



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο
της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος στην Αθήνα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ

Φοιτητής Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Η/Υ

Επιβλέπουσα: Καβατζά Σταυρούλα
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους παρακάτω ανθρώπους για την πολύτιμη βοήθειά τους.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Σταυρούλα Καβατζά για την πρόθυμη βοήθειά της σε κάθε θέμα που προέκυψε. Συντόνιζε όλες τις εργασίες που απαιτούνταν για την περαίωση της εργασίας και η επικοινωνία μας ήταν άριστη και ευχάριστη.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πολύ καλό μου φίλο κ. Αλέξανδρο Παναγιωτόπουλο για την τεχνική υποστήριξη καθώς και τη γλωσσική επιμέλεια του κειμένου.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:	«Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος στην Αθήνα»
ΦΟΙΤΗΤΗΣ:	Ευάγγελος Κωστόπουλος
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:	Στ. Καβατζά, Λέκτορας, Ηλ. Μηχανικών & Μηχ. Η/Υ ΕΜΠ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ:	2010 - 2011

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια ολοκληρωμένη μελέτη εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας στην Αθήνα. Παρουσιάζονται με σαφήνεια τα στάδια σχεδιασμού ενός τέτοιου συστήματος, ενώ ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στο φαινόμενο της σκίασης. Πρόκειται για την ανάλυση δύο σεναρίων. Στο πρώτο λαμβάνεται υπ' όψη η καθοριστική σκίαση που προκαλείται στο υπό μελέτη κτίριο από τον γειτονικό «Πύργο των Αθηνών» ενώ στο δεύτερο αγνοείται. Εν συνεχεία, μέσα από τη σύγκριση των δύο αυτών σεναρίων μελετώνται οι επιπτώσεις των σκιάσεων, τόσο στην τελική απολαβή ενέργειας όσο και στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης. Για την προσομοίωση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το πλέον σύγχρονο λογισμικό που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Γενεύης (PVSYST), λογισμικό το οποίο είναι ευρύτατα διαδεδομένο στην αγορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το λογισμικό αρχικά αντλεί ακριβή κλιματικά δεδομένα σχετικά με την περιοχή τοποθέτησης της φωτοβολταϊκής γεννήτριας από μία ευρωπαϊκή βάση δεδομένων. Στη συνέχεια καθορίζονται τα υλικά (πλαίσια, αντιστροφείς) που πρόκειται να εγκατασταθούν καθώς και η κλίση και επιφάνεια των πλαισίων. Επιπλέον, μέσω ενός εργαλείου τρισδιάστατης σχεδίασης που διαθέτει, σχεδιάζονται ο περιβάλλον χώρος καθώς και η ενεργή φωτοβολταϊκή περιοχή με σκοπό τον υπολογισμό των σκιάσεων που προκύπτουν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ανάλογα με τη θέση του ήλιου κάθε στιγμή. Το πρόγραμμα προσομοιώνει με ικανοποιητική ακρίβεια τις ημερήσιες και κατόπιν τις ετήσιες ενεργειακές απολαβές και εν συνεχεία προχωρά στην οικονομική αξιολόγηση της υπό μελέτη επένδυσης.

Τελικά από την οικονομική αξιολόγηση των δύο σεναρίων έγινε φανερός ο σημαντικός ρόλος που διαδραματίζουν οι σκιάσεις, καθώς στην περίπτωση που ληφθεί υπ' όψη ο «Πύργος των Αθηνών», οι συνολικές οικονομικές απολαβές είναι μειωμένες το λιγότερο κατά 18%. Μάλιστα οι απώλειες αναμένονται να είναι αρκετά μεγαλύτερες, αν λάβουμε υπ' όψη τη γραμμικότητα του μοντέλου υπολογισμού που χρησιμοποιήσαμε στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 4 κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται από δύο γενικές ενότητες. Στην πρώτη (υποκεφάλαια

1.1 – 1.6) παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με τις Α.Π.Ε και την φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Ειδικότερα αναλύονται διεξοδικά τα πλεονεκτήματά των ανανεώσιμων πηγών και της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας ξεχωριστά και στη συνέχεια παριγράφουμε την ανάπτυξή τους σε Ελληνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Στα υπόλοιπα υποκεφάλαια παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά στην λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Γίνεται αναφορά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο και στην ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια αναλύεται η φυσική υπόσταση ενός στοιχείου από κρυσταλλικό πυρίτιο καθώς οι ηλεκτρικές του ιδιότητες. Τέλος γίνεται μνεία στους βασικούς τύπους πλαισίων και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε αναλυτικά το διοικητικό, οικονομικό και ευρύτερο νομικό πλαίσιο που αφορά στις εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα. Παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθηθούν μέχρι την υπογραφή της σύμβασης με τη Δ.Ε.Η ή το Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε και την ενεργοποίηση της σύνδεσης με το δίκτυο. Αναφέρονται οι πολεοδομικές διατάξεις, οι οικονομικοί όροι καθώς και τα σημαντικότερα σημεία που περιέχονται στους σχετικούς με τη φωτοβολταϊκή ενέργεια νόμους. Δίνεται βαρύτητα στα Φ/Β συστήματα <10KW που εντάσσονται στο πλαίσιο του Ειδικού Προγράμματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις, καθ'ότι αυτά γνωρίζουν τη μεγαλύτερη άνθιση τα τελευταία χρόνια, αλλά και στα συστήματα που αφορούν σε εμπορικές και βιομηχανικές στέγες, καθώς σε αυτό το πλαίσιο εντάσσεται η εγκατάσταση που μελετάμε στο τελευταίο κεφάλαιο.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στη αρχική διερεύνηση που πρέπει να κάνει ένας μηχανικός και τους παράγοντες που πρέπει να λάβει υπ'όψη κατά τη μελέτη και εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος σε ένα κτίριο. Στην αρχή παρουσιάζονται συνοπτικά τα σημεία αυτά ενώ στη συνέχεια δίνεται έμφαση στα σημαντικότερα εξ'αυτών σε ξεχωριστά υποκεφάλαια.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, με τη χρήση του λογισμικού προσομοίωσης PVSYST, παρουσιάζεται μία οικονομοτεχνική μελέτη σχεδίασης και εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας στην Αθήνα. Αναλύονται δύο σενάρια: στο πρώτο η σκίαση που παράγεται από το γειτονικό κτίριο του «Πύργου των Αθηνών» αγνοείται ενώ στο δεύτερο η σκίαση λαμβάνεται υπ'όψη. Στο τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης καθώς και οι επιπτώσεις που η σκίαση επιφέρει στο έργο, και εξάγονται ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα, όπως αυτά προκύπτουν από τη σύγκριση των δύο σεναρίων.

GRADUATE THESIS: «Study of the installation of a PV system in a building of National Bank of Greece in Athens»

STUDENT: Evangelos Kostopoulos

SUPERVISOR: S. Kavatza, Lecturer, Electrical Engineering & Computer Science NTUA

ACADEMIC YEAR: 2010 - 2011

Abstract

This thesis is a comprehensive study of the installation of a grid-connected photovoltaic system in a building of National Bank of Greece (NBG) in Athens. The planning stages of such a system are clearly presented, while special attention is paid to the phenomenon of shading. This is the analysis of two scenarios: In the first, the shading caused to the studied building from the nearby "Tower of Athens" is taken into account while in the second it is ignored. Subsequently, through a comparison of these two scenarios the effects of shading is studied, both in regard to the final energy yield and to the economic evaluation of the investment. For the simulation of the system we used modern software developed at the University of Geneva (PVSYST), software that is widely prevalent in the market of photovoltaic systems.

At first the software gathers accurate climate data on the mounting area of the PV generator from a European database. Then we define the materials (modules, inverters) to be installed and the slope and area of the modules. In addition, through a three-dimensional design tool, the surrounding area as well as the active PV region is designed, in order to calculate the resulting shadows throughout the year, depending on the position of the sun at all times. The program simulates the day and annual energy yield with sufficient precision and then performs an economic evaluation of the planned investment.

Eventually from the economic evaluation of the two scenarios the important role played by the shading was made evident, as when the shadow cast by the "Tower of Athens" is taken into account, the overall economic returns are reduced by at least 18%. Indeed, the losses are expected to be quite bigger if we take into consideration the linearity of the calculation model used in the simulation program.

The thesis consists of 4 chapters.

The first chapter consists of two broad sections. In the first one (subsections 1.1 - 1.6) we provide information regarding the R.E.S. and the photovoltaic technology. Specifically, the advantages of both the renewable energy and the photovoltaic technology are analyzed in detail separately and then their development in Greek and European level is described. The remaining subsections are focused on the theoretical background concerning the operation of photovoltaic systems. The photovoltaic effect, the solar radiation as well as the physical configuration of crystalline silicon

cells and their electrical properties are the issues discussed. Finally reference is made to the basic module types and photovoltaic systems.

In the second chapter we present in detail the administrative, financial and broader legal framework related to solar energy in Greece. We mention the procedures to be followed until the signing of the contract with DEI or D.E.S.M.I.E and the activation of the connection with the grid. Reference is made to the urban planning rules, the economic conditions and all the major points contained in the legislation concerning the PV technology. Special mention is made to the PV systems, “ <10KW included within the Special Program for Photovoltaic Systems in buildings”, as they have shown the biggest growth over the recent years, as well as to the systems installed on commercial and industrial roofs, as within this context lies the system we study in the last chapter.

The third chapter refers to the initial investigation that an engineer should make and the factors to be taken into account when designing and installing a grid-connected photovoltaic system in a building. At first these points are summarized and then we focus on the most important of them in separate subsections.

In the fourth chapter, using the simulation software PVSYST, we present a technical and economic study of the design and installation of a grid-connected photovoltaic system in the building of NBG in Athens. Two scenarios are studied: In the first the shading produced by the neighboring building called the "Tower of Athens" is ignored while in the second the shading is taken into account. In the end the results of the study as well as the impact of the shadings are presented, while useful conclusions are being drawn as these arise from the comparison of the two scenarios.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη	3
Abstract.....	5
1. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Πλεονεκτήματα Α.Π.Ε.....	10
1.3 Αξία φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.....	11
1.4 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.....	11
1.4.1 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών.....	14
1.5 Παράγοντες ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα	16
1.6 Στατιστικά στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων	17
1.6.1 Εγχώρια στοιχεία	17
1.6.2 Διεθνή στοιχεία	20
1.7 Αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών	22
1.7.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	22
1.7.2 Φωτοβολταϊκό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου	24
1.8 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαϊσίων	29
1.8.1 Κρυσταλλικά πλαίσια	29
1.8.2 Πλαίσια άμορφου πυριτίου (amorphous ή thin film)	30
1.9 Ηλεκτρικές ιδιότητες φωτοβολταϊκών στοιχείων	31
1.9.1 Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα	31
1.9.2 Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα	31
1.9.3 I-V χαρακτηριστική και STC	32
1.10 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	34
1.10.1 Αυτόνομα συστήματα	34
1.10.2 Διασυνδεδεμένα συστήματα	35
2. Διοικητικό, Οικονομικό & Νομικό Πλαίσιο Εγκαταστάσεων Ηλιακής Ενέργειας Στην Ελλάδα	37
2.1 Γενικά.....	37
2.2 Διοικητικό πλαίσιο	39
2.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό-κτιριακό τομέα	42
2.3.1 Διαδικασία σύνδεσης ΦΒ συστημάτων <10KW στα πλαίσια του Ειδικού Προγράμματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις.....	46
2.3.2 Διαδικασία σύνδεσης φωτοβολταϊκών >10KW, σε βιομηχανικές – εμπορικές στέγες.....	48
2.4 Οικονομικό πλαίσιο	53
3. Σχεδιασμός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	55

3.1 Εισαγωγή	55
3.2 Αρχική διερεύνηση και επίσκεψη του χώρου	55
3.2 Προσανατολισμός των Φωτοβολταϊκών πλαισίων	57
3.2 Προβλήματα σκιασμών	59
3.3 Στατική μελέτη & Υλικά στήριξης	62
3.4 Επιλογή του χώρου έδρασης των ηλεκτρονικών μετατροπέων	63
4. Μελέτη διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας Ελλάδος	64
4.1 Εισαγωγή	64
4.2 Το κτίριο και ο περιβάλλον χώρος	65
4.3 Σχεδιασμός και εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος	72
4.3.1 Επιλογή υλικών εγκατάστασης	72
4.3.2 Χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων	74
4.4 Προσομοίωση με το πρόγραμμα PVSYST	77
4.4.1 Εισαγωγή στο PVSYST	77
4.4.2 Σκιάσεις	79
4.4.3 Περιγραφή συστήματος	86
4.4.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης	87
4.4.5 Οικονομική μελέτη	90
4.5 Ανάλυση αποτελεσμάτων, συμπεράσματα – προοπτικές	94
4.5.1 Ανάλυση και σύγκριση σεναρίων	94
4.5.2 Συμπεράσματα και προοπτικές	95
4.5.3 Προτάσεις Επέκτασης	96
Βιβλιογραφία	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

1.1 Εισαγωγή

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Οι κυριότερες μορφές ΑΠΕ είναι:

- ❖ **Αιολική ενέργεια:** Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται μέσω ανεμογεννητριών σε ηλεκτρική ενέργεια.
- ❖ **Υδροηλεκτρική ενέργεια:** Η κινητική ενέργεια του νερού κατά την υδατόπτωση μετατρέπεται μέσω υδροστροβίλων και γεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί να προέρχεται από σταθμούς παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας, από τις παλίρροιες, ή από θαλάσσια κύματα.
- ❖ **Ηλιακή ενέργεια:** Η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται τόσο σε θερμικές όσο και σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Ένα παράδειγμα θερμικής εφαρμογής είναι ο θερμοσίφωνας, όπου η θερμοκρασία του νερού μπορεί να αυξάνεται μέσω της συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας για οικιακή ή άλλη χρήση. Από την άλλη τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να μετατρέψουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.
- ❖ **Βιομάζα:** οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως

είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.

- ❖ **Γεωθερμία:** η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

Οι πιο διαδεδομένες εξ' αυτών είναι η αιολική, υδροηλεκτρική και ηλιακή ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ενέργεια συσσωρεύεται κυρίως στις ορεινές περιοχές όπου τα διαθέσιμα ύψη υδατόπτωσης καθώς και οι παροχές ύδατος είναι μεγαλύτερες, ενώ η ηλιακή και αιολική ενέργεια συναντώνται κυρίως στον νησιωτικό χώρο, όπου τα αντίστοιχα δυναμικά τους φορτία εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές.

1.2 Πλεονεκτήματα Α.Π.Ε.

Οι λόγοι που οι κοινωνίες στρέφονται προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πολλοί. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι τα εξής:

- ❖ Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- ❖ Συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς, μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους.
- ❖ Απαντούν στο ενεργειακό πρόβλημα για τη σταθεροποίηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και των υπόλοιπων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή.
- ❖ Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- ❖ Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- ❖ Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις ανάγκες των χρηστών και σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα, αντίστοιχα, έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.
- ❖ Οι επενδύσεις στις Α.Π.Ε. δημιουργούν μεγάλο αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- ❖ Το λειτουργικό τους κόστος είναι συνήθως χαμηλό και δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας.

- ❖ Η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Αξίζει εδώ να αναφερθούμε και στο βασικότερο μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.: έχουν συνήθως χαμηλό βαθμό απόδοσης και απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Για το λόγο αυτό μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.

1.3 Αξία φωτοβολταϊκής τεχνολογίας

Η ηλιακή ενέργεια συμφέρει στις περιπτώσεις εκείνες όπου παρέχονται κίνητρα και υπάρχει ξεκάθαρη πολιτική στήριξης της ηλιακής τεχνολογίας. Όταν, για παράδειγμα, παρέχεται ενισχυμένη τιμή της πωλούμενης ηλιακής κιλοβατώρας (όπως ισχύει στη χώρα μας), τότε, ο καταναλωτής όχι μόνο κάνει απόσβεση της επένδυσης αλλά έχει και ένα λογικό κέρδος από την παραγωγή και τροφοδοσία πράσινης ενέργειας στο δίκτυο.

Στις περιπτώσεις πάλι των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές εκτός δικτύου, η ανταγωνιστική τεχνολογία είναι οι πανάκριβες στη λειτουργία τους, θορυβώδεις και ρυπογόνες ηλεκτρογεννήτριες, οπότε τα φωτοβολταϊκά είναι μια συμφέρουσα εναλλακτική λύση. Τα κριτήρια όμως δεν πρέπει να είναι μόνο οικονομικά. Στην καθημερινή μας ζωή κάνουμε επιλογές που δεν υπολογίζουν ούτε το κόστος ούτε το χρόνο απόσβεσης.

1.4 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκής τεχνολογίας

Όλα τα φωτοβολταϊκά συστήματα μοιράζονται τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που ξεπερνά 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 **καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη**. 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, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν τον **απόλυτο έλεγχο** στον καταναλωτή και **άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια**. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλλουν μ' αυτό τον τρόπο στην **ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας**. Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν **αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας** (στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές) και απαιτούν **ελάχιστη συντήρηση**.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών είναι αδιαμφισβήτητα. **Κάθε κιλοβάτ 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. [10]



Εικόνα 1.1 Αντιστοίχιση φωτοβολταϊκής και παραγόμενης από πετρέλαιο ενέργειας [10]

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 αποκαθιστά 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. [10]

1.4.1 Ανακύκλωση φωτοβολταϊκών

Η ισχύουσα σήμερα νομοθεσία δεν προβλέπει την υποχρεωτική συλλογή και ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών (κάτι που σχεδιάζει και υλοποιεί εθελοντικά η βιομηχανία φωτοβολταϊκών μέχρι να γίνει υποχρεωτικό κάτι τέτοιο από τη νομοθεσία). Συγκεκριμένα, η ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών έχει δεσμευτεί να συλλέγει το 65% κατ' ελάχιστον των φωτοβολταϊκών που έχουν εγκατασταθεί στην Ευρώπη από το 1990 και να ανακυκλώνει το 85% των υλικών (Πρωτοβουλία PVCYCLE).

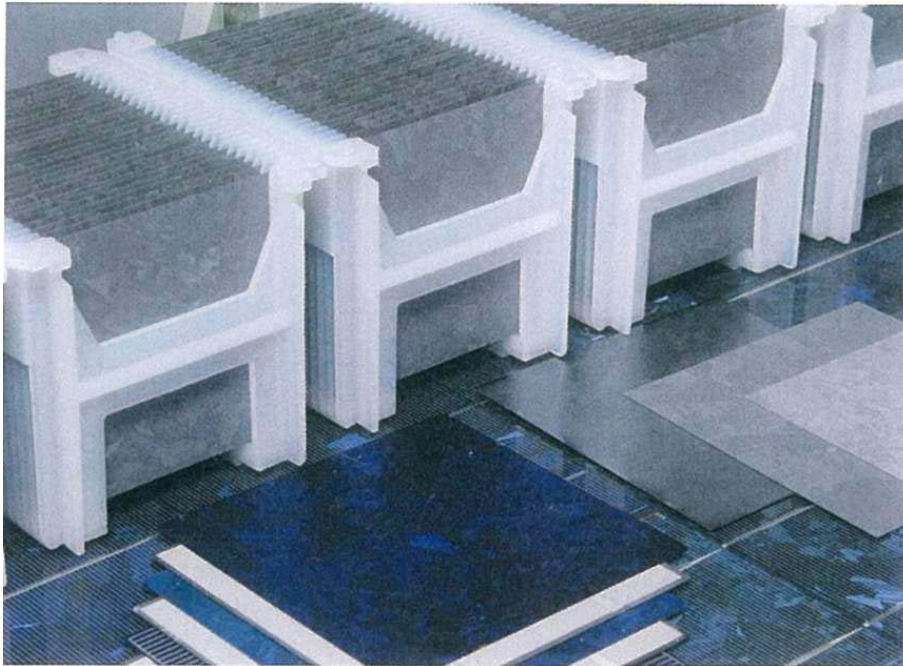
Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών τεχνολογίας CdTe η υποχρέωση ανακύκλωσης αποτελεί ήδη πάγια πρακτική. Με την προμήθεια των πλαισίων αυτών, ο τελικός χρήστης δεσμεύεται με συμβόλαιο να παραδώσει τα φωτοβολταϊκά στην κατασκευάστρια εταιρία μετά τον ωφέλιμο χρόνο ζωής τους, η δε κατασκευάστρια εταιρία δεσμεύεται να τα ανακυκλώσει και να ανακτήσει το CdTe. Στην αρχική τιμή των πλαισίων αυτών περιλαμβάνεται και το κόστος συλλογής και ανακύκλωσης, έστω κι αν κάτι τέτοιο θα συμβεί μετά από 20-30 χρόνια. Έχει δημιουργηθεί μάλιστα και ειδικό ασφαλιστικό ταμείο το οποίο διασφαλίζει τη συλλογή και ανακύκλωση των πλαισίων ακόμη κι αν εν τω μεταξύ εκλείψουν οι κατασκευάστριες εταιρίες.

Πάντως μέχρι το 2030, το νωρίτερο, δεν αναμένεται να υπάρξει ουσιαστικός όγκος τέτοιων απορριμάτων. Εκτιμάται ότι η συνολική μάζα απορριμάτων διαθέσιμων για ανακύκλωση θα είναι 13.300 τόνοι το 2030 και 33.500 τόνοι το 2040 (Schlenker and Wambach, 2005). Για λόγους ενεργειακής εξοικονόμησης έχει νόημα να ανακυκλώνονται τόσο τα ελαττωματικά πλαίσια όσο και αυτά που έχουν εξαντλήσει τα έτη λειτουργίας τους. Τέλος τα ηλιακά κύττερα πυριτίου καθώς και τα συστατικά αλουμινίου και τζαμιού μπορούν επίσης να επαναχρησιμοποιηθούν. Στην εικόνα 1.2 φαίνονται ελαττωματικά πλαίσια πριν οδηγηθούν στην ανακύκλωση.



Εικόνα 1.2 Ελαττωματικά πλαίσια προς ανακύκλωση [5]

Αφ'ότου πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές πλαισίων πραγματοποίησαν διάφορες μελέτες, το καλοκαίρι του 2003 η γερμανική Solar AG κατασκεύασε ένα πιλοτικό εργοστάσιο ανακύκλωσης πλαισίων πυριτίου στο Freiberg. Εκεί ανακυκλώνονται τόσο πλαίσια όσο και μεμονωμένα κύτταρα. Τα πλαίσια διαχωρίζονται στα συστατικά τους σε έναν λέβητα στους 500° C. Τα αποσυναρμολογημένα κύτταρα μπορούν πλέον να καταστούν προϊόντα επεξεργασίας και να επαναχρησιμοποιηθούν. Από την άλλη τα ανακυκλωμένα κύτταρα παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερη απόδοση από τα αρχικά.



Εικόνα 1.3 Ανακυκλωμένα πλακίδια (wafers) στο εργοστάσιο την Solar AG [5]

1.5 Παράγοντες ανάπτυξης 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 αειφόρο 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.

1.6 Στατιστικά στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε κάποια σημαντικά στατιστικά στοιχεία σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τόσο σε εγχώριο όσο και σε διεθνές επίπεδο. Έτσι θα μπορέσουμε να αποκομίσουμε μία γενική εικόνα για το πώς κινείται η αγορά των φωτοβολταϊκών μέχρι σήμερα.

