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, κ.λπ). 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.



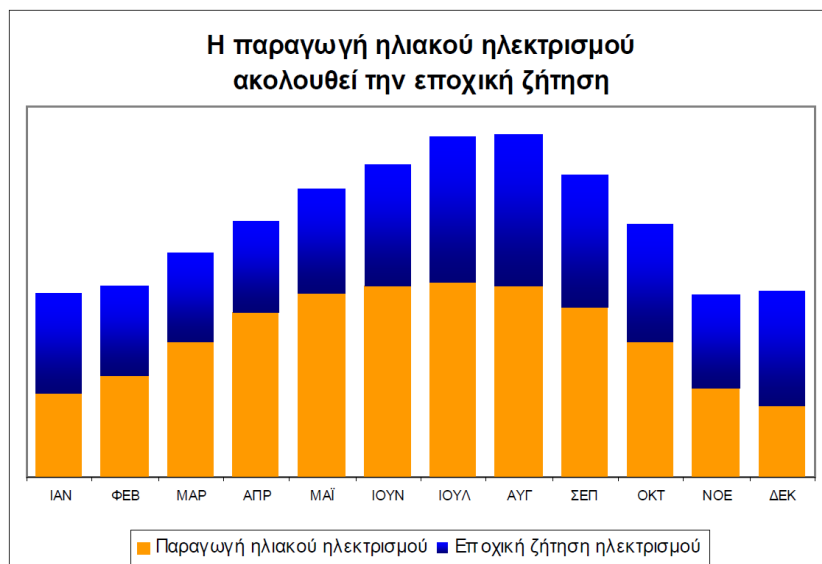
(Πηγή: www.helapco.gr)

- 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.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ.

Μελέτες σε περιοχές με αντίστοιχες κλιματικές συνθήκες με την Ελλάδα έδειξαν ότι κάθε μεγαβάτ (MW) φωτοβολταϊκών υποκαθιστά έως και 0,8 MW συμβατικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής τις καλοκαιρινές ώρες αιχμής. Ο μέσος συντελεστής εγγυημένης ισχύος (capacity credit) των φωτοβολταϊκών σε ετήσια βάση είναι, για περιοχές σαν τη δική μας, 64% και ανέρχεται σε 80% τις καλοκαιρινές ώρες αιχμής.



(Πηγή: www.helapco.gr)

- Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.500 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ

(kWh/έτος/kWp). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες.

- Για οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 10kWp το κόστος ανέρχεται σε περίπου 27.000€, ενώ μπορεί να αποδώσει ετησίως 11.500-15.000kWh. Τα αντίστοιχα έσοδα από την παραγωγή αυτή κυμαίνονται από 5.692,5-7.425€ (0,495€/kWh, Α' Εξάμηνο του 2012). Για την απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης απαιτείται χρονικό διάστημα από 3,6-4,7 έτη.
- Για φωτοβολταϊκό σύστημα επί εδάφους ισχύος 100kWp το κόστος ανέρχεται σε περίπου 200.000€, ενώ μπορεί να αποδώσει ετησίως 115.000-150.000kWh (με συστήματα σταθερής βάσης). Τα αντίστοιχα έσοδα από την παραγωγή αυτή κυμαίνονται από 37.789-49.290€ (0,3286€/kWh, Α' Εξάμηνο του 2012). Για την απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης απαιτείται χρονικό διάστημα από 4,1-5,3 έτη. (Για φωτοβολταϊκά συστήματα άνω των 10kWp η τρέχουσα φορολογία είναι 25% επί των κερδών)
- Με την απόφαση του Υπουργείου Ανάπτυξης να άρει μια σειρά από γραφειοκρατικά εμπόδια και να επιτρέψει τις μικρές επενδύσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων έως 10kWp στα κτίρια χωρίς ο ιδιοκτήτης να υποχρεούται να ανοίξει βιβλία στην εφορία αλλά και χωρίς να πάρει έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, αύξησε κατά πολύ την ζήτηση των φωτοβολταϊκών.
- Αν συνυπολογίσουμε το υψηλό αρχικό κόστος και την εκ των πραγμάτων χαμηλή απόδοση με όλα τα προαναφερθέντα, έχουμε μία πλήρη εικόνα της ισχύουσας κατάστασης γύρω από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Εν κατακλείδι, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μια επένδυση χαμηλού ρίσκου. Ωστόσο, η τελική απόφαση παραμένει στην κρίση του κάθε ενδιαφερόμενου.