1.6.1 Εγχώρια στοιχεία

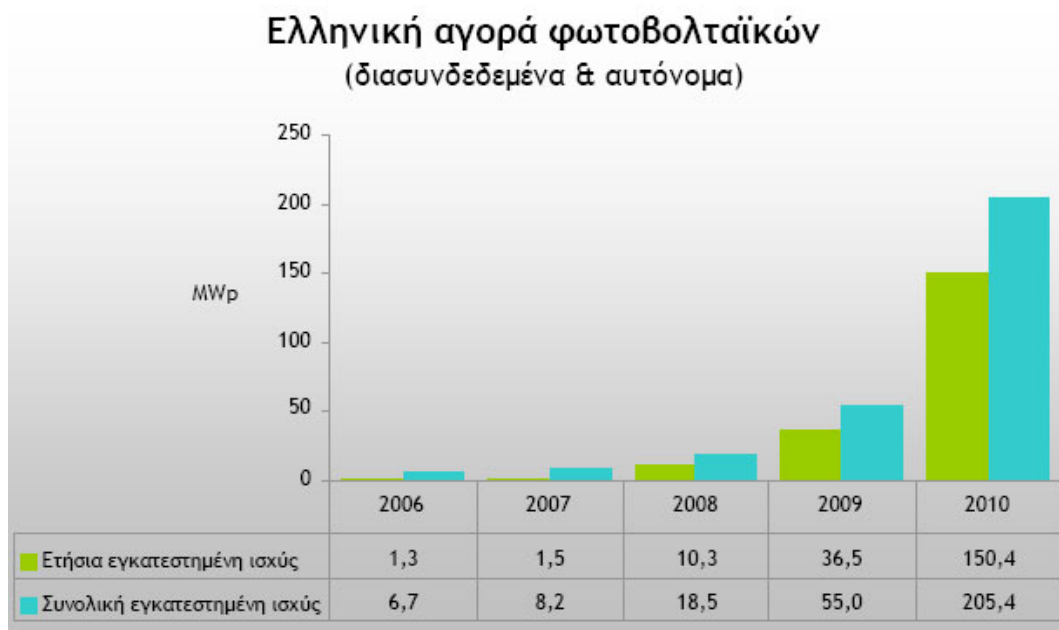
2010	Διασυνδεδεμένα	Αυτόνομα	Σύνολο
Ετήσια εγκατ. ισχύς Φ/Β (MWh)	150,3	0,1	150,4
Συνολική εγκατ. ισχύς Φ/Β (MWh)	198,5	6,9	205,4

Πίνακας 1.1 Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα το 2010

Διασυνδεδεμένα Συστήματα 2010 (KWp)	Στέγες <10	<20	20-150	>150
Συνολική εγκατ. ισχύς Φ/Β (MWh)	7,4	22,6	117,0	51,5

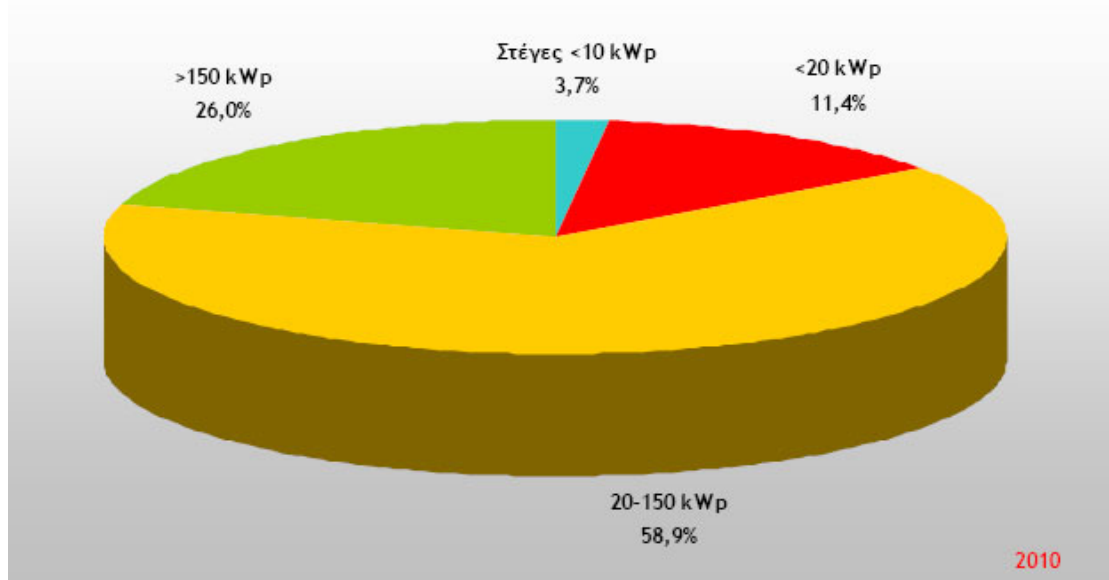
Πίνακας 1.2 Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων στην Ελλάδα το 2010

Κατά το έτος 2010 η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων που προστέθηκε ήταν τριπλάσια από την συνολική εγκατεστημένη ισχύ που υπήρχε ως το 2009, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.1 και στην εικόνα 1.4. Επίσης, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.2 και στην εικόνα 1.5, μεγαλύτερο μερίδιο από πλευράς εγκατεστημένης ισχύος στην ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών καταλαμβάνουν τα συστήματα σε γήπεδα και αγροτικές εκτάσεις. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η αύξηση στις επενδύσεις στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι άμεση συνέπεια των ευνοϊκών για την ηλιακή ενέργεια νόμων του 2009 και 2010, όπως θα περιγράψουμε σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 1.4 Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών ανά έτος [11]

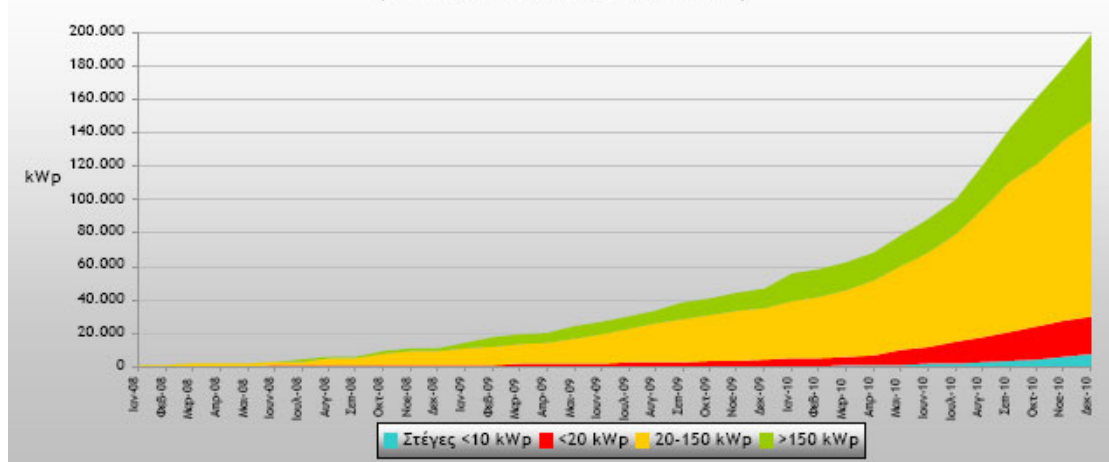
Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων ανά ισχύ



Εικόνα 1.5 Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων στην Ελλάδα (ανά ισχύ) [11]

Στην εικόνα 1.6 φαίνεται ότι η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος στην Ελλάδα ακολουθεί, κατά τους τελευταίους μήνες, εκθετική πορεία. Από την άλλη τα επιτρεπόμενα όρια ανάπτυξης της φωτοβολταϊκής ενέργειας για τα επόμενα χρόνια εκτιμάται ότι θα μπορούσαν να είναι μεγαλύτερα.

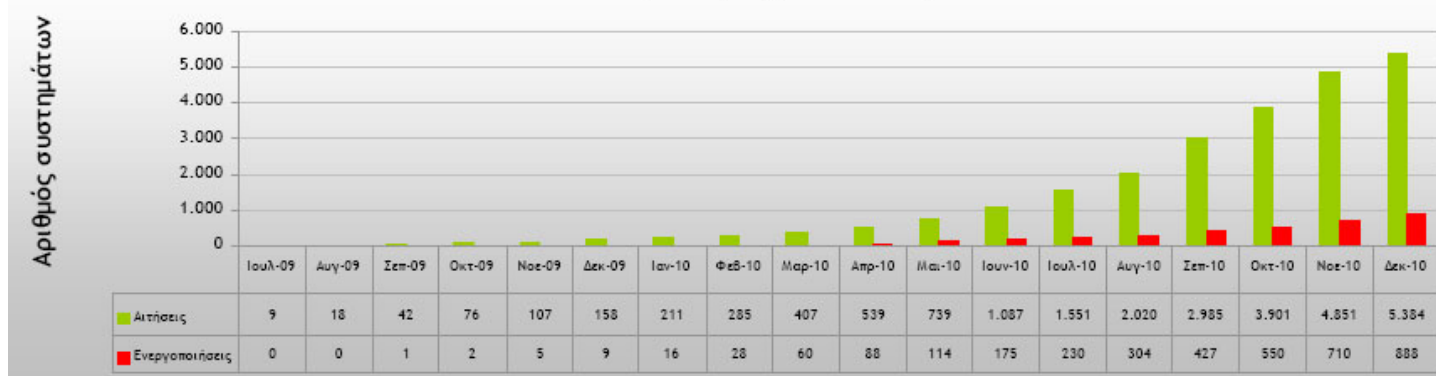
Ανάπτυξη διασυνδεδεμένων συστημάτων (συνολική εγκατεστημένη ισχύς)



Εικόνα 1.6 Ανάπτυξη διασυνδεδεμένων συστημάτων στην Ελλάδα [11]

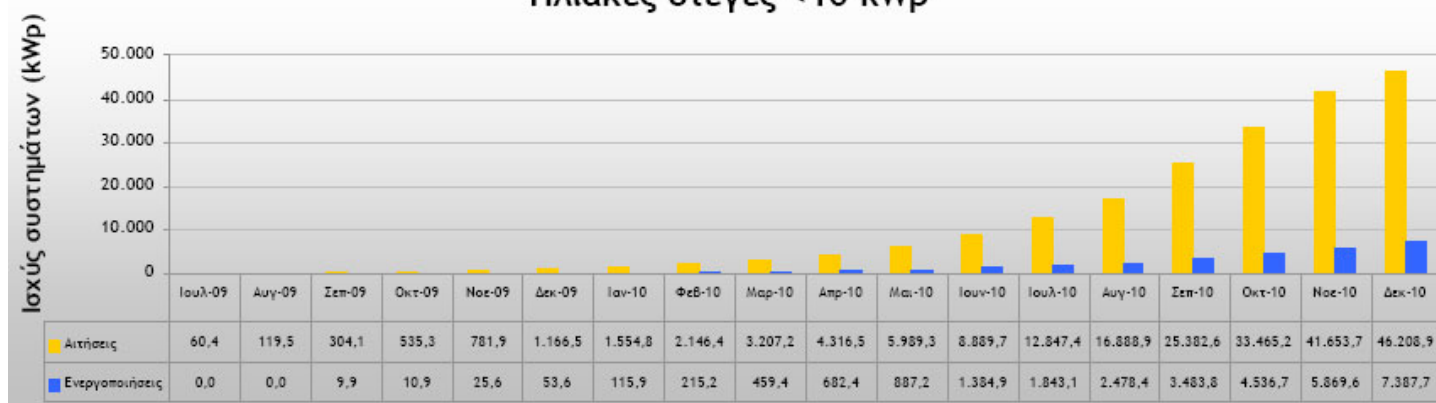
Το ευνοϊκότερο νομικό πλαίσιο χαίρουν τα μικρά συστήματα σε οικιακές και εμπορικές στέγες ως 10 KWp. Όπως φαίνεται και στις εικόνες 1.7 και 1.8, ο αριθμός των αιτήσεων για εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων αυξάνεται διαρκώς, γεγονός που αντικατοπτρίζει το μεγάλο ενδιαφέρον που υπάρχει για το νέο και ευέλικτο αυτό τύπο επενδύσεων.

Ηλιακές στέγες <10 kWp



Εικόνα 1.7 Ανάπτυξη συστημάτων (αριθμός) για ηλιακές στέγες <10 KWp το 09-10 στην Ελλάδα [11]

Ηλιακές στέγες <10 kWp



Εικόνα 1.8 συστημάτων (ισχύς) για ηλιακές στέγες <10 KWp το 2009-2010 στην Ελλάδα [11]

Λόγω του ενδιαφέροντος για νέες επενδύσεις στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αρχίζουν να δραστηριοποιούνται περισσότερες εταιρίες. Η πλειονότητα τους είτε αναλαμβάνει την μελέτη και εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος είτε εισάγει τον εξοπλισμό από χώρες του εξωτερικού (κυρίως Γερμανία και Κίνα) και τον μεταπωλεί στις προαναφερθείσες εταιρίες. Δεν απουσιάζουν, παρ'όλαυτά, και οι ελληνικές εταιρίες παραγωγής, τόσο μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών πλαισίων, όσο και των λιγότερο διαδεδομένων πλαισίων τύπου thin film. Στον πίνακα 1.3 αναφέρονται οι εταιρίες καθώς και κάποια συνοπτικά στοιχεία για αυτές.

Μονάδες παραγωγής φωτοβολταϊκών	Προϊόντα	Περιοχή	Ετήσια δυναμικότητα	Παραγωγή 2010	Αριθμός εργαζομένων
Exel Group	Φ/Β πλαίσια	Κιλκίς	50 MW	8	120
Heliosphera	Thin Film	Τρίπολη	60 MW	24	197
Silcio/Piritium	Cells, Φ/Β πλαίσια	Πάτρα	29/9,5 MW	20,2/7,76	122
Solar Cells Hellas	Wafers, Cells, Φ/Β πλαίσια	Πάτρα, Θήβα	80/80/80 MW	50/48/10	320
Stel Solar	Φ/Β πλαίσια	Κιλκίς	10 MW	1,3	25

Πίνακας 1.3 Ελληνικές εταιρίες παραγωγής Φ/Β πλαισίων [11]



Εικόνα 1.9 Παραδείγματα θέσεων εργασίας στον τομέα των φωτοβολταϊκών [11]

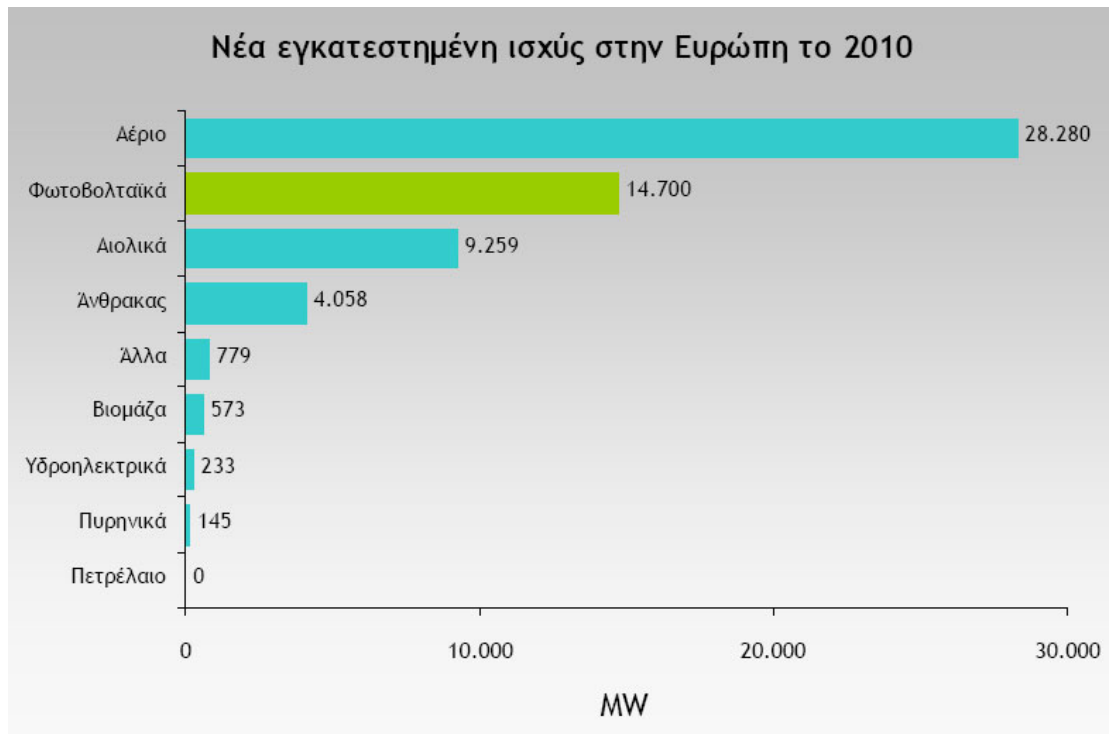
Υπολογίζεται ότι στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα αντιστοιχούν περίπου 4.250 θέσεις εργασίας.

1.6.2 Διεθνή στοιχεία

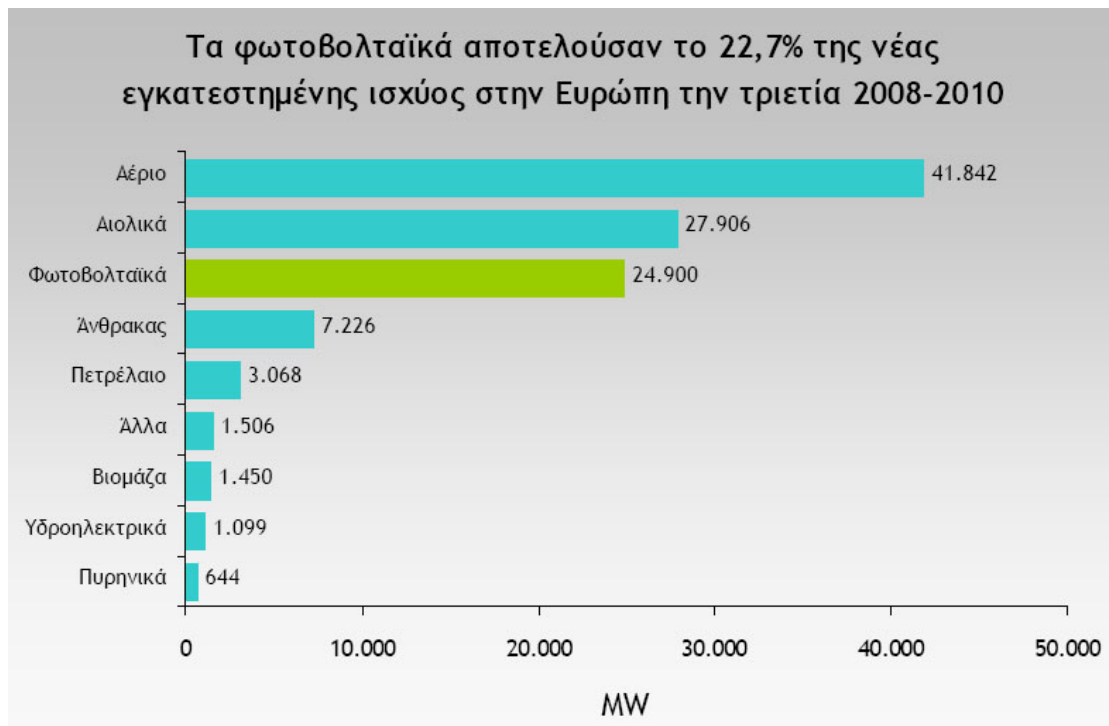


Εικόνα 1.10 Εξέλιξη διεθνούς αγοράς φωτοβολταϊκών την τελευταία δεκαετία [12]

Στην εικόνα 1.10 φαίνεται η εξέλιξη της διεθνούς αγοράς φωτοβολταϊκών συστημάτων την τελευταία δεκαετία. Το 2010 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπερδιπλασιάστηκε σε σχέση με το 2009, φτάνοντας τα 40 GWp. Στην εικόνα 1.11 φαίνεται η νέα εγκατεστημένη ισχύς από κάθε ενεργειακή πηγή στην Ευρώπη το 2010. Σε αυτό τον τομέα τα φωτοβολταϊκά καταλαμβάνουν τη δεύτερη θέση (μετά το αέριο), ενώ στην τρίτη έρχεται η αιολική ενέργεια. Αντίστοιχα στην τριετία 2008 ως 2010 η νέα εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ευρώπη κατέχει την τρίτη θέση μετά το αέριο και την αιολική ενέργεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.12. Από τις παραπάνω εικόνες γίνεται εμφανές ότι οι επενδύσεις στις εναλλακτικές πηγές ενέργειας (κυρίως αιολική και ηλιακή) κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερο έδαφος σε σχέση με τις επενδύσεις σε συμβατικές πηγές, κυρίως λόγω των προβλημάτων ρύπανσης και εξάντλησης των τελευταίων.



Εικόνα 1.11 Νέα εγκατεστημένη ισχύς από όλες τις ενεργειακές πηγές στην Ευρώπη το 2010 [12]



Εικόνα 1.12 Εγκατεστημένη ισχύς ΦΒ συστημάτων στην Ευρώπη την τριετία 2008-2010 [12]

1.7 Αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών

Η αρχή πάνω στην οποία στηρίζεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Πρόκειται για απ'ευθείας μετατροπή που πραγματοποιείται σε ατομικό επίπεδο στο ημιαγώγιμο Φ/Β υλικό.

Η πρόσπτωση του φωτός στο Φ/Β στοιχείο ακολουθείται από ανάκλαση, απορρόφηση ή διάθλασή του μέσα από αυτό. Όμως μόνο το μέρος εκείνο της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από το Φ/Β στοιχείο συνεισφέρει στο φαινόμενο μετατροπής. Η ενέργεια των φωτονίων του φωτός που απορροφάται μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια των ατόμων του στοιχείου, με αποτέλεσμα αυτά να εγκαταλείπουν τις κανονικές τους θέσεις και να κινούνται σ'ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, δημιουργώντας ρεύμα.

Παρακάτω θα εξηγήσουμε το φαινόμενο αυτό στα πλέον διαδεδομένα πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου.

1.7.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος παρέχει ενέργεια με την μορφή της ακτινοβολίας, χωρίς την οποία η ζωή δεν θα μπορούσε να υπάρχει. Η ενέργεια παράγεται στον πυρήνα του ήλιου μέσα από τη σύντηξη των ατόμων του υδρογόνου σε ήλιο. Ένα μέρος της μάζας του υδρογόνου μετατρέπεται σε ενέργεια. Με άλλα λόγια, ο ήλιος είναι ένας τεράστιος πυρηνικός αντιδραστήρας. Επειδή ο ήλιος είναι τόσο μακριά από τη Γη, μόνο ένα μικρό ποσοστό (περίπου δύο εκατομμυριοστά) της ηλιακής ακτινοβολίας φθάνει στην επιφάνεια της Γης.

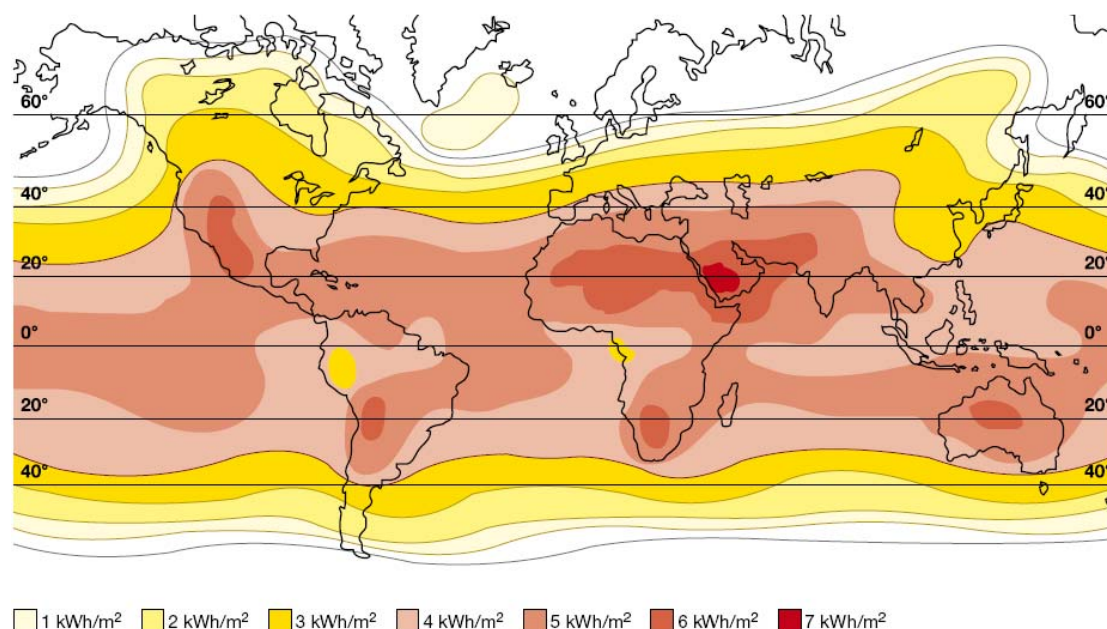
Το ποσό της ενέργειας του ηλιακού φωτός που φθάνει στην επιφάνεια της Γης είναι ισοδύναμο με περίπου 10.000 φορές τις παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Κατά συνέπεια, αρκεί να αξιοποιηθεί μόνον το 0,01% της ενέργειας του ήλιου ώστε να καλυφθεί το σύνολο των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της Γης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του ήλιου και της Γης. Κατά τη διάρκεια του έτους αυτή κυμαίνεται μεταξύ $1,47 \times 10^8$ χλμ και $1,52 \times 10^8$ km. Ως αποτέλεσμα, η ακτινοβολία E_Q κυμαίνεται μεταξύ 1325W/m^2 και 1412W/m^2 . Η μέση τιμή αναφέρεται ως η ηλιακή σταθερά:

Ηλιακή σταθερά: $E_Q = 1367\text{W/m}^2$

Αυτό το επίπεδο ακτινοβολίας δεν φθάνει στην επιφάνεια της Γης. Η ατμόσφαιρα της Γης μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία μέσω ανάκλασης, απορρόφησης (από το όζον, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα) και σκέδασης (που προκαλείται από τα μόρια του αέρα, τα σωματίδια σκόνης ή τη ρύπανση). Όταν έχει καλό καιρό το μεσημέρι, η ακτινοβολία μπορεί να φθάσει στα 1000W/m^2 στην επιφάνεια της Γης. Αυτή η τιμή είναι σχετικά ανεξάρτητα από την τοποθεσία. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζεται σε ηλιόλουστες και εν μέρει

συννεφιασμένες μέρες. Η ηλιοφάνεια μπορούν να φτάνει στην ανώτερη τιμή των $1400\text{W}/\text{m}^2$ για σύντομα χρονικά διαστήματα. Εάν το ενεργειακό περιεχόμενο της ηλιακής ακτινοβολίας προστίθεται κατά τη διάρκεια ενός χρόνου, αυτό δίνει την ετήσια παγκόσμια ακτινοβολία σε KWh/m^2 . Η ηλιακή ακτινοβολία ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την περιφέρεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.13

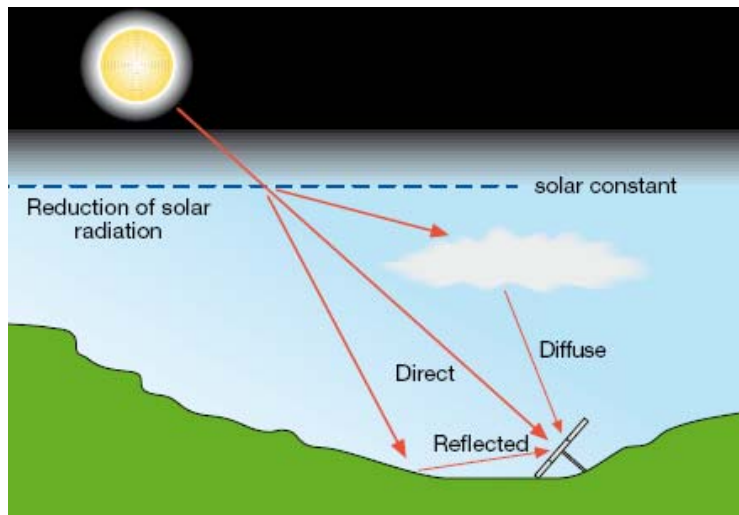


Εικόνα 1.13 μέσος όρος της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο 30° (νότιο) σε κάθε περιοχή του πλανήτη [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}$] [9]

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή η οποία φτάνει απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση (δ), το ηλιακό ύψος (α), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ), το υψόμετρο του τόπου (h), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει (β), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος(α), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (εικόνα 1.14). Το χειμώνα, ο ουρανός είναι συννεφιασμένος και η διάχυτη συνιστώσα είναι μεγαλύτερη από την άμεση.



Εικόνα 1.14 Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας [9]

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της. Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1,400-1,800 (kWh/(m².yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση (W/m²) στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω της θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).

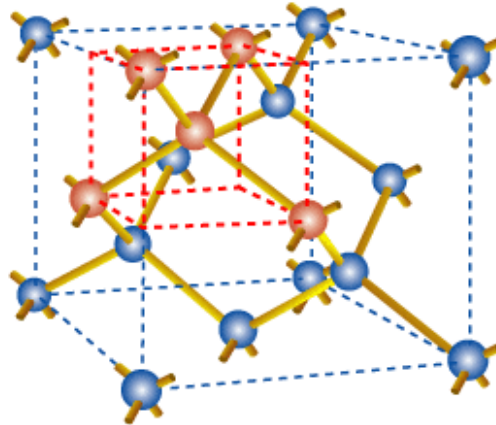
1.7.2 Φωτοβολταϊκό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου

Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορους ημιαγωγούς, όμως εδώ θα εξετάσουμε το κρυσταλλικό πυρίτιο, καθ'ότι αποτελεί μακράν το συνηθέστερο υλικό των Φ/Β στοιχείων στην σημερινή αγορά.

Για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι απαραίτητο το πυρίτιο να είναι υψηλής καθαρότητας και με υψηλή ποιότητα κρυστάλλου. Τα άτομα πυριτίου σχηματίζουν ένα σταθερό κρυσταλλικό πλέγμα. Κάθε άτομο πυριτίου έχει τέσσερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (ηλεκτρόνια σθένους). Από τα 14 ηλεκτρόνια του πυριτίου μόνο τα 4 ηλεκτρόνια σθένους μπορούν να αλληλεπιδρούν με γειτονικά άτομα δημιουργώντας κατάλληλους δεσμούς.

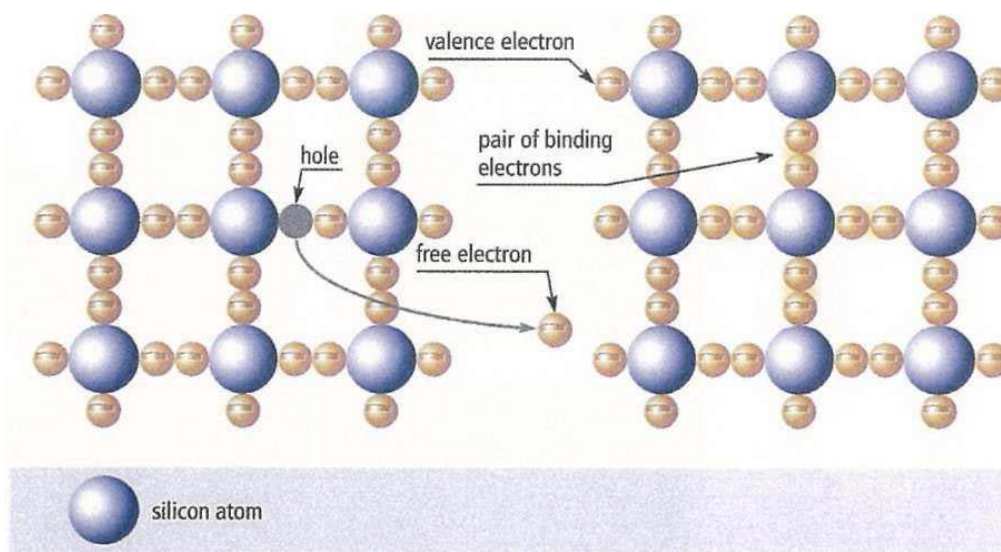
Μεγάλος αριθμός ατόμων πυριτίου συνδέονται μεταξύ τους μέσω των ηλεκτρονίων σθένους για να σχηματίσουν ένα κρύσταλλο. Σ'ένα κρυσταλλικό στερεό, κάθε άτομο πυριτίου προσφέρει ένα από τα τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους σε καθένα από τα τέσσερα γειτονικά άτομα πυριτίου για τη δημιουργία ομοιοπολικού. Έτσι το στερεό

απαρτίζεται από τις βασικές δομές πέντε ατόμων πυριτίου: την δομή του κεντρικού ατόμου και τις δομές των άλλων τεσσάρων ατόμων με τα οποία μοιράζεται τα ηλεκτρόνια σθένους. Με αυτή τη βασική δομή το πυρίτιο παίρνει τη σταθερή, ευγενή του μορφή, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.15.



Εικόνα 1.15 Δομή του κρυσταλλικού πυριτίου [9]

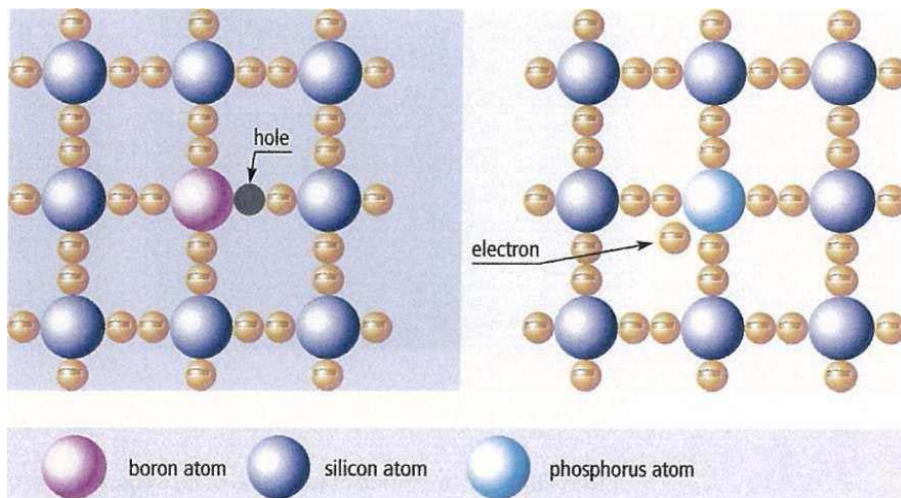
Ένας δεσμός ηλεκτρονίων μπορεί να διασπαστεί υπό την επίδραση φωτός ή θερμότητας. Το ηλεκτρόνιο τότε μπορεί να κυκλοφορεί ελεύθερα αφήνοντας μια οπή στο κρυσταλλικό πλέγμα. Αυτό είναι γνωστό ως ενδογενής ηλεκτρική αγωγιμότητα (εικόνα 1.16).



Εικόνα 1.16 κρυσταλλική δομή πυριτίου και ενδογενής αγωγιμότητα [5]

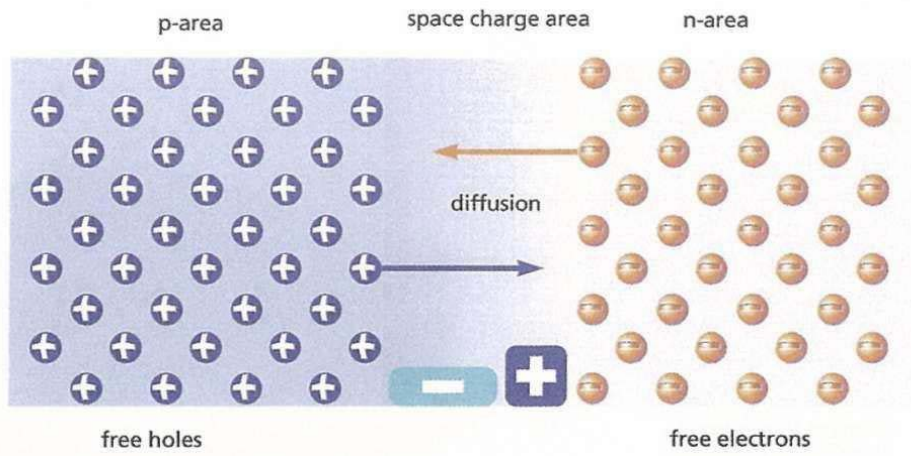
Η ενδογενής αγωγιμότητα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πυρίτιο για την παραγωγή ενέργειας, ατέλειες (με τη μορφή προσμίξεων) εισάγονται σκοπίμως στο κρυσταλλικό πλέγμα. Αυτές είναι γνωστές ως εισαγόμενα στοιχεία (“dopants”). Αυτά τα άτομα έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο (φωσφόρος) ή ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο (βορόνιο) από το πυρίτιο στις εξωτερικές τους στοιβάδες. Η διαδικασία κατά την οποία εισάγονται άτομα ενός άλλου στοιχείου μέσα στον κρύσταλλο του καθαρού πυριτίου με σκοπό την μεταβολή των ηλεκτρικών του ιδιοτήτων ονομάζεται εμπλουτισμός (doping).

Στην περίπτωση της εισαγωγής φωσφόρου (n-doped), εμφανίζεται ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο για κάθε άτομο φωσφόρου στο πλέγμα. Αυτό το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται ελεύθερα στον κρύσταλλο και ως εκ τούτου να μεταφέρει ηλεκτρικό φορτίο. Στην περίπτωση της εισαγωγής βορονίου (p-doped), επειδή αυτό έχει τρία μόνο ηλεκτρόνια σθένους, όταν θα τα μοιράζεται με τέσσερα γειτονικά άτομα Si, τότε ένας από τους δεσμούς θα έχει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο, γεγονός που είναι ισοδύναμο με την ύπαρξη μίας οπής. Ηλεκτρόνια από γειτονικά άτομα πυριτίου μπορούν να καταλάβουν αυτή την οπή, δημιουργώντας μια νέα οπή κάπου αλλού. Η αγωγιμότητα αυτή που βασίζεται στις προσμίξεις είναι γνωστή ως εξωγενής αγωγιμότητα. Όμως λαμβάνοντας υπόψη τα n- και p- εμπλουτισμένα υλικά από μόνα τους, τα ελεύθερα φορτία δεν έχουν προκαθορισμένη κατεύθυνση για την κίνησή τους.



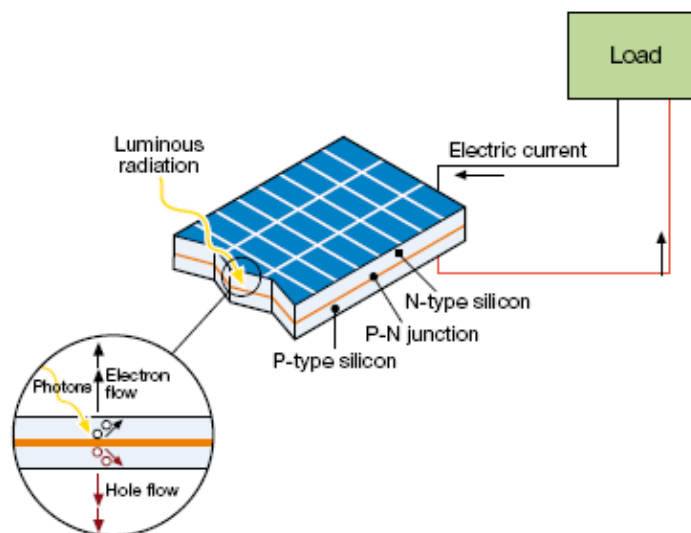
Εικόνα 1.17 p- και n- doped πυρίτιο και εξωγενής αγωγιμότητα [5]

Εάν ένας ημιαγωγός τύπου p και ένας ημιαγωγός τύπου n τοποθετηθούν μαζί, σχηματίζεται μια ένωση p-n (positive-negative). Σε αυτή την ένωση, το πλεόνασμα ηλεκτρονίων της n-περιοχής διαχέεται προς την p-περιοχή. Αυτό δημιουργεί μια περιοχή με λίγους φορείς ελεύθερου φορτίου που ονομάζεται περιοχή φορτίου χώρου (ή περιοχή μετάβασης) (βλ. εικόνα 1.18). Θετικά φορτισμένα άτομα παραμένουν στην n-περιοχή της μετάβασης και αρνητικά φορτισμένα στην p-περιοχή της μετάβασης. Έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο που είναι αντίθετο με την κίνηση των φορέων φορτίου, με αποτέλεσμα η διάχυση να μην συνεχίζεται επ'αόριστον.



Εικόνα 1.18 κρυσταλλική δομή πυριτίου και ενδογενής αγωγιμότητα [5]

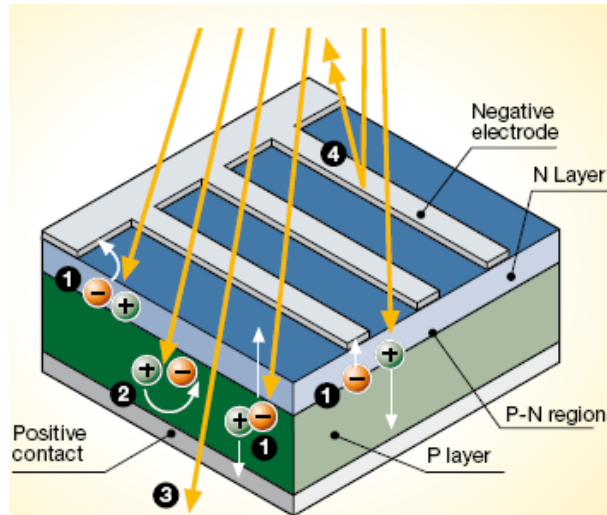
Εάν ο ημιαγωγός τύπου pn (φωτοβολταϊκό στοιχείο) εκτεθεί στο φως, τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια. Αυτή η εισροή ενέργειας σπάει τους δεσμούς των ηλεκτρονίων. Τα απελευθερωμένα ηλεκτρόνια μετακινούνται μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο προς την n-περιοχή. Οι οπές που σχηματίζονται μετακινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, στην p-περιοχή. Αυτή η διαδικασία, στο σύνολό της, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάχυση των φορέων φορτίου στις ηλεκτρικές επαφές προκαλεί την εμφάνιση τάσης στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Χωρίς φορτίο εμφανίζεται η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} , ενώ αν το ηλεκτρικό κύκλωμα είναι κλειστό, αρχίζει να ρέει ηλεκτρικό ρεύμα στο φ/β στοιχείο (εικόνα 1.19).



Εικόνα 1.19 Λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου [9]

Μερικά ηλεκτρόνια δεν φθάνουν στις επαφές και επανασυνδέονται. Η επανασύνδεση αναφέρεται στην ένωση ενός ελεύθερου ηλεκτρονίου με ένα άτομο στο οποίο απουσιάζει ένα εξωτερικό ηλεκτρόνιο (οπή). Μήκος διάχυσης είναι η μέση απόσταση που διανύει ένα ηλεκτρόνιο στο κρυσταλλικό πλέγμα κατά τη διάρκεια της ζωής του μέχρι να συναντήσει μια οπή και να επανασυνδεθεί. Εδώ οι ελεύθεροι φορείς φορτίου χάνονται και δεν μπορούν πλέον να συμβάλλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το μήκος διάχυσης εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων πρόσμιξης στο κρύσταλλο και πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος, έτσι ώστε ένας επαρκής αριθμός φορέων φορτίου να φθάσει στις επαφές. Έξω από την περιοχή φορτίου χώρου, η πιθανότητα επανασύνδεσης αυξάνει ανάλογα με την απόσταση από την περιοχή αυτή.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που είναι υπεύθυνοι για την μείωση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αυτοί σχετίζονται με την επανασύνδεση, όπως αναφέραμε παραπάνω καθώς και με σκιάσεις και ανακλάσεις στις μεταλλικές επαφές που βρίσκονται προς την πλευρά του ήλιου. Επιπλέον μόνο τα φωτόνια με συγκεκριμένο ενεργειακό περιεχόμενο μπορούν να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια σπάζοντας τους δεσμούς τους με τα άτομα του ημιαγωγικού υλικού. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του φωτός (περίπου 55%) δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, είτε γιατί η ενέργεια των φωτονίων είναι μεγαλύτερη από αυτή που χρειάζεται το υλικό, είτε επειδή είναι μικρότερη. Οι λόγοι αυτοί φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 1.20).



Εικόνα 1.20 Λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου Σχόλια: 1 διαχωρισμός φορτίων, 2 επανασύνδεση, 3 αχρησιμοποίητη ενέργεια φωτονίων, 4 ανάκλαση-σκιάσεις από τις άνω επαφές [9]

100% της ηλιακής ενέργειας

- ❖ -3% λόγω ανάκλασης και σκίασης από τις πάνω επαφές
- ❖ -23% λόγω φωτονίων πολύ χαμηλής ενέργειας
- ❖ -32% λόγω φωτονίων πολύ υψηλής ενέργειας
- ❖ -8.5% λόγω επανασύνδεσης
- ❖ -20% λόγω διαφορών στα φβ στοιχεία, (περιοχή φορτίου χώρου)
- ❖ -0.5% λόγω ωμικών απωλειών

=13% απόδοση

1.8 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων

1.8.1 Κρυσταλλικά πλαίσια

Προς το παρόν τα πλαίσια πυριτίου είναι τα πλέον διαδεδομένα και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

❖ Μονοκρυσταλλικά

Τα ομογενή μονοκρυσταλλικά πλαίσια κατασκευάζονται από πυρίτιο υψηλής καθαρότητας. Πρώτα παράγονται κρύσταλλοι διαμέτρου 13-20 εκατοστά και μήκους 200 cm και στη συνέχεια κόβονται σε πλακίδια (wafers) πάχους 200-250 μm.

Το βασικό πλεονέκτημα αυτών των κυττάρων είναι η απόδοσή τους (14 – 17%) μαζί με την μεγάλη διάρκεια διατήρησης της χαρακτηριστικής τους. Μερικοί κατασκευαστές εγγυώνται ότι στα 20 χρόνια λειτουργίας οι απώλειες γήρανσης δεν ξεπερνούν το 10% σε σχέση με την ονομαστική τους απόδοση. Το χρώμα τους είναι συνήθως σκούρο μπλε.

❖ Πολυκρυσταλλικά

Εδώ οι κρύσταλλοι που αποτελούν τα κύτταρα παίρνουν διαφορετικές μορφές και κατευθύνσεις. Τα πλακίδια είναι τετραγωνικής μορφής και έχουν πάχος 180 – 350 μm. Η απόδοσή τους είναι ελαφρώς μικρότερη σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά και κυμαίνεται μεταξύ 12 και 14%. Η διάρκεια της απόδοσης είναι και εδώ σχετικά μεγάλη (περίπου 85% της αρχικής απόδοσης μετά από 20 χρόνια).

Τα κύτταρα που παράγονται από αυτή την τεχνολογία αναγνωρίζονται από την επιφάνειά τους όπου μπορεί κανείς να διακρίνει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές από τις οποίες αποτελούνται.



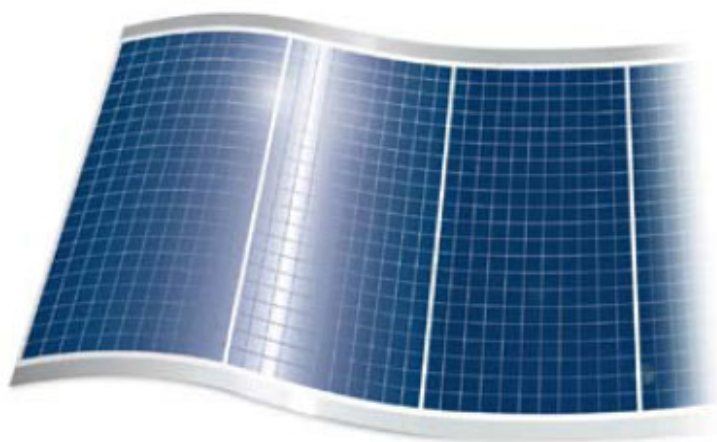
Εικόνα 1.21 Αριστερά: μονοκρυσταλλικό πλαίσιο - Δεξιά: πολυκρυσταλλικό πλαίσιο [9]

Αυτή την περίοδο η τεχνολογία και τα πλαίσια πυριτίου έχουν επικρατήσει στην αγορά φωτοβολταϊκών, σε ποσοστό περίπου 90%. Αυτή η τεχνολογία είναι ώριμη τόσο σε επίπεδο απόδοσης όσο και σε επίπεδο κατασκευαστικού κόστους, οπότε αναμένεται να συνεχίσει να κυριαρχεί στην αγορά στο άμεσο μέλλον. Όσον αφορά στην απόδοση αναμένονται μικρές μόνο βελτιώσεις (μερικά βιομηχανικά προϊόντα δηλώνουν αποδόσεις κοντά στο 18% ενώ το εργοστασιακό ρεκόρ είναι 24,7%, απόδοση που θεωρείται σχεδόν αξεπέραστη), επίσης αναφορικά με το κόστος παραγωγής αναμένεται μικρή μείωση που σχετίζεται με την εισαγωγή στην βιομηχανική διαδικασία μεγαλύτερων και λεπτότερων πλακιδίων καθώς και με την βελτίωση των οικονομιών κλίμακας. Εξ'άλλου η βιομηχανία φωτοβολταϊκών αυτού του τύπου βασίζεται στο πλεόνασμα πυριτίου που προορίζεται για τη βιομηχανία ηλεκτρονικών αλλά, εξ'αίτιας της διαρκούς ανάπτυξης της τελευταίας και της εκθετικής αύξησης της παραγωγής φωτοβολταϊκών, η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών για τον τομέα των φωτοβολταϊκών περιορίζεται ολοένα και περισσότερο.

1.8.2 Πλαίσια άμορφου πυριτίου (amorphous ή thin film)

Το άμορφο πυρίτιο (συμβολίζεται συνήθως ως a-Si) είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Το ενεργειακό του διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του, από 1,2 μέχρι 1,6eV περίπου, σε σύγκριση με 1,1 eV του κρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα του a-Si για φωτοβολταϊκές εφαρμογές σε ηλιακά στοιχεία είναι ότι ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ξεπερνά το 10^4cm^{-1} , είναι δηλαδή πολύ μεγαλύτερος από του κρυσταλλικού πυριτίου. Εκμεταλλευόμενοι αυτή την ιδιομορφία του, μπορούμε να κατασκευάσουμε ηλιακά στοιχεία με ένα λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου πάχους λίγων μόνο μm.

Το a-Si παρασκευάζεται με σχετικά ανέξοδες μεθόδους, σε σύγκριση με το κρυσταλλικό Si. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με τη χρήση των thin films πυριτίου κυμαίνονται για το Φ/Β πλαίσιο από 5 ως 8%. Στην εικόνα 1.5 φαίνεται ένα δείγμα πλαισίου thin film. [6]

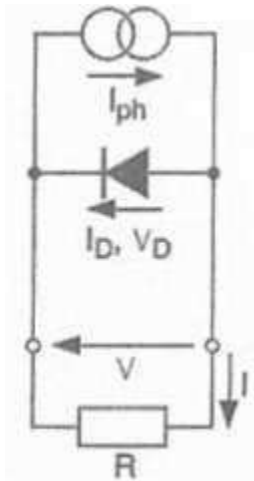


Εικόνα 1.22 Πλαίσιο thin film [9]

1.9 Ηλεκτρικές ιδιότητες φωτοβολταϊκών στοιχείων

1.9.1 Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα

Μία ηλιακή κυψέλη που αποτελείται από ημιαγωγικό υλικό τύπου p και τύπου n είναι, στην πραγματικότητα, μίας μεγάλης κλίμακας δίοδος πυριτίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζουν παρόμοιες ηλεκτρικές ιδιότητες. Στην εικόνα 1.23 φαίνεται το απλοποιημένο κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, το οποίο μας δίνει μια πρώτη εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του:



Εικόνα 1.23 απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα [5]

Ανοικτό κύκλωμα	Κλειστό κύκλωμα
$I_{ph} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{\gamma \cdot k \cdot T}} \right)$	$I_L = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{R_s \cdot I_L}{\gamma \cdot k \cdot T}} - 1 \right)$
$V = V_{oc} \approx \frac{\gamma \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right)$	

Όπου: I_0 = αντίστροφο ρεύμα κόρου
 $q = 1,6 \times 10^{-19}$ C, το φορτίο του ηλεκτρονίου
 T = η απόλυτη θερμοκρασία σε kelvin
 γ = ο συντελεστής ποιότητας διόδου
 $k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K, η σταθερά Boltzmann
 V = η τάση ανοικτού κυκλώματος

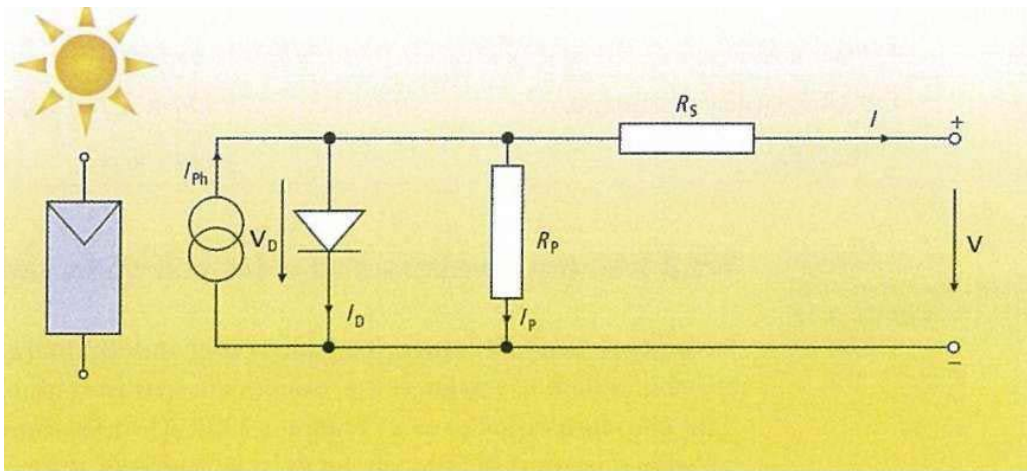
Το μέγεθος: $\mu = \frac{\gamma \cdot k \cdot T}{q}$ ονομάζεται θερμική τάση (V)

Στην οριακή περίπτωση που οι ακροδέκτες βραχυκυκλώνονται τότε το μέγιστο ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , το οποίο μαζί με την τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά του Φ/Β στοιχείου.

1.9.2 Πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα

Το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.24, αποτελεί μια σωστότερη προσέγγιση. Σ' αυτό περιλαμβάνονται και οι αντιστάσεις σειράς R_s καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις R_p . Στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, καθώς οι φορείς φορτίου κινούνται από τον ημιαγωγό προς τις επαφές, εμφανίζεται μία πτώση τάσης που περιγράφεται από τις αντιστάσεις σειράς R_s . Επίσης εμφανίζονται διαρροές ρεύματος που περιγράφονται από τις παράλληλες αντιστάσεις R_p . Όπως είναι αναμενόμενο, αυτές οι πρόσθετες αντιστάσεις μειώνουν την απόδοση του Φ/Β στοιχείου.

$$\text{Ισχύει ότι } I_L = I_{ph} - I_0 \cdot \left[e^{\frac{V_L + (R_s \cdot I_L)}{\mu}} - 1 \right] \text{ (Για } R_p \rightarrow \infty \text{)}$$

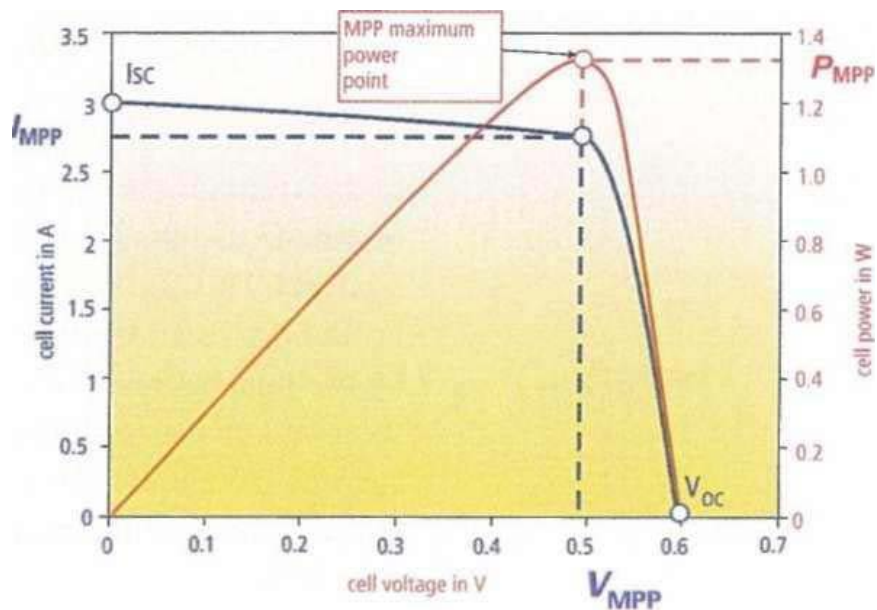


Εικόνα 1.24 πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου [5]

1.9.3 I-V χαρακτηριστική και STC

Ένα πολύ σημαντικό διάγραμμα για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η I-V χαρακτηριστική τους. Για να μεγιστοποιηθεί η αποδιδόμενη ισχύς απαιτείται μια ορισμένη τιμή της αντίστασης R_L , που αντιστοιχεί στο Σημείο Μεγίστης Ισχύος (MPP), όπως φαίνεται στην εικόνα 1.25. Αυτή η μέγιστη ισχύς προκύπτει από το μέγιστο εμβαδό που μπορεί να εγγραφεί μέσα στην I-V χαρακτηριστική, και μέσα από το εμβαδό αυτό ορίζεται ένα ακόμα πολύ βασικό χαρακτηριστικό του Φ/Β στοιχείου, ο παράγοντας πλήρωσης (FF). Οι τιμές του ρεύματος και της τάσης που αντιστοιχούν στην μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ συμβολίζονται με I_m και V_m αντίστοιχα, και ο παράγοντας πλήρωσης ορίζεται ως:

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{sc}}$$



Εικόνα 1.25 I-V χαρακτηριστική του Φ/Β στοιχείου [5]

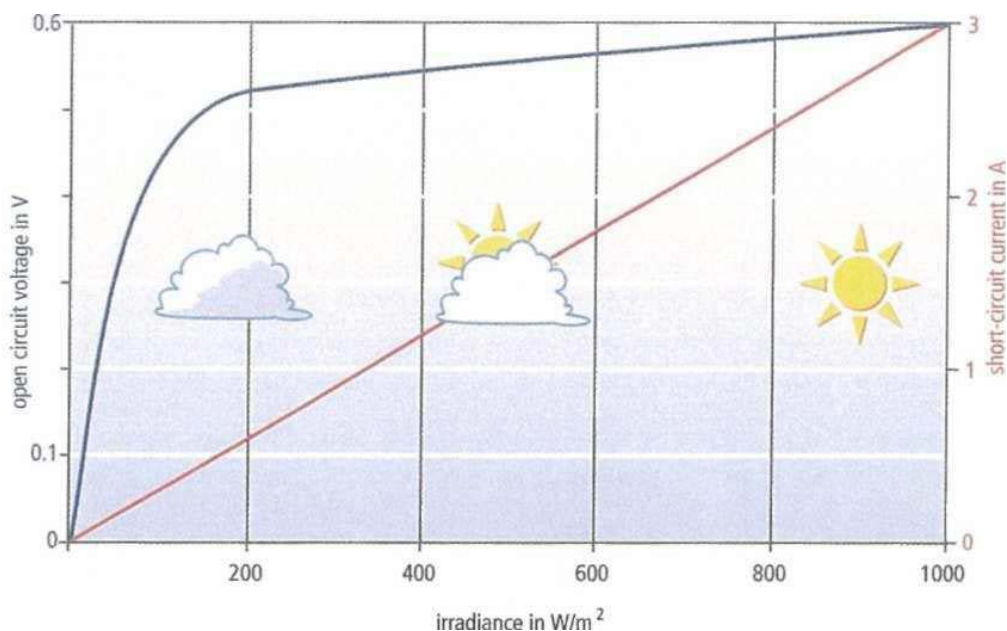
Για να είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε διαφορετικά Φ/Β στοιχεία ή πλαίσια μεταξύ τους, έχουν καθοριστεί μερικές ενιαίες συνθήκες για τον καθορισμό των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών σύμφωνα με τα οποία υπολογίζεται η I-V χαρακτηριστική. Αυτές οι συνθήκες, όπως καθορίστηκαν κατά τα πρότυπα IEC 60904/DIN EN 60904 είναι:

- ❖ Κάθετη ακτινοβολία 1000W/m^2
- ❖ Θερμοκρασία Φ/Β στοιχείου 25°C με ανοχή 2°C
- ❖ $AM = 1,5$

Η I-V καμπύλη χαρακτηρίζεται από τα εξής σημεία:

- ❖ Το Σημείο Μέγιστης Ισχύος (MPP). (Δίνεται σε W_p)
- ❖ Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} είναι 5-15% μεγαλύτερο από το I_m (ρεύμα MPP). Το I_{sc} ισούται περίπου με 3A για τα συνηθισμένα κρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία
- ❖ Η τάση ανοικτοκύκλωσης V_{oc} είναι, για τα κρυσταλλικά στοιχεία, περίπου 0,5 ως 0,6 ενώ για τα άμορφα 0,6 ως 0,9.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαρτάται γραμμικά από την ηλιακή ακτινοβολία (διπλασιασμός της ακτινοβολίας επιφέρει διπλασιασμό του ρεύματος). Από την άλλη η τάση ανοικτοκύκλωσης παραμένει σχετικά σταθερή καθώς αλλάζει η ακτινοβολία. Μόνο όταν η ακτινοβολία πέσει κάτω από τα 100W/m^2 μειώνεται απότομα η τάση. Η εξάρτηση μεταξύ τάσης και ακτινοβολίας είναι λογαριθμική στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ο παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο την τάση είναι η θερμοκρασία.



Εικόνα 1.26 Εξάρτηση I_{sc} και V_{oc} από την ηλιακή ακτινοβολία [5]

1.10 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- ❖ αυτόνομα
- ❖ διασυνδεδεμένα

1.10.1 Αυτόνομα συστήματα

Αυτόνομα συστήματα είναι τα συστήματα που δεν είναι συνδεδεμένα με το κεντρικό δίκτυο και αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) που εγγυώνται την παροχή ηλεκτρισμού ακόμα και όταν ο φωτισμός είναι ασθενής ή έχει σκοτάδι. Εφ' όσον η φωτοβολταϊκή γεννήτρια παράγει συνεχές ρεύμα, αν ο χρήστης του συστήματος επιθυμεί εναλλασσόμενο τότε είναι απαραίτητη η χρήση αντιστροφέα.

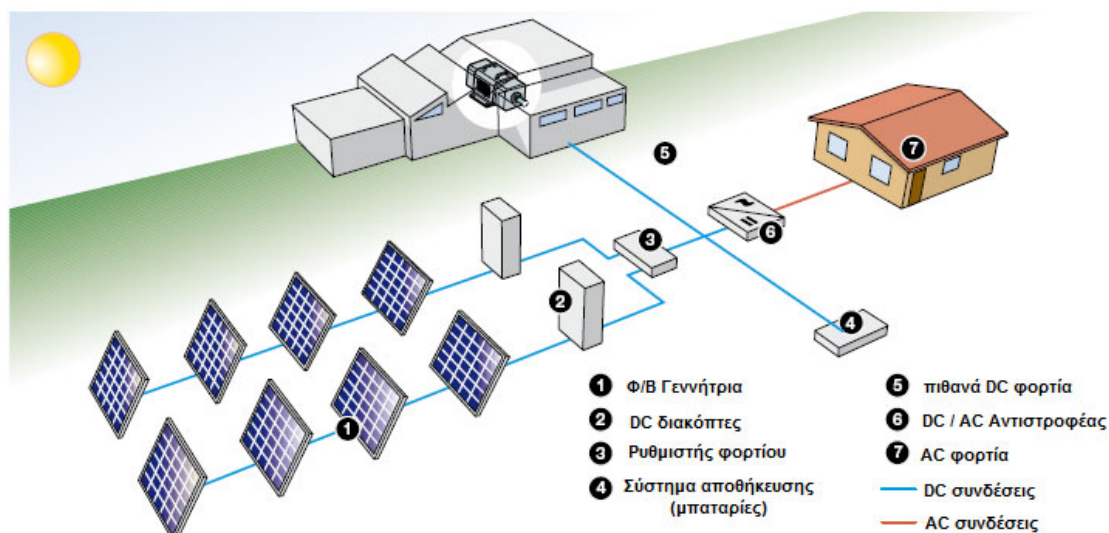
Αυτά τα συστήματα είναι πλεονεκτικά από τεχνικής και οικονομικής άποψης όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο ή όταν η σύνδεση με αυτό δεν είναι αρκετά εύκολη. Συνήθως βρίσκουν εφαρμογή σε:

- ❖ ραδιοφωνικούς αναμεταδότες, παρατηρητήρια καιρικών και σεισμικών συνθηκών και σταθμούς μετάδοσης δεδομένων
- ❖ συστήματα σήμανσης και φωτισμού σε δρόμους, λιμάνια και αεροδρόμια
- ❖ διαφημιστικές εγκαταστάσεις
- ❖ καταφύγια σε μεγάλα υψόμετρα
- ❖ κάμπινγκ



Εικόνα 1.27 Τυπικές εφαρμογές αυτόνομου Φ/Β συστήματος [5]

Στην εικόνα 1.6 παρουσιάζονται κάποιες τυπικές εφαρμογές αυτόνομων Φ/Β συστημάτων ενώ στην εικόνα 1.7 φαίνεται μία τυπική διάταξη ενός τέτοιου συστήματος. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια παράγει DC ρεύμα το οποίο τροφοδοτεί τυχόν DC φορτία. Κατ'όπιν ο αντιστροφείας μετατρέπει το DC ρεύμα σε AC με αποτέλεσμα να τροφοδοτούνται τα συνηθισμένα AC φορτία που χρήστη (π.χ. οικιακά).



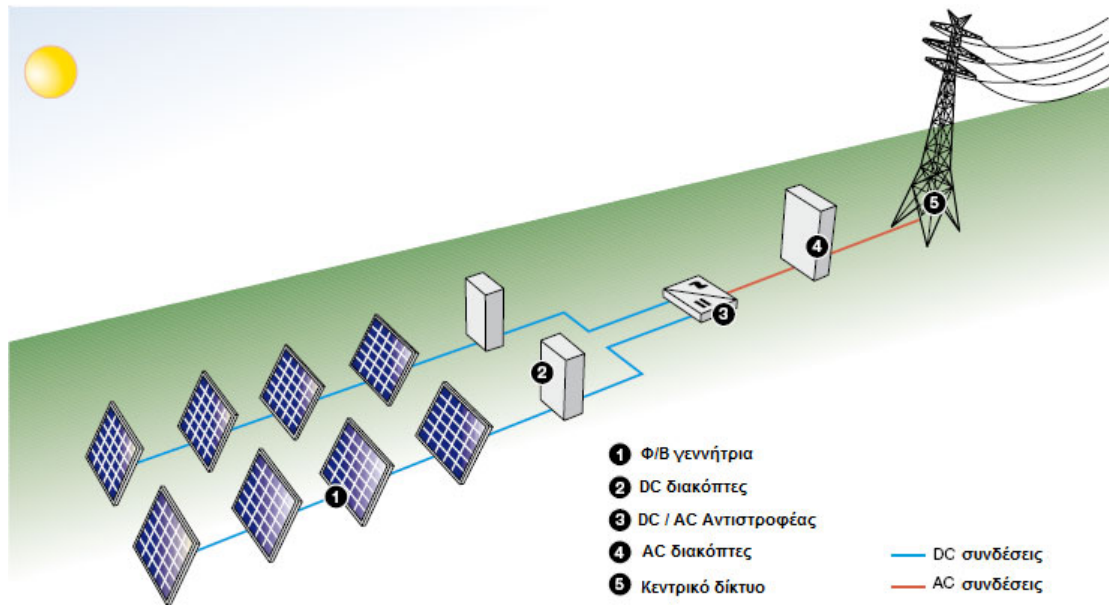
Εικόνα 1.28 Αυτόνομο Φ/Β σύστημα [9]

1.10.2 Διασυνδεδεμένα συστήματα

Αποτελείται από μία συστοιχία Φ/Β στοιχείων, η οποία μέσω ενός αντιστροφεία είναι διασυνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο. Συνήθως σε εφαρμογές μικρής εγκατεστημένης ισχύος, όπου τα φωτοβολταϊκά πρέπει να καλύψουν συγκεκριμένο φορτίο, το δίκτυο χρησιμοποιείται ως μέσο για την προσωρινή αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Σε κεντρικά συστήματα μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος, η παραγόμενη από τα Φ/Β ενέργεια παρέχεται απ'ευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσωπική όπως και για επαγγελματική χρήση (ιδιωτικές κατοικίες, γραφεία, εργοστάσια, σταθμούς παραγωγής ρεύματος κ.λ.π) [6].

Στην εικόνα 1.8 φαίνεται μια τυπική διάταξη ενός διασυνδεδεμένου συστήματος. Ο αντιστροφείας μετατρέπει το DC ρεύμα σε AC, το οποίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού δικτύου (σε ένταση, συχνότητα κ.λ.π., όπως αναλύουμε σε επόμενο κεφάλαιο). Στη συνέχεια τροφοδοτείται, μέσω κατάλληλων διακοπών, στο κεντρικό δίκτυο, είτε σε επίπεδο διανομής για τα μικρά, οικιακά έργα, είτε στη μέση τάση για τα μεγαλύτερα έργα σε γήπεδα και αγροτεμάχια.



Εικόνα 1.29 Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα [9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Διοικητικό, Οικονομικό & Νομικό Πλαίσιο Εγκαταστάσεων Ηλιακής Ενέργειας Στην Ελλάδα

2.1 Γενικά

Το 1985 ψηφίστηκε ο πρώτος νόμος που αφορά σε θέματα ηλεκτροπαραγωγής από εναλλακτικές μορφές ενέργειας, γεγονός που αποτέλεσε το εφαλτήριο για την ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα. Από τότε ακολούθησαν πολλοί νόμοι, διατάγματα και υπουργικές αποφάσεις που ήρθαν να συμπληρώσουν, να αλλάξουν και να επεκτείνουν το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο στο χώρο των Α.Π.Ε. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχετικές νομοθετικές διατάξεις σε χρονολογικά σειρά από το 1985 έως σήμερα:

- ❖ **Νόμος 1559/1985:** “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”.
- ❖ **Νόμος 2244/1994:** “Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις”.
- ❖ **Νόμος 2773/1999:** “Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις”.
- ❖ **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”.
- ❖ **ΥΑ 1726/2003:** “Διαδικασία προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης, έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, καθώς και έγκρισης επέμβασης ή παραχώρησης δάσους ή δασικής έκτασης στα πλαίσια της έκδοσης άδειας εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”
- ❖ **Νόμος 3468/2006:** “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις”
- ❖ **Νόμος 3734/2009:** “Προώθηση της συμπαγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις”.
- ❖ **Νόμος 3851/2010:** “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”.

Επισημαίνεται ότι από το νόμο 3468/2006 και μετά αρχίζει να αυξάνεται το επενδυτικό ενδιαφέρον των ιδιωτών για τα φωτοβολταϊκά, κυρίως λόγω των ευνοϊκών ρυθμίσεων που τίθενται σε εφαρμογή. Αρχικά τα κίνητρα που δόθηκαν από το κράτος σε υποψήφιους επενδυτές ήταν η επιδότηση του φωτοβολταϊκού πάρκου με σημαντικό μέρος των κεφαλαίων αγοράς και εγκατάστασης.

Πρόσφατα (Ιούνης 2010) ψηφίστηκε ο βασικός νόμος **3851/4.6.2010** ο οποίος εναρμονίζει την ελληνική νομοθεσία Α.Π.Ε. με την οδηγία 2009/28/EK(EEL, 140/2009). Σύμφωνα με αυτή, τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης καλούνται να προωθήσουν και να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.). Συγκεκριμένα καθορίζεται:

- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.
- Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%.
- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.
- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%.»

Επίσης απλοποιούνται οι παλιότερες διαδικασίες αδειοδότησης και τίθενται νέες τιμές για την παραγόμενη κιλοβατώρα (KWh). Τα θέματα αυτά θα αναλυθούν παρακάτω.

Σύμφωνα με το πρόσφατο **ΦΕΚ Β'1630/11.10.2010** καθορίζονται τα ποσοστά διείσδυσης για την κάθε μορφή Α.Π.Ε. σε εθνικό επίπεδο και με χρονικό ορίζοντα ως το 2020. Τονίζεται εδώ ότι από την κοινοτική νομοθεσία προβλέπεται η δυνατότητα αναθεώρησης των ενδεικτικών στόχων για κάθε τεχνολογία ανά διετία ή και νωρίτερα αν χρειαστεί. Όπως γίνεται φανερό από τον Πίνακα 2.1., ο εθνικός στόχος για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών τίθεται στα 1.500 MW ως το 2014 και στα 2.200 MW ως το 2020. Από την ισχύ αυτή έχει αποφασισθεί ότι τα 750 MW θα δοθούν στους κατ'επάγγελμα αγρότες (500 MW ως το 2014 και 750 έως το 2020).

Όρια σε MW για τις διάφορες τεχνολογίες Α.Π.Ε.

Έτος	2014	2020
Υδροηλεκτρικά	3700	4650
Μικρά (0-15MW)	300	350
Μεγάλα (>15MW)	3400	4300
Φωτοβολταϊκά	1500	2200
Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες αγρότες έργων <100 KW	500	750

Λοιπές Εγκαταστάσεις	1000	1450
Ηλιοθερμικά	120	250
Αιολικά (περιλαμβανομένων θαλασσίων)	4000	7500
Βιομάζα	200	350

Πίνακας 2.1. Όρια για κάθε τεχνολογία Α.Π.Ε. στην Ελλάδα

2.2 Διοικητικό πλαίσιο

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, από το νόμο **3851/2010** απορρέουν, εκτός από τους γενικούς εθνικούς στόχους για τις Α.Π.Ε., το γενικότερο διοικητικό πλαίσιο που διέπει τις συνδιαλλαγές και τις υποχρεώσεις μεταξύ του επενδυτή και των αρμόδιων δημόσιων φορέων για την υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι διαδικασίες αδειοδότησης απλοποιούνται:

- ❖ **Άδεια Παραγωγής:** δεν απαιτείται πλέον άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση για φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος έως 1 MWp. Αντιθέτως, για φωτοβολταϊκά συστήματα >1 MWp απαιτείται άδεια παραγωγής την οποία στο εξής εκδίδει η Ρυμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.). Παλιότερα (νόμος 3468/2006) την άδεια παραγωγής εξέδιδε ο Υπουργός Ανάπτυξης.
- ❖ **Άδεια Εγκατάστασης & Άδεια Λειτουργίας:** Για τα συστήματα που απαιτείται άδεια παραγωγής, απαιτείται επίσης η έκδοση άδειας εγκατάστασης και άδειας λειτουργίας (οι οποίες εκδίδονται από την αρμόδια Περιφέρεια) όπως και στο παρελθόν.
- ❖ **Περιβαλλοντική Αδειοδότηση & Ε.Π.Ο.:** Δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια και οργανωμένους υποδοχείς βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Για συστήματα που εγκαθίστανται σε γήπεδα (οικόπεδα και αγροτεμάχια), δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για συστήματα έως 500 kWp εφόσον πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Για τα συστήματα αυτά, απαιτείται ειδική περιβαλλοντική εξαίρεση (“βεβαίωση απαλλαγής από ΕΠΟ”) από την αρμόδια Περιφέρεια, η οποία, σύμφωνα με το νόμο, δίνεται σε 20 μέρες από την υποβολή της σχετικής αίτησης. Για όσα συστήματα εγκαθίστανται σε γήπεδα, απαιτείται ΕΠΟ εφόσον εγκαθίστανται
 - A) σε περιοχές Natura, παράκτιες ζώνες (100μ από οριογραμμή αιγιαλού) και
 - B) σε γήπεδα που γειτνιάζουν σε απόσταση μικρότερη από 150 μέτρα, με άλλο γήπεδο για το οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση ΕΠΟ ή Προσφορά Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού με συνολική ισχύ των σταθμών μικρότερη από 500 kWp.
- ❖ **Οικοδομική Άδεια & έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας:** Δεν απαιτείται οικοδομική άδεια για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας. Για φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια και έχουν ισχύ έως 100 kWp, δεν απαιτείται ούτε αυτή η έγκριση εργασιών

δόμησης μικρής κλίμακας, αλλά αρκεί πλέον μια απλή γνωστοποίηση προς τη ΔΕΗ ότι ξεκινά η εγκατάσταση. Η ευνοϊκή αυτή ρύθμιση αφορά τον οικιακό τομέα καθώς και τα μικρά και μεσαία συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια επιχειρήσεων.

- ❖ **Προθεσμίες:** Χρονικές προθεσμίες καθορίζονται για όλες τις διαδικασίες αδειοδότησης ή εξαίρεσης από αυτές, γεγονός αρκετά θετικό καθ'ότι οριοθετείται το χρονικό πλαίσιο τόσο των γραφειοκρατικών διεργασιών όσο και της εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος Α.Π.Ε. Επίσης ορίζεται ότι οι αποφάσεις σχετικά με τις αδειοδοτήσεις θα αναρτώνται στην ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής.
- ❖ **Ειδικές διατάξεις για οικόπεδα:** Απαγορεύεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια της Αττικής που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, καθώς και σε περιοχές της Επικράτειας που έχουν ήδη καθοριστεί ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας από εγκεκριμένα Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια (Γ.Π.Σ.) ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης (Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π.), καθώς και Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου (Ζ.Ο.Ε).

Διοικητικό πλαίσιο φωτοβολταϊκών στον κτιριακό τομέα

ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	εγκατεστημένη ισχύς
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης συμψηφισμού με τη Δ.Ε.Η. ➤ Γνωστοποίηση προς τη Δ.Ε.Η. της έναρξης εγκατάστασης 	< 10 KWp
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. ➤ Γνωστοποίηση προς τη Δ.Ε.Η. της έναρξης εγκατάστασης 	10 – 100 KWp
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. 	100 – 1.000 KWp
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έκδοση άδειας παραγωγής από Ρ.Α.Ε. ➤ Έκδοση άδειας εγκατάστασης από αρμόδια Περιφέρεια ➤ Έκδοση άδειας λειτουργίας από αρμόδια Περιφέρεια ➤ Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. 	> 1MWp

Πίνακας 2.2. Φ/Β στον κτιριακό τομέα – το γαλάζιο χρώμα αφορά στο ειδικό πρόγραμμα για στέγες <10 Kw

Στον πίνακα 2.2. παρουσιάζονται συνοπτικά οι απαιτούμενες ενέργειες για τη εγκατάσταση και λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο. Το γαλάζιο χρώμα αφορά στο ειδικό πρόγραμμα για στέγες του οποίου περαιτέρω λεπτομέρειες θα αναπτυχθούν παρακάτω. Να τονίσουμε ότι τα στοιχεία του πίνακα 2.2. έχουν να κάνουν μόνο με το ηπειρωτικό δίκτυο καθ'ότι τα αυτόνομα (μη διασυνδεδεμένα) νησιωτικά δίκτυα θεωρούνται κορεσμένα και θα υπάρξουν κατά καιρούς ειδικές ρυθμίσεις για αυτά. Τέλος, παρ'ότι στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής θα εξετάσουμε φωτοβολταϊκό σύστημα σε κτίριο, για λόγους πληρότητας παραθέτουμε τον πίνακα 2.3. που αφορά σε οικόπεδα:

Διοικητικό πλαίσιο φωτοβολταϊκών σε γήπεδα

ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	εγκατεστημένη ισχύς
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) – χορήγηση από αρμόδια Περιφέρεια ➤ Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. 	< 500 KWp
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων από αρμόδια Περιφέρεια ➤ Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. 	500 – 1.000 KWp
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Έκδοση άδειας παραγωγής από Ρ.Α.Ε. ➤ Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων από αρμόδια Περιφέρεια ➤ Έκδοση άδειας εγκατάστασης από αρμόδια Περιφέρεια ➤ Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία ➤ Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ➤ Υπογραφή σύμβασης αγοραπωλησίας με Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. ➤ Έκδοση άδειας λειτουργίας από αρμόδια Περιφέρεια 	> 1MWp

Πίνακας 2.3. Φ/Β σε γήπεδα (οικόπεδα και αγροτεμάχια)

2.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό-κτιριακό τομέα

Το νομοθετικό πλαίσιο για την εγκατάσταση και λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα καθορίζεται από τους παρακάτω νόμους:

- **ΦΕΚ Β'1079/2009:** “Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων”.
- **ΦΕΚ Α.Α.Π 376/06.09.2010:** “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικοπέδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς”.
- **ΦΕΚ Β'1557/22.09.2010:** “Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις”.

Από την 1^η Ιουλίου 2009 τέθηκε σε ισχύ (ΦΕΚ Β'1079/2009) ένα ειδικό πρόγραμμα για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια. Ειδικότερα για εγκαταστάσεις με ισχύ έως 10KW καθορίστηκε η ιδιαίτερα ευνοϊκή τιμή των 0,55€ / KWh, τιμή αρκετά υψηλή αν αναλογιστεί κανείς ότι η Δ.Ε.Η. πουλάει στους καταναλωτές σε τιμές της τάξης του 0,1€ / KWh.

Σημαντικές αλλαγές φέρνει το πρόσφατο **ΦΕΚ Β'1557/2010:** Πλέον το Πρόγραμμα αφορά, πέρα από οικιακούς καταναλωτές και μικρές επιχειρήσεις, Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου και Ιδιωτικού Δικαίου, δηλ. δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς (π.χ. σχολείο). Για να ενταχθούν στο Πρόγραμμα, θα πρέπει να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Συνοπτικά οι προϋποθέσεις ένταξης στο Πρόγραμμα αυτό είναι παρατίθενται στον πίνακα 2.4.

Επίσης από τον Σεπτέμβριο του 2010, το Πρόγραμμα αφορά όλη την Επικράτεια. Συγκεκριμένα ως μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο πλαίσιο αυτό ορίζεται, για την ηπειρωτική χώρα, τα Διασυνδεδεμένα με το Σύστημα Νησιά και την Κρήτη τα 10 kWp και για τα λοιπά Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά τα 5 kWp (πίνακας 2.5).

Προϋποθέσεις ένταξης στο ειδικό πρόγραμμα

❖ Οικιακά συστήματα
1. Ύπαρξη μετρητή ΔΕΗ στο όνομα του ενδιαφερόμενου
2. Κάλυψη μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό από Α.Π.Ε. (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, γεωθερμία)
❖ Επιχειρήσεις
1. Να μην έχει πάρει η επιχείρηση άλλη επιδότηση για το ΦΒ από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα

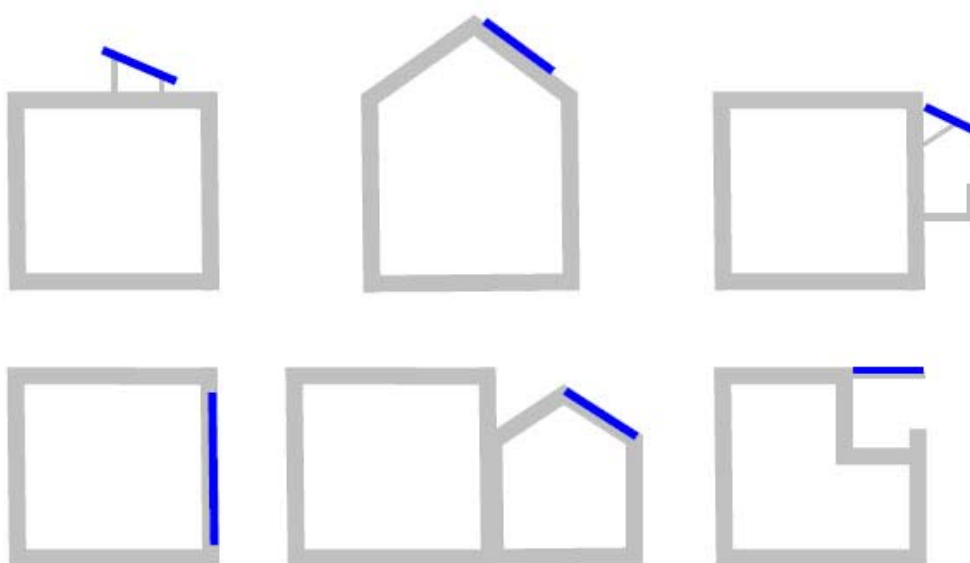
Πίνακας 2.4. Προϋποθέσεις

Μέγιστη ισχύς ΦΒ συστημάτων ανά την επικράτεια

Ηπειρωτική χώρα, Διασυνδεδεμένα νησιά και Κρήτη	10 KW
Λοιπά μη-διασυνδεδεμένα νησιά	5 KW

Πίνακας 2.5. Μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς για την ένταξη στο ειδικό πρόγραμμα

Μια ακόμα πολύ σημαντική αλλαγή που φέρνει το ΦΕΚ Β'1557/2010 είναι ότι επιτρέπει την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων όχι μόνο στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, αλλά και σε **στεγάστρα βεραντών, προσόψεις και σκιάστρα**, καθώς και σε **βοηθητικούς χώρους** του κτιρίου, όπως **αποθήκες και χώρους στάθμευσης**. Στην εικόνα 2.1. φαίνονται οι διαφορετικοί τρόποι εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό – κτιριακό τομέα:

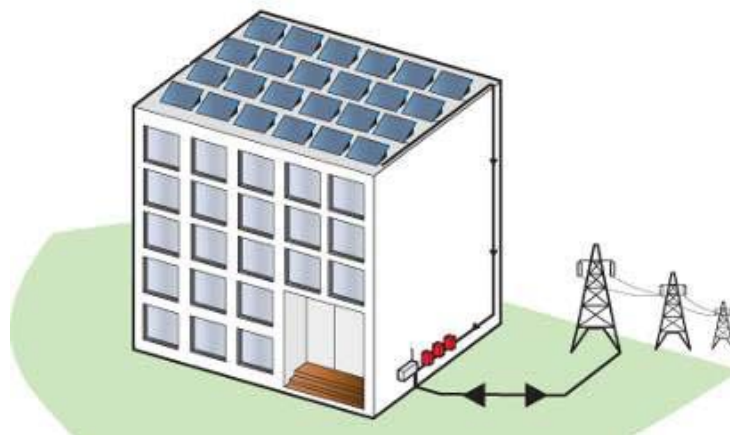


Εικόνα 2.1. Τρόποι εγκατάστασης Φ/Β συστήματος σε κτίριο [1]



Εικόνα 2.2. Τρόποι εγκατάστασης Φ/Β συστήματος σε κτίριο [1]

Για τις πολυκατοικίες θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι. Είτε να συμφωνήσουν εγγράφως οι υπόλοιποι ιδιοκτήτες, είτε το φωτοβολταϊκό να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών (τους οποίους στην περίπτωση αυτή εκπροσωπεί ο διαχειριστής). Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει ένα μόνο σύστημα. Αν η ταράτσα είναι κοινόκτητη και οι κύριοι του χώρου αυτού θέλουν να την παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη του κτιρίου που δεν έχει δικαιώματα στην ταράτσα, μπορούν να το κάνουν. Αν το σύστημα μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπου περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.



Εικόνα 2.3. Φ/Β σε πολυκατοικία [4]

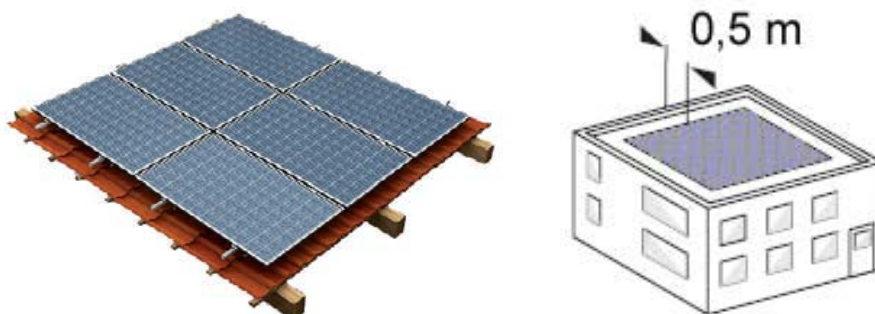
Τέλος το **ΦΕΚ Α.Α.Π 376/06.09.2010** καθορίζει κάποια ακόμα σημεία σχετικά με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια:

Επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου σε χαρακτηρισμένους **παραδοσιακούς οικισμούς**, ιστορικά τμήματα πόλεων και **διατηρητέα κτίρια** μετά από έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας. Η έγκριση χορηγείται ύστερα από γνωμοδότηση της αρμόδιας **Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.)**

Θέτει επίσης κάποιους **πολεοδομικούς όρους**:

1. Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων και ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου και του φρεατίου ανελκυστήρα.
2. Η διάταξη των φωτοβολταϊκών 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 κτιρίου.
3. Αν τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα ηλιακά συστήματα ψύξης και θέρμανσης χώρου τοποθετούνται στο δώμα του κτιρίου, οι αποστάσεις από το στηθαίο του δώματος θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 0,50 μ. για λόγους ασφαλείας.

Τονίζουμε την ιδιαίτερη σημασία των όρων 2,3: **Δεν απαιτείται πλέον τα φωτοβολταϊκά να απέχουν από το περίγραμμα της στέγης κατά 0,5m όπως ίσχυε σύμφωνα με τον προηγούμενο νόμο. Αρκεί μόνο το σύστημα να βρίσκεται εντός της στέγης.** Επίσης, στην περίπτωση της ταράτσας, **η απόσταση που πρέπει να απέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα από το στηθαίο μειώνεται από 1m σε 0,5m.** Οι αλλαγές αυτές αυξάνουν αισθητά την περιοχή της στέγης ή της ταράτσας που είναι διαθέσιμη για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και φαίνονται στην εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4. Πολεοδομικοί όροι για ταράτσες και στέγες [4]

2.3.1 Διαδικασία σύνδεσης ΦΒ συστημάτων <10KW στα πλαίσια του Ειδικού Προγράμματος Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις

<p>I. Υποβολή αίτησης σύνδεσης στην τοπική μονάδα Δικτύου της ΔΕΗ (Περιοχή) Επισυνάπτονται τα έγγραφα και στοιχεία με αριθμό 1 ως 9 του εντύπου αίτησης (το έντυπο αυτό διατίθεται από τη ΔΕΗ). <u>Προϋπόθεση είναι ο ενδιαφερόμενος να έχει ήδη επιλέξει τον τύπο του εξοπλισμού που θα εγκαταστήσει και να έχει εκπονηθεί η σχετική τεχνική μελέτη.</u> Η ΔΕΗ, αφού εξετάσει το αίτημα, προβαίνει σε έγγραφη διατύπωση προσφοράς σύνδεσης εντός 20 ημερών από την παραλαβή της αίτησης. Αυτή περιλαμβάνει την περιγραφή και τη δαπάνη των έργων σύνδεσης και ισχύει για 3 μήνες από την ημερομηνία έκδοσής της.</p>
<p>II. Υποβολή αίτησης κατάρτισης της Σύμβασης Σένδεσης στην Περιοχή ΔΕΗ Στην αίτηση θα αναφέρεται ότι γίνεται δεκτή η Προσφορά Σύνδεσης και κατά περίπτωση είτε θα επισυνάπτεται η έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας, είτε θα επισυνάπτονται δύο Υπεύθυνες Δηλώσεις του Ν. 1599/86 του κυρίου του φωτοβολταϊκού και του υπεύθυνου για την εγκατάσταση μηχανικού.</p>
<p>III. Υποβολή της Σύμβασης Σύνδεσης με ταυτόχρονη καταβολή της σχετικής δαπάνης στην Περιοχή ΔΕΗ Η ΔΕΗ κατασκευάζει τα έργα σύνδεσης εντός 20 ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης, εφ'όσον δεν απαιτούνται νέα έργα Δικτύου (πέραν της εγκατάστασης νέου μετρητή).</p>
<p>IV. Υποβολή αίτησης κατάρτισης της Σύμβασης Συμψηφισμού στην τοπική υπηρεσία Εμπορίας της ΔΕΗ.</p>
<p>V. Υποβολή της Σύμβασης Συμψηφισμού Η Σύμβαση υπογράφεται εντός 15 ημερών από την ημερομηνία παραλαβής του αιτήματος.</p>
<p>VI. Υποβολή αίτησης ενεργοποίησης της σύνδεσης στην Περιοχή ΔΕΗ Επισυνάπτονται τα έγγραφα και στοιχεία με αριθμό 12 ως 14 του εντύπου αίτησης που διατίθεται από τη ΔΕΗ. Προϋποθέσεις είναι η ετοιμότητα της εγκατάστασης και η ολοκλήρωση των έργων σύνδεσης. Η ΔΕΗ ειδοποιεί τηλεφωνικά τον ενδιαφερόμενο για τον ορισμό ημερομηνίας διενέργειας του ελέγχου της εγκατάστασης.</p>
<p>VII. Ενεργοποίηση της σύνδεσης Γίνεται αμέσως μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου.</p>

Πίνακας 2.6. Διαδικασία σύνδεσης Φ/Β συστημάτων που εντάσσονται στο Ειδικό Πρόγραμμα [3]

Στον πίνακα 2.6. παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαδικασίες σύνδεσης ΦΒ συστήματος που εντάσσεται στο Ειδικό Πρόγραμμα.

Κομβικά σημεία Σύμβασης Συμψηφισμού

❖ Διάρκεια ζωής

Η σύμβαση συμψηφισμού που υπογράφεται μεταξύ του Προμηθευτή και του κυρίου του φωτοβολταϊκού συστήματος έχει διάρκεια 25 έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του Φ/Β συστήματος.

Η Σύμβαση Συμψηφισμού λύεται αυτοδικαίως με την παρέλευση του διαστήματος των 25 ετών. Σε περίπτωση που ο κύριος του Φ/Β συστήματος αλλάξει προμηθευτή τότε λυέται η σύμβαση αυτοδικαίως και συνάπτεται νέα σύμβαση συμψηφισμού για το υπολειπόμενο εκ των 25 ετών διάστημα. Τυχόν λύση της Σύμβασης Προμήθειας επιφέρει αυτοδικαίως και τη λύση της Σύμβασης Συμψηφισμού. Ουσιαστικά ο κύριος του Φ/Β συστήματος οφείλει να τηρήσει τα όσα αναφέρει ο πίνακας 3.7. παρακάτω, που είναι απόρροια της Σύμβασης Συμψηφισμού:

Υποχρεώσεις από την πλευρά του κυρίου του Φ/Β συστήματος
I. Έχει συνάψει και διατηρεί τη Σύμβαση Σύνδεσης και τη Σύμβαση Προμήθειας
II. Να μην προβαίνει σε μεταβολές της ισχύος του φωτοβολταϊκού συστήματος, χωρίς προηγούμενη ενημέρωση του προμηθευτή.
III. Να μην παρεμβαίνει στην εγκατάσταση και λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος, πλην των απαραίτητων εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών.
IV. Να ενημερώνει άμεσα και επιμελώς τον προμηθευτή για οποιαδήποτε διακοπή της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των πέντε (5) ημερών, που δεν οφείλεται σε γεγονός ανωτέρας βίας.
V. Να ενημερώνει άμεσα και επιμελώς τον προμηθευτή για κάθε θέμα που επηρεάζει την ομαλή εκπλήρωση των υποχρεώσεων από την σύμβαση.

Πίνακας 2.7. Υποχρεώσεις κυρίου Φ/Β συστήματος από Σύμβαση Συμψηφισμού

❖ Παραγόμενη ενέργεια και λογαριασμοί – πληρωμές

Η πίστωση από την παραγόμενη ενέργεια Φ/Β συστήματος εμφανίζεται στο λογαριασμό ρεύματος του κυρίου του Φ/Β συστήματος. Το ποσό της πίστωσης συμψηφίζεται με τις χρεώσεις που προκύπτουν από τη Σύμβαση Προμήθειας ηλεκτρικού ρεύματος με τη ΔΕΗ, δηλαδή με τον κανονικό λογαριασμό της κατανάλωσης ρεύματος. Στην περίπτωση που ο συνολικός λογαριασμός είναι πιστωτικός, δηλαδή το ποσό λόγω πώλησης της παραγόμενης από το Φ/Β ενέργειας προς τη ΔΕΗ υπερβαίνει το ποσό που χρωστάται λόγω κατανάλωσης ηλ. ρεύματος, το ποσό αυτό πιστώνεται στον τραπεζικό λογαριασμό του κυρίου του Φ/Β συστήματος στην ημερομηνία λήξης του λογαριασμού ρεύματος.

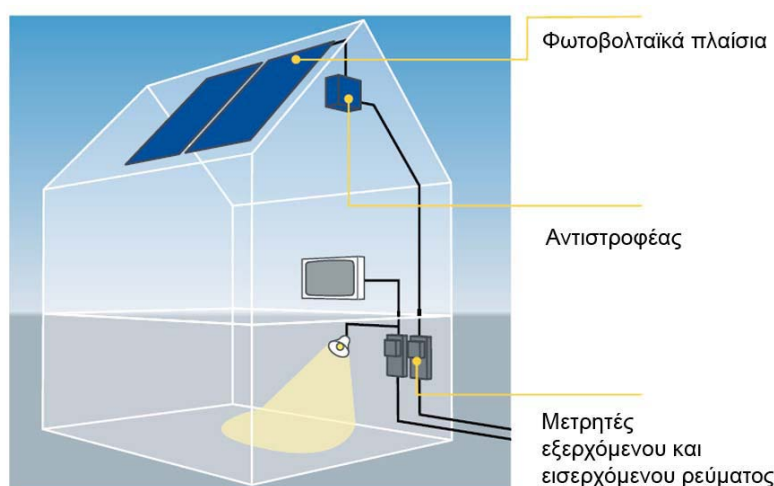
Ως παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β σύστημα θεωρείται η παραγόμενη ενέργεια μείον τη μικρή απορροφούμενη ενέργεια για ίδια κατανάλωση από τον inverter τη νύχτα και τυχόν συνοδευτικό εξοπλισμό (π.χ. κάμερα, συναγερμός). Για το λόγο αυτό

ο μετρητής του Φ/Β συστήματος είναι διπλής εγγραφής, δηλαδή μετράει τόσο την παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β όσο και την απορροφούμενη από αυτό.

Με απλά λόγια αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ τοποθετεί έναν δεύτερο μετρητή ο οποίος μετράει την καθαρή παραγόμενη ενέργεια από το Φ/Β σύστημα όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5. Αυτό που είναι σημαντικό να τονιστεί είναι **οτι ο συμψηφισμός που πραγματοποιείται είναι λογιστικός και όχι ενεργειακός**. Αν, για παράδειγμα, στο δίμηνο το φωτοβολταϊκό παράγει ηλεκτρική ενέργεια αξίας 300 € και στο κτίριο καταναλώνεται ενέργεια αξίας 100 €, θα έρθει πιστωτικός λογαριασμός 200 €, ποσό που θα καταθέσει η ΔΕΗ στον τραπεζικό λογαριασμό του ιδιοκτήτη του φωτοβολταϊκού.

❖ Φορολογικό καθεστώς

Τέλος να τονιστεί ότι ο οικιακός καταναλωτής δεν χρειάζεται να προβεί σε έναρξη επιτηδεύματος, δηλαδή να ανοίξει βιβλία στην εφορία. Με άλλα λόγια, **τα όποια έσοδα έχει ο οικιακός μικροπαραγωγός από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται**.



Εικόνα 2.5. Τυπική περίπτωση σύνδεσης [4]

2.3.2 Διαδικασία σύνδεσης φωτοβολταϊκών >10KW, σε βιομηχανικές – εμπορικές στέγες

- ❖ **ΦΕΚ Α.Α.Π 376/06.09.2010**: “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς”.
- ❖ **ΦΕΚ Β’1497/06.09.2010**: “ Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών”.

Οι διαδικασίες σύνδεσης για φωτοβολταϊκά συστήματα >10 KW σε κτίρια του

ηπειρωτικού δικτύου (ή >5 KW σε κτίρια που βρίσκονται στα Μη – διασυνδεδεμένα νησιά) είναι παρόμοιες με αυτές που περιγράψαμε στο 2.2.1. Όπως εξηγήθηκε στο υποκεφάλαιο 2.1 και ειδικότερα στον πίνακα 2.2, η **βασική διαφορά** (σε επίπεδο Συμβάσεων) είναι ότι στην περίπτωση που μελετείται τώρα, **αντί για Σύμβαση Συμψηφισμού** μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΗ, **υπογράφεται Σύμβαση Αγοραπωλησίας μεταξύ Παραγωγού και**

- α) του Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) για το ηπειρωτικό Δίκτυο και την Κρήτη ή
- β) με τη ΔΕΗ για τα Μη – Διασυνδεδεμένα νησιά.

Από την άλλη γίνεται φανερό ότι οι πολεοδομικοί και λοιποί όροι που απορέουν από το **ΦΕΚ Α.Α.Π 376/06.09.2010** καθώς και οι τρόποι εγκατάστασης (εικόνα 2.1.) δεν αφορούν μόνο στα κτίρια που εντάσσονται στο ειδικό πρόγραμμα για φωτοβολταϊκά σε κτίρια <10 KW, αλλά πλαισιώνουν οποιαδήποτε επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίριο, ανεξαρτήτως ισχύος, επομένως καλύπτουν και την περίπτωση που εξετάζεται τώρα.

Στην περίπτωση των εμπορικών – βιομηχανικών στεγών ο επενδυτής, σε περίπτωση που δεν είναι εταιρεία (οποιασδήποτε μορφής Α.Ε., Ε.Π.Ε. ή προσωπική εταιρεία Ο.Ε. ή Ε.Ε.) αλλά είναι ελεύθερος επαγγελματίας, πρέπει να κάνει έναρξη επιτηδεύματος, δηλαδή να ανοίξει βιβλία στην εφορία.

Φυσικά σε περίπτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων που υπερβαίνουν το 1 MW απαιτείται, όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 2.1, άδεια παραγωγής που εκδίδει η Ρ.Α.Ε καθώς και άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας. Επίσης για συστήματα >100 KW είναι απαραίτητη η έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία. Οι διαφορές αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 2.8 που φαίνεται παρακάτω:

Σύγκριση (ομοιότητες – διαφορές) για ΦΒ συστήματα σε κτίρια		
	Ειδικό πρόγραμμα για στέγες – δώματα	Εμπορικές – βιομηχανικές στέγες
Ομοιότητες	Προσφορά Σύνδεσης με ΔΕΗ	
	Ίδιοι πολεοδομικοί όροι	
Διαφορές	Ο οικιακός καταναλωτής δεν χρειάζεται να ανοίξει βιβλία στην εφορία	Ο ελεύθερος επαγγελματίας → έναρξη επιτηδεύματος
	Διαφορετικό οικονομικό πλαίσιο	
	Υπογραφή Σύμβασης Συμψηφισμού με ΔΕΗ	Υπογραφή Σύμβασης Αγοραπωλησίας με ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ
	Γνωστοποίηση έναρξης εγκατάστασης προς ΔΕΗ	Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας για συστήματα > 100 KW

Πίνακας 2.8. Σύγκριση (ομοιότητες – διαφορές) για ΦΒ συστήματα σε κτίρια

Στο **ΦΕΚ Β'1497/06.09.2010** καθορίζεται το καθεστώς που πλαισιώνει τη Σύμβαση

Αγοραπωλησίας που υπογράφεται μεταξύ του Παραγωγού και του ΔΕΣΜΗΕ ή της ΔΕΗ (στο εξής Διαχειριστή) κατά περίπτωση.

Σύμφωνα με τη Σύμβαση Αγοραπωλησίας ο Διαχειριστής αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια από τον Παραγωγό σύμφωνα με το ισχύον οικονομικό πλαίσιο, το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω.



Εικόνα 2.6. Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε βιομηχανική στέγη [10]

Κομβικά σημεία Σύμβασης Αγοραπωλησίας

❖ Προϋποθέσεις πληρωμής

Προϋπόθεση για την έναρξη καταβολής εκ μέρους του Διαχειριστή, του τιμήματος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που εγγέται από τον Παραγωγό στο Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο, είναι η κατοχή εκ μέρους του Παραγωγού, της προβλεπόμενης άδειας λειτουργίας ή της νόμιμης απαλλαγής του από την υποχρέωση έκδοσης αυτής.

❖ Διάρκεια ζωής

Η Σύμβαση Αγοραπωλησίας ισχύει από την υπογραφή της (ή από την έκδοση της άδειας εγκατάστασης εφόσον απαιτείται) και η διάρκεια της είναι είκοσι 20 έτη με έναρξη ισχύος την ημερομηνία έκδοσης της άδειας λειτουργίας του σταθμού του Παραγωγού ή την επιτυχή ολοκλήρωση της δοκιμαστικής λειτουργίας για την περίπτωση που ο σταθμός απαλλάσσεται από την υποχρέωση λήψης άδειας λειτουργίας, και μπορεί να παρατείνεται σύμφωνα με τους όρους της σχετικής άδειας παραγωγής του σταθμού του Παραγωγού.

Η Σύμβαση Αγοραπωλησίας λύεται αυτοδικαίως σε περίπτωση που λήξει η ισχύς της άδειας παραγωγής ή της άδειας λειτουργίας, οι οποίες έχουν εκδοθεί στο όνομα του Παραγωγού.

❖ Μέσος Ωριαίος Συντελεστής Ισχύος (συνφ)

$$\text{συνφ} = P / (P^2 + Q^2)^{1/2}$$

P: ενεργός ισχύς ανά ώρα σε KWh

Q: άεργος ισχύς ανά ώρα σε KVarh (απορροφούμενη από το σύστημα ή αποδιδόμενη στο Δίκτυο)

Σε συνθήκες παραγωγής άνω του 50% της ονομαστικής ικανότητας παραγωγής, **ο συντελεστής ισχύος του Παραγωγού δεν θα πρέπει να είναι χαμηλότερος του 0,95 επαγωγικού και θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,95 επαγωγικού** (απορρόφηση αέργου ισχύος) **και 0,85 χωρητικού** (παραγωγή αέργου ισχύος) σύμφωνα και με τις οδηγίες του Διαχειριστή. Ειδικά στην περίπτωση μονάδων παραγωγής με ασύγχρονες γεννήτριες ή μετατροπείς ισχύος χωρίς δυνατότητα ελέγχου του συνφ, **ο Παραγωγός οφείλει να εγκαταστήσει τον απαιτούμενο εξοπλισμό αντιστάθμισης.**

Στην περίπτωση κατά την οποία μετά την ολοκλήρωση της δοκιμαστικής λειτουργίας του σταθμού διαπιστωθεί ότι ο συντελεστής του Παραγωγού δεν τηρείται στα όρια που καθορίστηκαν παραπάνω, ο Παραγωγός, αφού ειδοποιηθεί εγγράφως από το Διαχειριστή, οφείλει να λάβει τα κατάλληλα μέτρα μέσα σε προθεσμία 6 μηνών από την κοινοποίηση της σχετικής ειδοποίησης. Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης του Παραγωγού εντός της προθεσμίας, ο Διαχειριστής διακόπτει την αγορά ενέργειας από αυτόν μέχρι να ληφθούν τα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα. Η διακοπή αυτή θεωρείται ότι οφείλεται σε υπαιτιότητα του Παραγωγού.

Σε περίπτωση που ο μέσος ωριαίος συντελεστής ισχύος (συν φ) του σταθμού του Παραγωγού είναι μικρότερος του 0,95, τότε η επιπλέον απορροφούμενη από τον Παραγωγό άεργος ενέργεια σε kVArh θα χρεώνεται από το Διαχειριστή στον Παραγωγό στην τιμή του 5% της τιμής της κιλοβατώρας του σκέλους ενέργειας (kWh) του εκάστοτε ισχύοντος τιμολογίου γενικής χρήσης (με χρέωση ισχύος, ενέργειας και αέργων) και μηνιαίας χρέωσης στη χαμηλή τάση. Όπου κατά την κρίση του Διαχειριστή δεν είναι εφικτός ο προσδιορισμός του μέσου ωριαίου συντελεστή ισχύος, η χρέωση αέργου ενέργειας θα γίνεται με βάση το μέσο μηνιαίο συντελεστή ισχύος. Στην περίπτωση που ο Παραγωγός διοχετεύει άεργο ενέργεια στο Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο η ενέργεια αυτή περιέρχεται στο Διαχειριστή χωρίς να υφίσταται υποχρέωση καταβολής οποιουδήποτε τιμήματος.

Τέλος αναφέρουμε ότι οι παραπάνω ρυθμίσεις δεν αφορούν τους αυτοπαραγωγούς.

❖ **Μετρητικές Διατάξεις**

Οι μετρητικές διατάξεις που είναι απαραίτητες για την μέτρηση της ενεργού και αέργου ενέργειας καθώς και της ισχύος τοποθετούνται, **με έξοδα του Παραγωγού,** στα όρια Παραγωγού – Συστήματος και εγκρίνονται από το Διαχειριστή. Ο Διαχειριστής είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο των μετρητικών διατάξεων μετά από αίτημα του Παραγωγού, και τέλος, ο Παραγωγός οφείλει να επιτρέπει στο Διαχειριστή την πρόσβαση στις εγκαταστάσεις του.

❖ **Λογαριασμοί – πληρωμές**

Ο Διαχειριστής στέλνει στον Παραγωγό σημείωμα στο οποίο αναφέρονται τυχόν χρέωσεις αέργου ισχύος και τυχόν απαιτήσεις του Διαχειριστή κατ' αυτού. Ο Παραγωγός βάσει του πιο πάνω σημειώματος εκδίδει τιμολόγιο στο οποίο οι απαιτήσεις αυτές συμψηφίζονται με το τίμημα που ο Διαχειριστής πρέπει να του καταβάλει. Το τιμολόγιο αποστέλλεται στο Διαχειριστή για εξόφληση και είναι πληρωτέο μέσα σε 20 ημέρες από την κατάθεσή του. Σε περίπτωση καθυστέρησης της εξόφλησης λογαριασμού ή τιμολογίου πέραν της παραπάνω προθεσμίας, ο Διαχειριστής οφείλει να πληρώσει στον Παραγωγό και τόκο υπερημερίας επί του οφειλομένου ποσού, από την επομένη της λήξης της προθεσμίας εξόφλησης και χωρίς άλλη ειδοποίηση.

❖ Απώλειες

Συμφωνείται ρητά ότι σε περίπτωση σύνδεσης του Παραγωγού, που δεν είναι Αυτοπαραγωγός, μέσω αποκλειστικής διασυνδετικής γραμμής ΜΤ, οι απώλειες κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της γραμμής διασύνδεσης βαρύνουν εξ ολοκλήρου τον Παραγωγό, αν η γραμμή αυτή δεν εξυπηρετεί και καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας. Για το σκοπό αυτό τοποθετούνται δύο μετρητικές διατάξεις της εξερχόμενης από τον παραγωγό ενέργειας και ισχύος, μια σε κάθε άκρο της διασυνδετικής γραμμής του παραγωγού. Οι απώλειες ενέργειας και ισχύος είναι η διαφορά των ενδείξεων των kWh και kW των μετρητών πραγματικής ενέργειας και ισχύος.

Τέλος διευκρινίζεται ότι σε περίπτωση σύνδεσης άλλων Παραγωγών, που δεν είναι Αυτοπαραγωγοί, στην ίδια γραμμή διασύνδεσης, οι απώλειες βαρύνουν όλους τους Παραγωγούς κατ' αναλογία της παραδιδόμενης στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και του χρησιμοποιούμενου τμήματος της γραμμής αυτής από κάθε Παραγωγό, σύμφωνα με σχετική μεθοδολογία που περιλαμβάνεται στην αντίστοιχη Σύμβαση Σύνδεσης με το Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο.



Εικόνα 2.7. Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε αγροτική αποθήκη [10]

2.4 Οικονομικό πλαίσιο

Αυτό που κάνει όλες τις παραπάνω επενδύσεις βιώσιμες και τελικά ελκυστικές για τους επενδυτές είναι η επιδότηση της τιμής πώλησης της παραγόμενης κιλοβατώρας (KWh) από το κράτος. Παρακάτω παρουσιάζεται συνοπτικά, υπό μορφή πίνακα (πίνακας 2.9), ολόκληρο το οικονομικό πλαίσιο σχετικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανεξαρτήτως ισχύος ή εφαρμογής (σε κτίριο, εμπορική – βιομηχανική στέγη, γήπεδο). Να τονίσουμε εδώ ότι οι τιμές αυτές απορέουν από τους τελευταίους νόμους **3851/2010, ΦΕΚ Β'1079 / 2009**.

Τιμές πώλησης ενέργειας από φωτοβολταϊκά (€/MWh)					
Έτος	Μήνας	Συστήματα σε εμπορικές και οικιακές στέγες <= 10KW	Διασυνδεδεμένο (Ηπειρωτικό Δίκτυο)		Μη Διασυνδεδεμένο (νησιά)
			A	B	Γ
			>100KW	<= 100KW	(ανεξαρτήτως ισχύος)
2009	Φεβρουάριος	550	400,00	450,00	450,00
2009	Αύγουστος				450,00
2010	Φεβρουάριος				450,00
2010	Αύγουστος				441,05
2011	Φεβρουάριος				419,43
2011	Αύγουστος				394,89
2012	Φεβρουάριος	525,5	333,81	375,54	375,54
2012	Αύγουστος		314,27	353,55	353,55
2013	Φεβρουάριος	496,38	298,87	336,23	336,23
2013	Αύγουστος		281,38	316,55	316,55
2014	Φεβρουάριος	471,56	268,94	302,56	302,56
2014	Αύγουστος		260,97	293,59	293,59
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά		μείον 5% ετησίως	1,3 x μΟΤΣ _{v-1}	1,4 x μΟΤΣ _{v-1}	
Διάρκεια σύμβασης		25 έτη	20 έτη		
μΟΤΣ _{v-1} : Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος v-1					

Πίνακας 2.9. Τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στη Δ.Ε.Η. από φωτοβολταϊκά (€/MWh) [1]

Όπως φαίνεται στον πίνακα 2.9, το οικονομικό πλαίσιο διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της επένδυσης, π.χ. διαφορετική είναι η τιμή πώλησης για τον οικιακό παραγωγό που εγκαθιστά σύστημα <10 KW στο κτίριό του από την αντίστοιχη τιμή για έναν αγρότη που θέλει να επενδύσει σε σύστημα 500 KW στο κτήμα του. Γίνεται επίσης φανερό ότι η τιμή αλλάζει και με το χρόνο, δηλαδή πέφτει περίπου 5% ανά εξάμηνο για τα συστήματα > 10KW. Είναι σημαντικό να ξεκαθαριστεί εδώ ότι η εκάστοτε τιμή «κλειδώνει» τη στιγμή που υπογράφεται η σύμβαση με το ΔΕΣΜΗΕ ή τη ΔΕΗ. Στη συνέχεια, ο επενδυτής έχει 18 μήνες να ολοκληρώσει το έργο, χρονικό διάστημα που δεν θα επηρεάσει την τιμή που έχει υπογραφεί. Στον Πίνακα 2.9. επισημαίνονται με μπλε χρώμα οι τιμές όπως αυτές ισχύουν κατά τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής και οι οποίες θα ισχύουν μέχρι τον Αύγουστο του 2011. Το παραπάνω

τίμημα δεν περιλαμβάνει το Φόρο Προστιθέμενης αξίας (Φ.Π.Α.) ο οποίος αναγράφεται ξεχωριστά στο τιμολόγιο και καταβάλλεται από το ΔΕΣΜΗΕ. Τέλος οι τιμές που αναφέρονται στον πίνακα 2.9 αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στην Ελλάδα η τιμή αυξάνεται κατά περίπου 1% το χρόνο.



Εικόνα 2.9 Παραδείγματα εφαρμογών [4]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Σχεδιασμός φωτοβολταϊκού συστήματος

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ένας μηχανικός και τους παράγοντες που πρέπει να λάβει υπ' όψη κατά τη μελέτη και εγκατάσταση ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος σε ένα κτίριο. Στην αρχή παρουσιάζονται συνοπτικά τα σημεία αυτά ενώ στη συνέχεια δίνεται έμφαση στα σημαντικότερα εξ' αυτών σε ξεχωριστά υποκεφάλαια.

3.2 Αρχική διερεύνηση και επίσκεψη του χώρου

Για να ξεκινήσει ο σχεδιασμός ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι απαραίτητη μια επί τόπου επίσκεψη στον χώρο της μελλοντικής εγκατάστασης. Αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση των βασικών παραγόντων του έργου. Πρώτον, είναι σημαντικό να διαπιστωθεί αν το κτίριο είναι κατάλληλο για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος. Μια λεπτομερής προκαταρκτική έρευνα συμβάλλει στην αποφυγή λαθών σχεδιασμού και λανθασμένων υπολογισμών στην προσφορά που υποβάλλεται.

Έτσι μπορούν να εκτιμηθούν: πόσο έργο απαιτείται για την εγκατάσταση του συστήματος, η τοποθεσία έδρασης των πλαισίων και των υπόλοιπων στοιχείων (π.χ. του inverter), οι καλωδιώσεις και από που αυτές θα «περνάνε» καθώς και η τοποθέτηση του επιπλέον μετρητή για την εξερχόμενη ενέργεια (στα τελευταία 2 σημεία χρήσιμη μπορεί να φανεί και η συμβουλή του πελάτη – κατόχου του κτιρίου).

Επίσης, πριν να ξεκινήσουμε το σχεδιασμό, θα πρέπει να ερωτηθεί ο πελάτης για το ποσό που περιμένει να ξοδέψει (σε περίπτωση αποφυγής τραπεζικού δανείου) και να ληφθούν υπ' όψη οι τυχούσες επιδοτήσεις που μπορεί να παίξουν πολύ σημαντικό ρόλο στο μέγεθος του συστήματος. Φυσικά είναι εξόχως σημαντικό να είναι σαφές το οικονομικό πλαίσιο καθώς και οι πολεοδομικοί όροι και διατάξεις όπως αυτοί απορρέουν από τους νόμους που διέπουν τις εγκαταστάσεις αυτού του είδους. Οι νόμοι, όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2, επηρεάζουν καθοριστικά το αναμενόμενο κέρδος από την σχεδιαζόμενη επένδυση αλλά εισάγουν επίσης πολεοδομικούς και λοιπούς κανόνες και περιορισμούς, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Ένας ακόμα παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο είναι οι σκιάσεις. Αφού η φωτοβολταϊκή τεχνολογία εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια, όπως αυτή προσλαμβάνεται από το Φ/Β στοιχείο και εν συνεχεία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, είναι σαφές ότι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα είναι η εμφάνιση σκιάσεων. Οι σκιάσεις είναι πάντα ανεπιθύμητες και μπορούν μέχρι και να καταστήσουν την εγκατάσταση του έργου αδύνατη, όπως σε περιπτώσεις εκτεταμένων σκιάσεων από παρακείμενα ψηλότερα κτίρια κ.λ.π. Για το λόγο αυτό, οι επιπτώσεις των οποιονδήποτε σκιάσεων πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψη και

να εκτιμώνται με αρκετή ακρίβεια, ακόμα και στη φάση του προκαταρκτικού σχεδιασμού ενός Φ/Β συστήματος.

Μία ακόμα σημαντική παράμετρος είναι η κλίση και ο προσανατολισμός των πλαισίων. Ειδικότερα σε εγκαταστάσεις που αφορούν σε στέγες με κεραμοσκεπή, τα πλαίσια εφάπτονται αυτής με αποτέλεσμα να τους επιβάλλεται η κλίση και ο προσανατολισμός της στέγης. Αυτό συνεπάγεται συνήθως μείωση των προσδοκώμενων ενεργειακών απολαβών, καθ'ότι είναι γνωστό ότι (τουλάχιστον για την Ελλάδα) οι βέλτιστες τιμές της κλίσης και του προσανατολισμού είναι 30° και αζιμούθια γωνία ίση με 0° αντίστοιχα (νότιος προσανατολισμός). Από την άλλη, στην περίπτωση των επίπεδων οροφών, τα πλαίσια τοποθετούνται πάνω σε μεταλλικές βάσεις με την κατάλληλη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο και προς το νότο.

Επιγραμματικά, τα σημεία στα οποία πρέπει να επικεντρωθεί κανείς για το σωστό σχεδιασμό είναι:

- ❖ Το οικονομικό και ευρύτερο πολεοδομικό πλαίσιο όπως αυτό απορρέει από τους αντίστοιχους νόμους.
- ❖ Η κατάλληλη επιλογή των υλικών της εγκατάστασης, κυρίως των πλαισίων και του αντιστροφέα σε συνάρτηση με τις προσδοκώμενες απολαβές ενέργειας.
- ❖ Ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση των πλαισίων και λοιπών υλικών εγκατάστασης, καθώς αυτό θα διαδραματίσει το βασικότερο ρόλο στη διαστασιολόγηση του συστήματος.
- ❖ Οι σκιάσεις που υπάρχουν ή μπορούν να εμφανιστούν στο μέλλον και οι επιπτώσεις τους.
- ❖ Ο προσανατολισμός των πλαισίων σε σχέση με το νότο και η γωνία που σχηματίζουν σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, όπως απορρέουν από πιθανούς περιορισμούς της οροφής ή στέγης, καθώς και ο τρόπος έδρασής τους.
- ❖ Η ευκολία πρόσβασης στο χώρο εγκατάστασης (σκεπή – οροφή), ειδικά όταν για την εγκατάσταση των πλαισίων απαιτείται ειδικός εξοπλισμός (σκαλωσιές κ.α.)
- ❖ Μήκη καλωδίων όπως αυτά προκύπτουν από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του χώρου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ιδιαίτερα χρήσιμα και συχνά απαραίτητα βοηθήματα για το μηχανικό – μελετητή είναι:

- ❖ Σχέδιο διευθέτησης του χώρου του κτιρίου ώστε να εξακριβωθεί ο προσανατολισμός του.
- ❖ Κατασκευαστικά σχέδια του κτιρίου ώστε να εξακριβωθεί η κλίση της στέγης, η ωφέλιμη επιφάνεια και τα μήκη των καλωδίων.

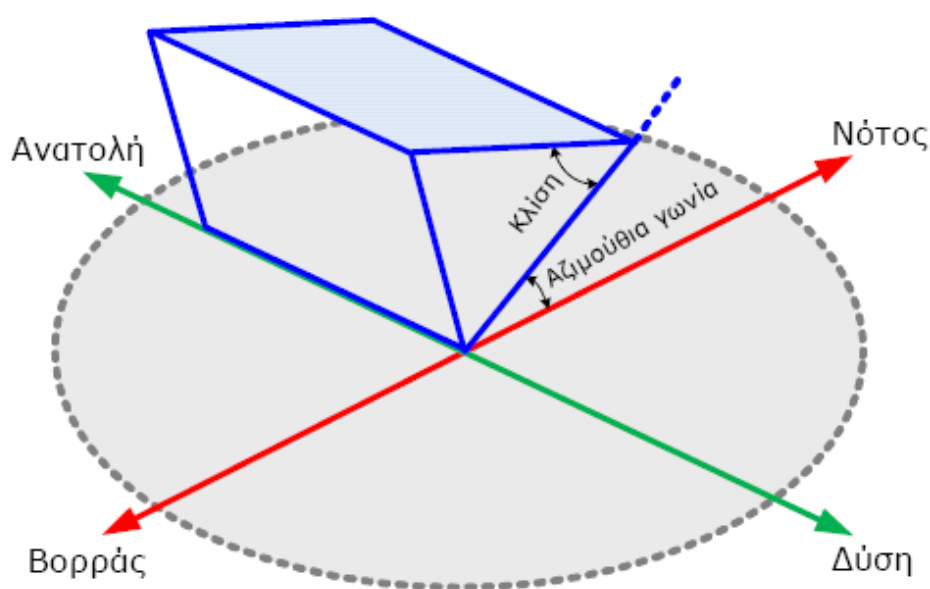
- ❖ Φωτογραφία της οροφής για τυχούσες ιδιαιτερότητες.

Παρακάτω θα αναλύσουμε περαιτέρω κάποια από τα βασικότερα σημεία, αναδεικνύοντας τη σημαντικότητά τους και παρέχοντας πληροφορίες για το τρόπο με τον οποίο πρέπει αυτά να αντιμετωπίζονται, τόσο στο πλαίσιο του σχεδιασμού όσο και της υλοποίησης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος.

3.2 Προσανατολισμός των Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής 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 ακτινοβολίας.

Πρακτικά, η μηχανική πολυπλοκότητα και το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων σύμφωνα με τον παραπάνω τρόπο, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την εφαρμογή του σε κτηριακά Φ/Β συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των κτηριακών Φ/Β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90° . Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του πλαισίου. Η κλίση του πλαισίου εκφράζεται με τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου και το οριζόντιο επίπεδο, ενώ η αζιμούθια γωνία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κεκλιμένης πλευράς του πλαισίου και τον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.

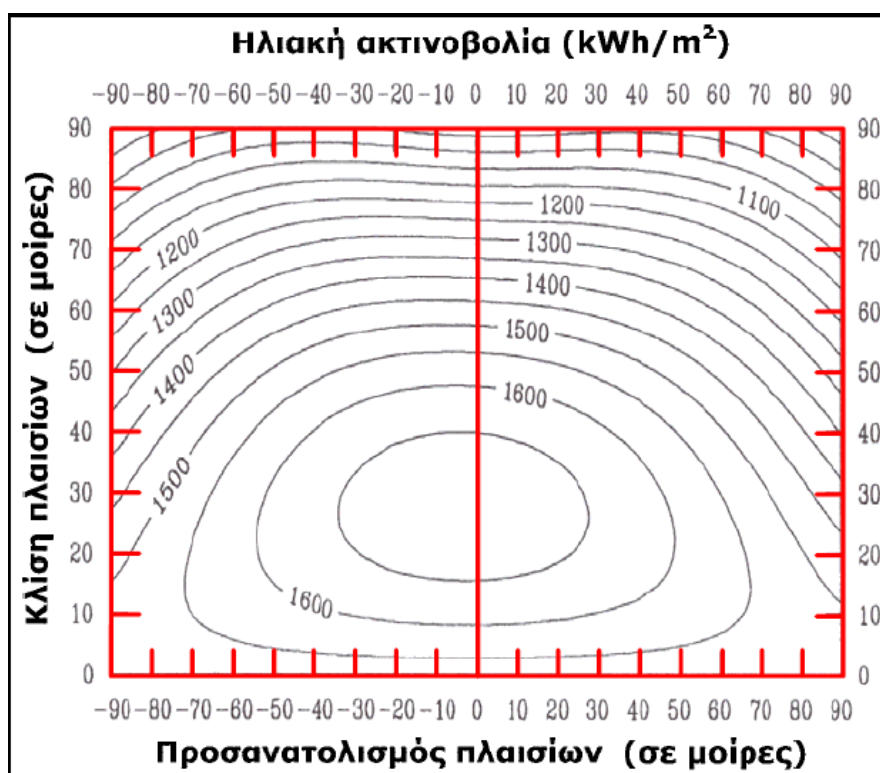


Εικόνα 3.1 Γραφική απεικόνιση της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας ενός Φ/Β πλαισίου που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο [7]


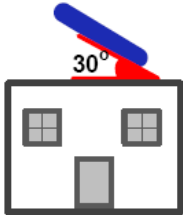
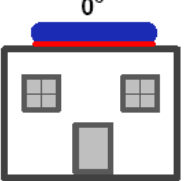
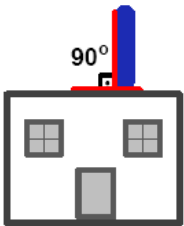
Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αξιμότητα γωνία είναι περίπου 0° (κατεύθυνση προς νότο). Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε 9 επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30° .

Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτηριακών 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 κτηρίου), 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 της τιμή (βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού) συνιστάται 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 κτηρίων, προτιμώνται γενικά επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με απόκλιση έως 70° από την κατεύθυνση του Νότου, και κλίσης στο εύρος 0° - 50° . Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών κλίσης άνω των $10 - 15^\circ$ διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.

Στα σχήματα 3.α και 3.β παρατίθενται ενδεικτικά η επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος σε απόλυτες τιμές και σε επί τοις εκατό ποσοστά αντίστοιχα. Σε όλες τις περιπτώσεις υποθέτεται ότι δεν υπάρχουν σκιασμοί.



Εικόνα 3.2 Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/έτος) στο επίπεδο των ηλιακών πλαισίων ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος στην Αττική [7]

 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	95%kWh_(max)	90%kWh_(max)	30%kWh_(max)
Βόρειος	60%kWh_(max)	90%kWh_(max)	20%kWh_(max)

Εικόνα 3.3 Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²/έτος) στο επίπεδο των ηλιακών πλαισίων ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος στην Αττική [7]

3.2 Προβλήματα σκιασμών

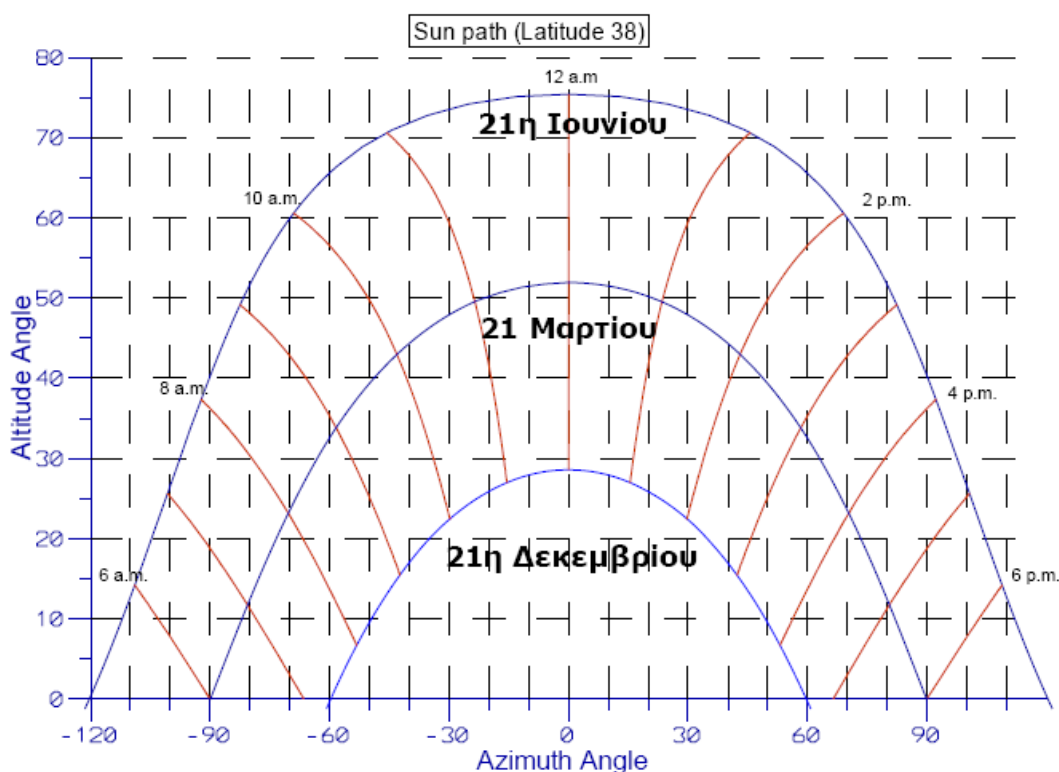
Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος είναι η ύπαρξη σκιασμών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Αναλυτικότερα, το συνολικό ρεύμα μιας στοιχειοσειράς Φ/Β πλαισίων καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της Φ/Β συστοιχίας. Βέβαια στην περίπτωση που ο σκιασμός περιορίσει την τάση του (των) σκιασμένου(ων) πλαισίου(ων) αρκετά χαμηλά ώστε να εισέλθει σε αγωγή η δίοδος παράκαμψης, το πλαίσιο αυτό εξαιρείται της ηλεκτροπαραγωγής.

Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας είναι πιθανό να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωγη γήρανση αυτού. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτήρια κλπ.

Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν 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, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη. Τέλος, για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτηρίων. Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής τοποθεσίας έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού είναι ο ορίζοντας προς Νότο να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια.

Για τον έλεγχο πιθανών σκιασμών καθ' όλο το έτος καλό είναι να χρησιμοποιηθεί ένα διάγραμμα τροχιάς του ήλιου, όπως αυτό που παρατίθεται στην εικόνα 3.4. Στο εν λόγω διάγραμμα σχεδιάζεται η θέση του ήλιου σε γωνιακές συντεταγμένες, για γεωγραφικό πλάτος 38°. Για διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος στην Ελλάδα προκύπτει ελαφρά διαφορετικό διάγραμμα. Ο οριζόντιος άξονας της εικόνας 3.4 αντιστοιχεί στην αζιμούθια γωνία του ήλιου, δηλαδή την γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου (γωνιακή απόσταση του ηλίου από τη διεύθυνση του Νότου), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στη γωνία του ύψους του ήλιου, δηλαδή ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο.

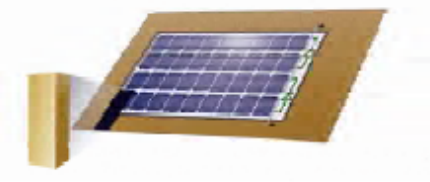
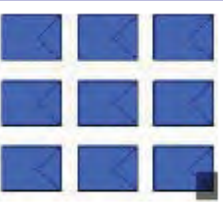





Εικόνα 3.4 Διάγραμμα τροχιάς ήλιου σε Βόρειο γεωγραφικό πλάτος 38° μοιρών [7]

Επί του διαγράμματος έχουν σχεδιασθεί ενδεικτικά η 21η Δεκεμβρίου, η 21η Μαρτίου και η 21η Ιουνίου, ενώ επίσης σημειώνονται επί των τροχιών και οι θέσεις του ήλιου για κάθε ώρα της ημέρας (σε τοπική ηλιακή ώρα). Με βάση το διάγραμμα της εικόνας 3.4 θα πρέπει να συγκριθούν τα περιγράμματα των εμποδίων (σε γωνιακές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αξόνων) όπως φαίνονται από το δυσμενέστερο σημείο της Φ/Β συστοιχίας. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ελέγξουμε αν τα

εμπόδια σκιάζουν την Φ/Β συστοιχία, δηλαδή αν η γωνία ύψους των εμποδίων είναι μεγαλύτερη από τη γωνία ύψους του ήλιου για την αντίστοιχη αξιμούθια γωνία.

Στην εικόνα 3.5 παρουσιάζονται υπό μορφή πίνακα οι ενδεικτικές απώλειες για διαφορετικού τύπου συνδεσμολογίες και ποσοστά σκιάσεων. Γίνεται φανερό ότι σκίαση της τάξης του 0,15% επί της ενεργής επιφάνειας του φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να επιφέρει ακόμα και 25 φορές μεγαλύτερη απώλεια ισχύος (ποσοστιαία – εδώ -3,7%), σε περίπτωση που τα πλαίσια είναι συνδεδεμένα όλα σε μία στοιχειοσειρά.

Απώλειες από σκίαση			
			
Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

3.5 Ενδεικτικές απώλειες σκίασης για διαφορετικές συνδεσμολογίες [10]

3.3 Στατική μελέτη & Υλικά στήριξης

Η έδραση των Φ/Β πλαισίων επί του κτηρίου μπορεί να υλοποιηθεί είτε πάνω σε πρόσθετη μεταλλική κατασκευή, είτε επί της επιφάνειας του δώματος, ή ακόμα και με την ενσωμάτωση των πλαισίων στο δομικό κέλυφος του κτηρίου. Αν και το βάρος της ίδιας της Φ/Β συστοιχίας και της βάσης στήριξης δεν αναμένεται να επηρεάσει την στατική αντοχή του κτηρίου, καλό είναι όταν η τοποθέτηση των πλαισίων γίνεται σε στέγαστρα ή σκεπές να διενεργείται στατικός έλεγχος (ή ακόμα και ειδική μελέτη όπου απαιτείται) ώστε να διερευνάται η μηχανική καταπόνηση και η ανεμοπίεση της επιφάνειας έδρασης των πλαισίων.

Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε ένα σύστημα στήριξης, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία και την ασφάλεια της εγκατάστασης σε ακραίες συνθήκες ανέμου, χιονόπτωσης, σεισμού και θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι ακραίες αυτές συνθήκες καθώς, ο συνδυασμός τους καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφάλειας, προδιαγράφονται στους Ευροκώδικες (Eurocodes), παράλληλα με επιπρόσθετους ελέγχους, όπως για το σύνολο των δομικών κατασκευών. Για τη στατική επάρκεια του συστήματος στήριξης καθεαυτού, μπορεί να ζητείται αντίστοιχο πιστοποιητικό από τον προμηθευτή. Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι μέρος υαλοπετάσματος, να αποτελεί σύνδεσμο με τους φορείς μίας στέγης ή να αποτελεί ένα αυτοτελές σύστημα τοποθετημένο στο δώμα ή με τρόπο που να δημιουργεί σκίαστρο. Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι είτε μεταλλικό, από αλουμίνιο ή εν θερμώ γαλβανισμένο χάλυβα, είτε από πλαστικό (κυρίως όσο αφορά στην περίπτωση λεκανών στήριξης). Στο εμπόριο διατίθεται πληθώρα συστημάτων στήριξης. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται προσοχή στη συμβατότητά τους με τα λοιπά στοιχεία του εξοπλισμού και κατ' επέκταση στην εγκυρότητα των πιστοποιητικών στατικής επάρκειας επί του συνόλου της εγκατάστασης. Θα πρέπει ο τρόπος σύσφιξης των Φ/Β πλαισίων να είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου Φ/Β πλαισίου και επιπλέον οι διαστάσεις του πλαισίου να είναι αντίστοιχες (ή μικρότερες) με αυτές που έχουν θεωρηθεί στην στατική μελέτη για την έκδοση του πιστοποιητικού στατικής επάρκειας. Όσον αφορά στη σύνδεση του συστήματος στήριξης με το κτήριο, και ειδικότερα αναφορικά με σύστημα στήριξης σε δώμα, θα πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη αγκύρωση. Αυτή γίνεται κυρίως με την προσθήκη φορτίου, ή με τη χρήση κοχλιών. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει το βάρος που θα τοποθετηθεί να είναι σύμφωνο με τη στατική μελέτη του κτηρίου. Στην περίπτωση χρήσεως κοχλιών, θα πρέπει να μην τραυματίζεται η υφιστάμενη μόνωση. Και στις δύο περιπτώσεις, όπως και στην περίπτωση άλλου συστήματος, παρέχονται οι προδιαγραφές για την αγκύρωση από τον προμηθευτή του συστήματος στήριξης. Ωστόσο η συμβατότητα με το κτήριο θα πρέπει να ελέγχεται από έναν μηχανικό. Τέλος, ο εγκαταστάτης θα πρέπει να έχει υπόψη του την διαφοροποίηση των συστημάτων στήριξης και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που το διέπουν, συμπεριλαμβανομένων της ευκολίας εγκατάστασης, της αξιοπιστίας και των λειτουργικών στοιχείων (όπως η δυνατότητα ή όχι φυσικού αερισμού του πλαισίου).

[7]

3.4 Επιλογή του χώρου έδρασης των ηλεκτρονικών μετατροπέων

Ένα από τα ζητήματα που χρήζουν προσοχής κατά το σχεδιασμό ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος, είναι η επιλογή του χώρου έδρασης των ηλεκτρονικών μετατροπέων. Συνήθως, οι μετατροπείς των εν λόγω ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων τοποθετούνται είτε στο εσωτερικό των κτηρίων που εγκαθίστανται, είτε σε ειδικά διαμορφωμένο κλειστό χώρο ο οποίος μπορεί να βρίσκεται πλησίον του Φ/Β εξοπλισμού. Μάλιστα, στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται σημαντικά το μήκος των ηλεκτρικών αγωγών Σ.Ρ. με άμεσο αποτέλεσμα τον περιορισμό των ηλεκτρικών απωλειών, της πτώσης τάσης, αλλά και του κόστους καλωδίωσης.

Βέβαια υπάρχουν και ηλεκτρονικοί μετατροπείς οι οποίοι σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή μπορούν να εγκατασταθούν είτε κάτω από τα Φ/Β πλαίσια, είτε στο μηχανισμό στήριξης αυτών, εφόσον υπάρχει αρκετός χώρος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συγκεκριμένος τύπος έδρασης έχει ως αποτέλεσμα την άμεση έκθεση του μετατροπέα σε υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, αλλά, σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας, και σε αρκετά χαμηλές κατά τη διάρκεια του χειμώνα, προτείνεται να εφαρμόζεται μόνο στις περιπτώσεις που το προβλέπει ο κατασκευαστής. Συγκεκριμένα, στο φυλλάδιο του κατασκευαστή θα πρέπει να αναζητηθεί ο δείκτης προστασίας (IP) του μετατροπέα από σωματίδια σκόνης και νερού, καθώς και τα όρια της θερμοκρασίας μέσα στα οποία δεν επηρεάζεται η ασφαλής και απρόσκοπτη λειτουργία του. Σε αντίθετη περίπτωση η υιοθέτηση του προαναφερθέντος τρόπου έδρασης μπορεί να επιφέρει μείωση του προσδόκιμου της διάρκειας ζωής του μετατροπέα. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ψύξη του ηλεκτρονικού μετατροπέα επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένο το Φ/Β σύστημα (θερμοκρασία περιβάλλοντος, συνθήκες ηλιοφάνειας, υγρασία και άνεμος), γίνεται κατανοητό ότι στις περιπτώσεις που ο μετατροπέας τοποθετείται σε κλειστό χώρο πλησίον του Φ/Β εξοπλισμού ίσως είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μηχανισμού εξαναγκασμένης ψύξης (ανεμιστήρες). Στη συνέχεια παρουσιάζονται ειδικότερες οδηγίες που αφορούν στη σωστή εγκατάσταση και ασφαλή λειτουργία του Φ/Β συστήματος. Οι οδηγίες βασίζονται στην διεθνή πρακτική και εμπειρία, καθώς και σε πρότυπα, όπως το HD384 και το IEC 364-7-712. [7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Μελέτη διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας Ελλάδος

4.1 Εισαγωγή

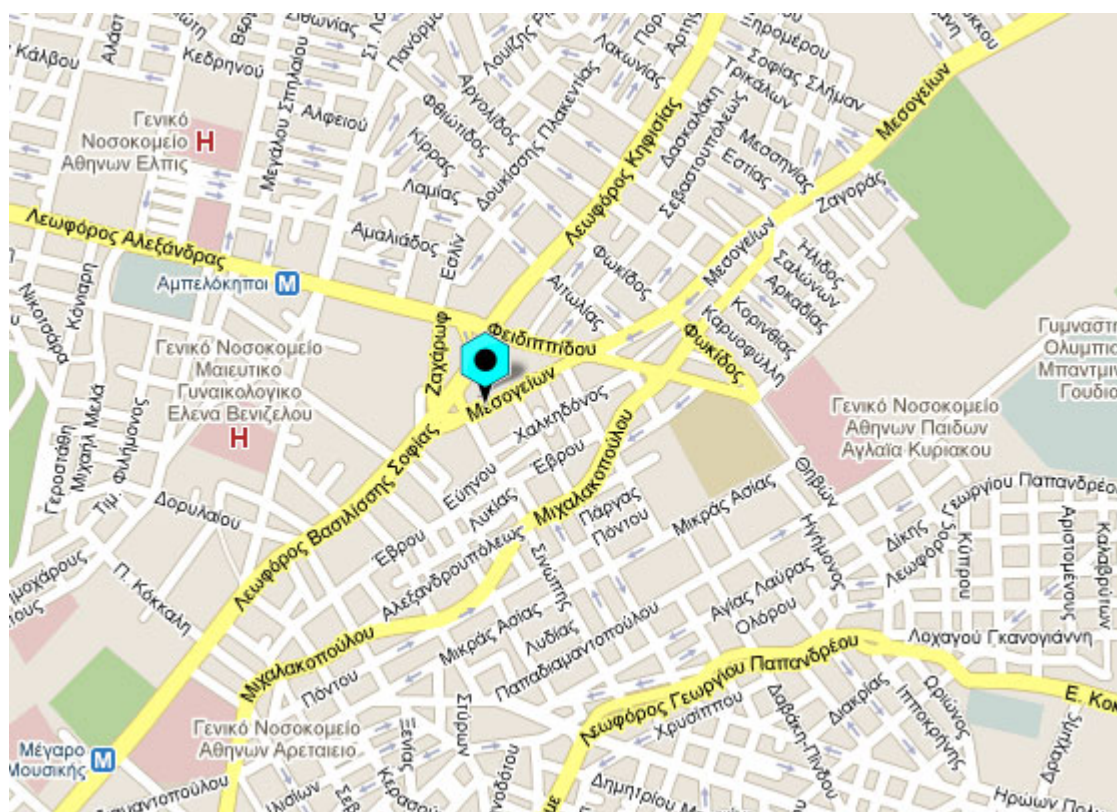
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε μία οικονομοτεχνική μελέτη σχεδίασης και εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας στην Αθήνα. Θα αναλυθούν δύο σενάρια: στο πρώτο θα αγνοηθεί η σκίαση που παράγεται από το γειτονικό κτίριο του «Πύργου των Αθηνών» ενώ στο δεύτερο η σκίαση θα ληφθεί υπ' όψη. Στο τέλος θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα της μελέτης καθώς και τις επιπτώσεις που αυτή η σκίαση επιφέρει στο έργο.

Η υπό μελέτη εγκατάσταση καλύπτεται από το νομικό πλαίσιο όπως αυτό εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 2. Η εγκατάσταση αυτή δεν εμπίπτει στο ειδικό πρόγραμμα με βάση το ΦΕΚ Β'1079/2009 καθώς το πρόγραμμα εκείνο είναι για τις πολύ μικρές επιχειρήσεις, δηλαδή αυτές που απασχολούν ως 10 άτομα και έχουν κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού ως 2 εκατ. ευρώ ετησίως. Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση οι όροι αυτοί δεν πληρούνται και το πλαίσιο που καλύπτει την περίπτωση που μελετούμε είναι αυτό των βιομηχανικών – εμπορικών στεγών.

Να σημειωθεί εδώ ότι ενώ στις βιομηχανικές – εμπορικές στέγες το οικονομικό πλαίσιο δεν είναι τόσο ευνοϊκό όσο στην περίπτωση του ειδικού προγράμματος για μικρά φωτοβολταϊκά σε στέγες και πολύ μικρές επιχειρήσεις, από την άλλη δεν δεσμευόμαστε από το όριο των 10 KWp.

4.2 Το κτίριο και ο περιβάλλον χώρος

Το κτίριο που μελετούμε ανήκει στην Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος και βρίσκεται στην Αθήνα στη συμβολή των λεωφόρων Βασιλίσσης Σοφίας και Μεσογείων. Το κτίριο αυτό στεγάζει το κατάστημα και τα γραφεία των διοικητικών υπηρεσιών της τράπεζας. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1974 και από τότε δεν έχει γίνει καμία αλλαγή χρήσης ή ιδιοκτησίας.



Εικόνα 4.1 Η τοποθεσία του κτιρίου στην Αθήνα καθορίζεται από την γαλάζια επισήμανση

Στην εικόνα 4.1 με τη γαλάζια επισήμανση φαίνεται η τοποθεσία του κτιρίου στην Αθήνα. Το κτίριο αποτελείται από 10 επίπεδα επάνω από το έδαφος (ισόγειο, ημιώροφος και 8 όροφοι) και από τρία επίπεδα κάτω από το έδαφος. Το ύψος κάθε επιπέδου είναι 3m οπότε το συνολικό ύψος του κτιρίου ανέρχεται σε 30m. Στην οροφή του κτιρίου βρίσκεται δώμα ύψους 3m. Στην εικόνα 4.2 φαίνεται η νοτιοδυτική όψη του κτιρίου, στην οποία βρίσκεται και η είσοδός του.



Εικόνα 4.2 Το κτίριο της Εθνικής Τράπεζας στη λεωφ. Μεσογείων 1 [6]

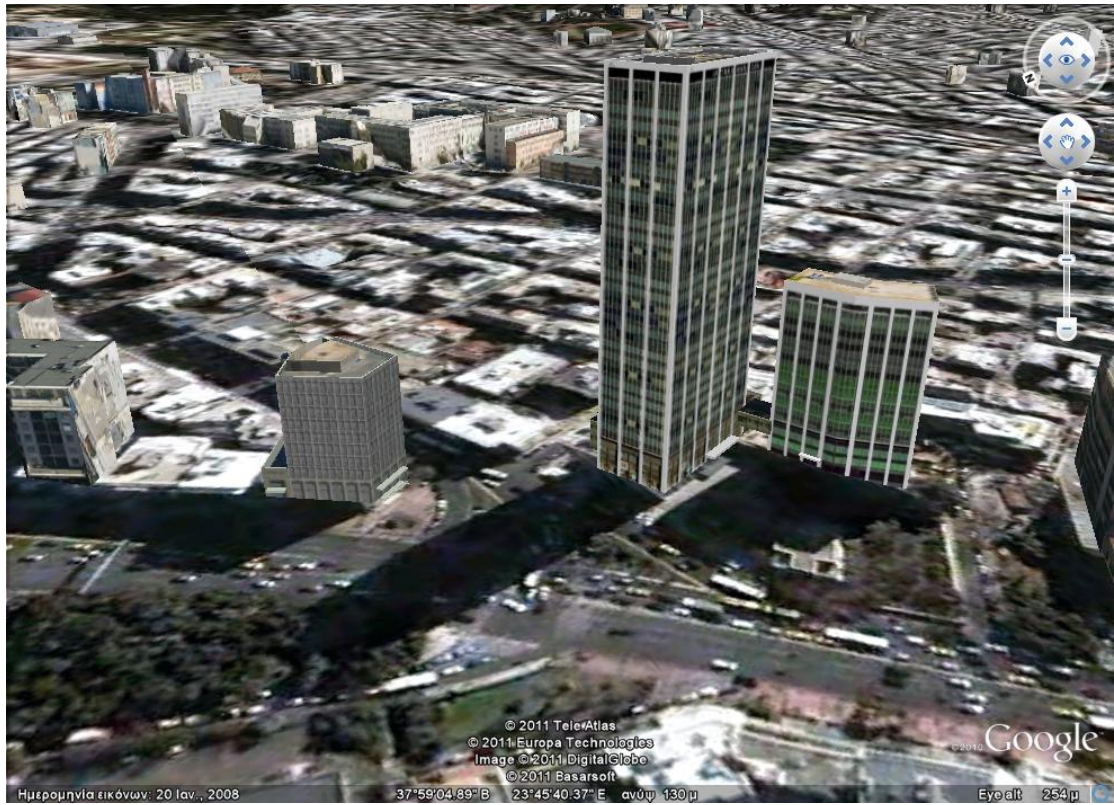
Τα γειτονικά κτίρια είναι γενικά ισουπή και χαμηλότερα του υπό μελέτη κτιρίου. Όμως νοτιοδυτικά, σε απόσταση περίπου 50m από το κτίριο, βρίσκεται ο «Πύργος των Αθηνών», το ψηλότερο κτίριο της Ελλάδας, με ύψος 103m. Στις εικόνες που ακολουθούν (3.3 ως 3.5) φαίνονται το υπό μελέτη κτίριο καθώς και τα κοντινά κτίρια.



Εικόνα 4.3 αριστερά: Το υπο μελέτη κτίριο της Εθνικής τράπεζας και δεξιά: Ο «Πύργος των Αθηνών»



Εικόνα 4.4 Το υπο μελέτη κτίριο της Εθνικής τράπεζας και ο «Πύργος των Αθηνών» από ψηλά

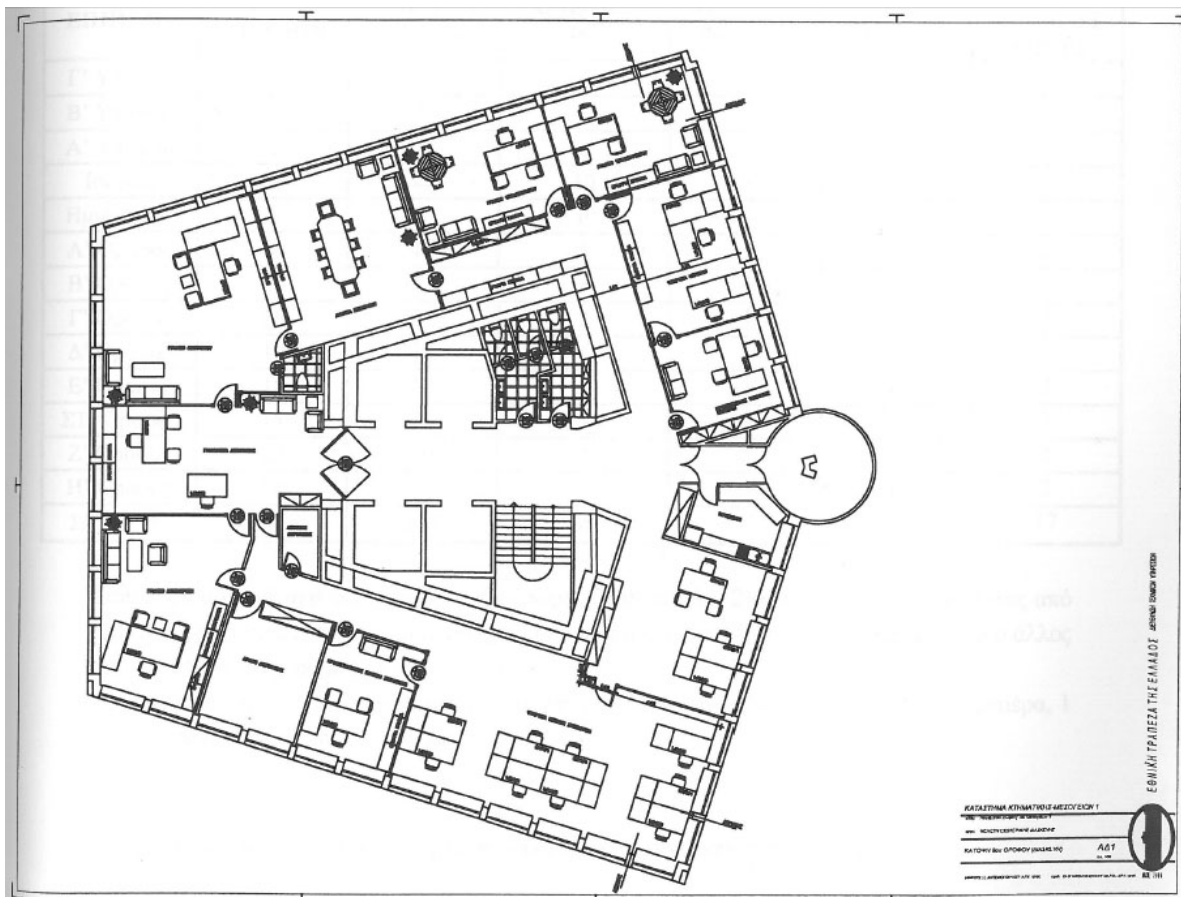


Εικόνα 4.5 αριστερά: Το υπο μελέτη κτίριο της Εθνικής τράπεζας και δεξιά: Ο «Πύργος των Αθηνών»

Στις εικόνες 4.2 και 4.6 φαίνεται η σκίαση που προκαλεί ο «Πύργος των Αθηνών» στο κτίριο της Εθνικής Τράπεζας. Η εικόνα 4.6 είναι τραβηγμένη μεσημέρι Φεβρουαρίου.



Εικόνα 4.6 Το κτίριο της Εθνικής, Φεβρουάριος 3μ.μ



Εικόνα 4.7 Κάτοψη του Η' Ορόφου της Εθνικής Τράπεζας [6]

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ

Περίοδος Κατανάλωσης		Τιμολόγιο	ΩXB	ΩBA	Ζητ. Ημερ. kW	Ζητ. Αιχμ. kW	συνφ	Συντ. Χρησιμ. %
Από	Έως							
15/12/05	19/1/06	B1	103.200	33.600	365	346	0.951	34,6
19/1/06	17/2/06	B1	100.800	7.200	382	370	0.997	39,2
17/2/06	20/3/06	B1	76.800	0	319	295	1	30,4
20/3/06	14/4/06	B2	57.600	0	281	257	1	35,5
14/4/06	18/5/06	B2	62.400	0	230	228	1	33,2
18/5/06	20/6/06	B2	88.800	0	324	319	1	35,6
20/6/06	19/7/06	B2	96.000	0	336	336	1	41,0
19/7/06	21/8/06	B2	100.800	0	326	326	1	40,2
21/8/06	19/9/06	B2	91.200	0	362	362	1	37,4
19/9/06	19/10/06	B2	76.800	0	271	271	1	39,3
19/10/06	17/11/06	B2	69.600	0	278	278	1	37,2
17/11/06	11/12/06	B2	52.800	0	266	233	1	34,4

Πίνακας 4.1: Ηλεκτρική ισχύς και κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου το έτος 2006 [6]

Εμβαδόν και κατανομή χώρων ανά όροφο του κτιρίου

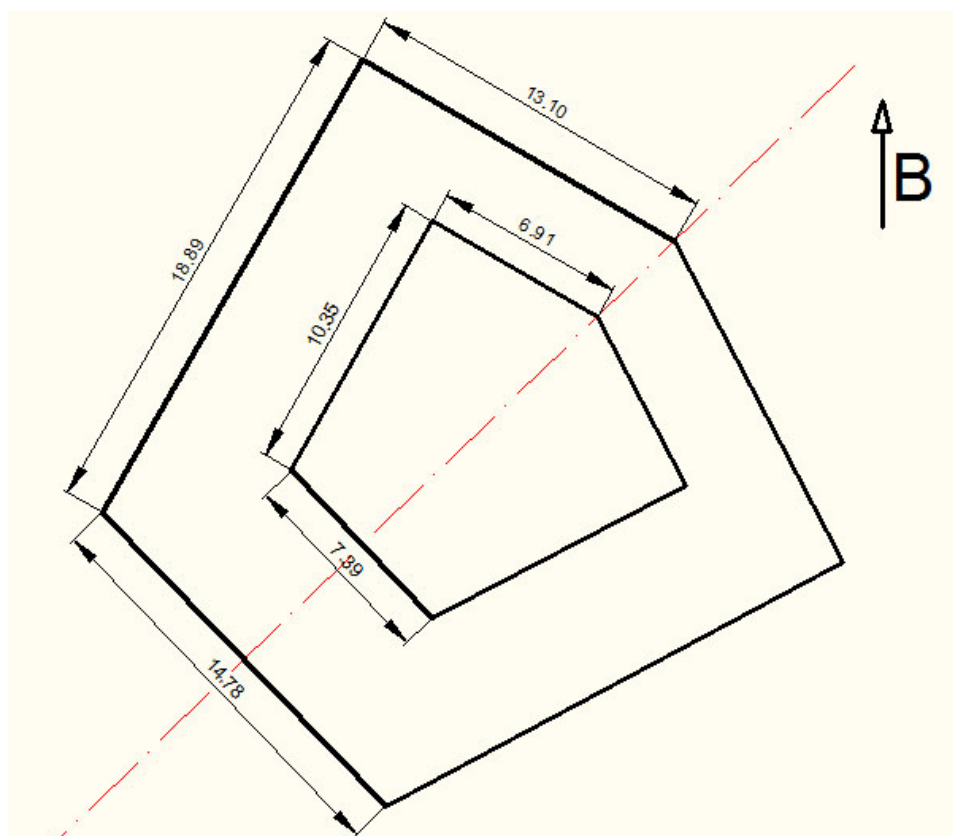
ΕΠΙΠΕΔΟ	ΧΡΗΣΗ	ΩΦΕΛΙΜΟ ΕΜΒΑΔΟ (m ²)
Γ' Υπόγειο	Χώροι ηλεκτρομηχανολογικού	537,85
Β' Υπόγειο	Γραφείο συντηρητών	30
	Χώρος στάθμευσης	-
Α' Υπόγειο	Κυλικείο	45,6
Ισόγειο	Αίθουσα συναλλαγών	595,25
	Γραφεία ασφαλείας	34,75
	Βοηθητικοί χώροι	29,85
Ημιώροφος	Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	160,05
	Ιατρείο	39,3
	Διάδρομος και χώρος αναμονής	97,5
	WC	8,15
Α' Όροφος	Γραφεία	400
	WC	8,15
Β' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
Γ' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
Δ' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
Ε' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
ΣΤ' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
Ζ' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
Η' Όροφος	Γραφεία	395,6
	Κουζινάκι	4,4
	WC	8,15
Σύνολο		4275,65

Πίνακας 4.2: Εμβαδόν και κατανομή χώρων ανά όροφο [6]

Στους πίνακες 4.1 και 4.2 παρουσιάζουμε, για λόγους πληρότητας, κάποια ενδιαφέροντα στοιχεία για το κτίριο που εξετάζουμε. Τονίζουμε εδώ και πάλι ότι οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του κτιρίου, όπως αυτές φαίνονται στον πίνακα 4.1, δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα την Φ/Β μας εγκατάσταση καθ'ότι η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται θα διοχετευτεί εξ'ολοκλήρου στο δίκτυο της Δ.Ε.Η μέσω ξεχωριστού πίνακα. Όπως εξηγήσαμε και στο κεφάλαιο 2, ο συμψηφισμός που γίνεται είναι λογιστικός και όχι ενεργειακός.

Η εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος που μελετούμε θα γίνει στην ταράτσα του κτιρίου της Εθνικής. Στην εικόνα 4.7 φαίνεται η κάτοψη του τελευταίου ορόφου του κτιρίου. Με βάση την κάτοψη αυτή σχεδιάσαμε, με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος "Autocad 2010", την κάτοψη της ταράτσας του κτιρίου με τις βασικές της διαστάσεις όπως αυτή φαίνεται στην εικόνα 4.8. Όπως εξηγήσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο οι διαστάσεις της οροφής καθώς και οι οποιεσδήποτε ιδιαιτερότητές της παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εγκατάσταση. Γι' αυτό το λόγο ο λεπτομερής σχεδιασμός της οροφής/στέγης αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σχεδίασης (συνήθως με χρήση σχεδιαστικών προγραμμάτων).

Στο κέντρο της ταράτσας υπάρχει δώμα σε ανάλογο σχήμα με το υπόλοιπο κτίριο. Το εμβαδό ολόκληρης της ταράτσας είναι 407 m^2 ενώ του δώματος στο κέντρο 115 m^2 . Τα πλαίσια θα τοποθετηθούν, σύμφωνα με όσα έχουν ειπωθεί ως εδώ, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30° ώστε να επιτύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Στην εικόνα 4.8 σημειώνεται η κατεύθυνση του βορρά.

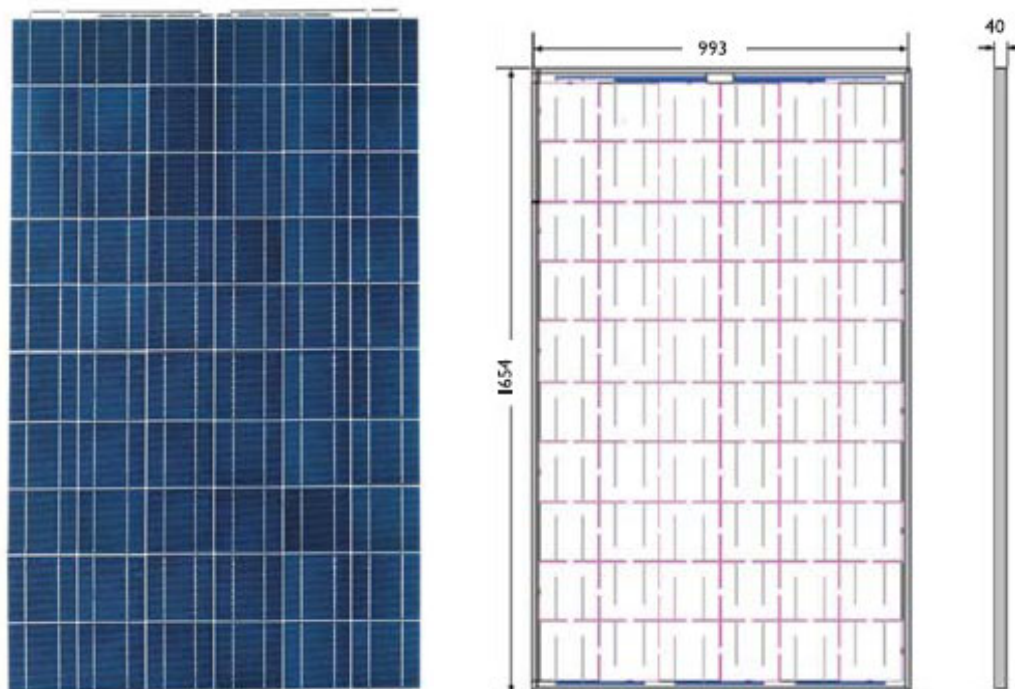


Εικόνα 4.8 Κάτοψη της ταράτσας του κτιρίου. Σημειώνεται η κατεύθυνση του Βορρά

4.3 Σχεδιασμός και εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

4.3.1 Επιλογή υλικών εγκατάστασης

Επιλέξαμε πολυκρυσταλλικά πλαίσια της ελληνικής εταιρείας SILCIO S.A. και συγκεκριμένα αυτά των 235W. Στην εικόνα 4.9 φαίνεται το πλαίσιο καθώς και οι διαστάσεις του. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους πίνακες 4.3 και 4.4 παρακάτω.



Εικόνα 4.9 Φ/Β πλαίσιο της SILCIO S.A. [13]

Ισχύς Πλαισίου (Ανοχή 0/ + 5W)		SE 235 W _p
Ονομαστική Τάση V _{mpp}	(V)	29,20
Ονομαστική Τάση I _{mpp}	(A)	8,05
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος V _{oc}	(V)	36,90
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης I _{sc}	(A)	8,65
Βαθμός Απόδοσης (%)	(%)	14,30

Πίνακας 4.3 Φ/Β πλαίσιο της SILCIO S.A. [13]

Ηλεκτρικά Δεδομένα	
Μέγιστη Τάση Συστήματος	1.000 (V)
Συντελεστής Θερμοκρασίας – Τάση Ανοικτού Κυκλώματος	-0,30%/ °C
Συντελεστής Θερμοκρασίας – Ρεύμα Βραχυκυκλώσεως	0,047%/ °C
Συντελεστής Θερμοκρασίας – Ισχύς	-0,39%/ °C

Πίνακας 4.4 Φ/Β πλαίσιο της SILCIO S.A. [13]

Να σημειώσουμε εδώ ότι οι παραπάνω τιμές δίνονται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου(STC): ηλιακή ακτινοβολία 1.000 W/m^2 , AM 1,5 και θερμοκρασία panel 25°C .

Επιλέξαμε τον μετατροπέα SUNNY TRIPOWER 10000 TL της SMA. Ο συγκεκριμένος μετατροπέας (inverter) είναι τριφασικός, ονομαστικής ισχύος 10000W και δεν έχει μετασχηματιστή. Όπως θα εξηγήσουμε παρακάτω, η λειτουργία των Φ/Β πλαισίων εναρμονίζεται με τον μετατροπέα και το σημείο λειτουργίας που επιτυγχάνεται είναι αρκετά κοντά στο ονομαστικό.

SUNNY TRIPOWER
10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL



Εικόνα 4.10 inverter SUNNY TRIPOWER 10000 TL της SMA [8]

Τεχνικά χαρακτηριστικά		
Είσοδος DC		
Μέγιστη Ισχύς DC ($\cos\phi = 1$)	(W)	10.200
Μέγιστη Τάση DC	(V)	1.000
Εύρος Τάσης Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPP)	(V)	320 – 800
Ονομαστική Τάση DC	(V)	600
Ελάχιστη Τάση DC / Τάση εκκίνησης	(V)	150 / 188
Έξοδος AC		
Ονομαστική Ισχύς AC (230 V, 50 Hz)	(W)	10.000
Μέγιστη Φαινόμενη Ισχύς AC	(VA)	10.000
Μέγιστο Ρεύμα εξόδου	(A)	16
Βαθμός Απόδοσης		
Μέγιστος Βαθμός Απόδοσης / Euro-Eta (EBA)	(%)	98,1 / 97,7

Πίνακας 4.5 inverter SUNNY TRIPOWER 10000 TL της SMA [8]

Επιλέξαμε βάσεις στήριξης των Φ/Β πλαισίων της γερμανικής εταιρίας Schletter.



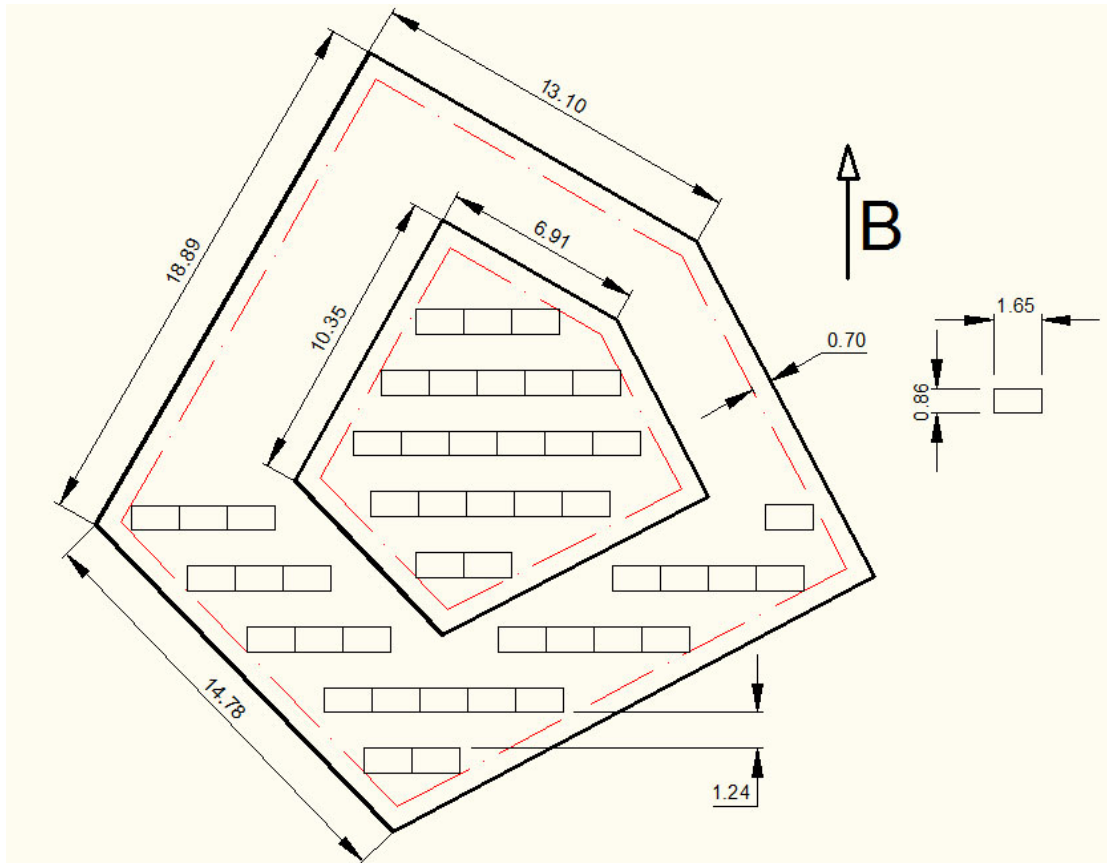
Εικόνα 4.11 βάσεις στήριξης Φ/Β πλαισίων της Schletter [14]

Οι βάσεις είναι μεταλλικές και σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να αντέχουν το μηχανικό φορτίο (βάρος, καταπονήσεις από τον άνεμο, χιόνι). Είναι από αλουμίνιο και παρέχουν προστασία από ολίσθηση και ανατροπή.

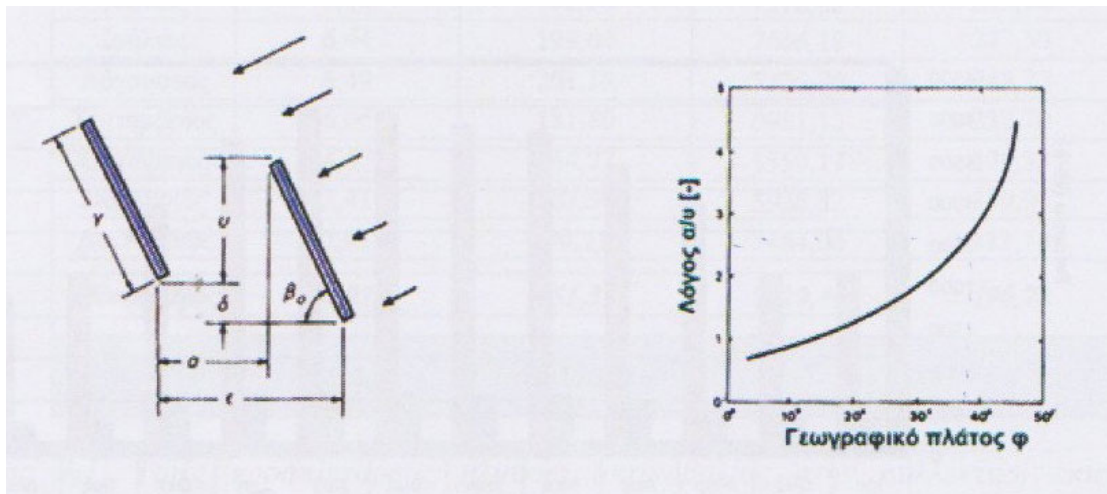
4.3.2 Χωροθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Για να επιτύχουμε μέγιστη απόδοση τοποθετήσαμε τα πλαίσια με προσανατολισμό νότιο και κλίση 30° από το οριζόντιο επίπεδο. Στην εικόνα 4.12 φαίνεται η χωροθέτηση των πλαισίων, όπως αυτή σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Autocad.

Η σχεδίαση των θέσεων στις οποίες τοποθετούνται οι σειρές των πλαισίων πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά. Αρχικά επιλέξαμε οριζόντιο προσανατολισμό για τα πλαίσια καθ'ότι υπολογίστηκε ότι έτσι μπορούν να τοποθετηθούν περισσότερα απ'ότι αν τα τοποθετούσαμε κάθετα. Ο χώρος μέσα στον οποίο τοποθετούνται τα πλαίσια απέχει 70 cm από την άκρη της ταράτσας και του δώματος, καθ'ότι στα 70 αυτά εκατοστά περιλαμβάνονται τόσο το στηθαίο, που έχει πάχος 20 cm, όσο και η απαραίτητη από την ελληνική νομοθεσία απόσταση των 50 cm από αυτό. Αυτός ο καθαρός χώρος οριοθετείται από τις κόκκινες, διακεκομμένες γραμμές. Τέλος σημαντικό ρόλο παίζει ο υπολογισμός των αναγκαίων αποστάσεων μεταξύ των πλαισίων ώστε να αποφεύγεται η μεταξύ τους σκίαση (γνωστή και ως inter-row shading).



Εικόνα 4.12 τοποθέτηση πλαισίων, οι αποστάσεις δίνονται σε μέτρα (m).



Εικόνα 4.13 Γραφική παράσταση του λόγου της ελεύθερης απόστασης (α) δύο Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες όμορες σειρές προς την επικάλυψη του ύψους u, σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος φ του χώρου εγκατάστασης [15]

Το πλαίσιο που επιλέξαμε, με δεδομένο τον οριζόντιο προσανατολισμό τοποθέτησης, έχει μήκος (γ) 0.993 m και πλάτος 1,654 m.

$$u = \gamma \sin\beta - \delta \text{ (m)}$$

γ: μήκος πλαισίων

β: γωνία κλίσης των πλαισίων (30°)

δ : διαφορά ύψους μεταξύ των διαδοχικών σειρών (εδώ $\delta = 0$)

άρα $v = 0,5\text{m}$

Για να υπολογίσουμε την ελεύθερη απόσταση (a) μεταξύ δύο διαδοχικών σειρών Φ/Β πλαισίων, χρησιμοποιούμε το διάγραμμα της εικόνας 4.13. Για γεωγραφικό πλάτος $\varphi = 37^\circ$ είναι $(a/v) = 2,5$ οπότε $a = 1,25 \text{ m}$. Αυτή είναι η ελάχιστη ελεύθερη απόσταση που πρέπει να τηρείται, ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχει σκίαση μεταξύ των σειρών από τις 10:00 μέχρι τις 14:00 στις 21/12.

Μία ακόμα παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπ'όψη είναι το κατά πόσο επιτρέπεται η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ταράτσα του δώματος. Σύμφωνα με τους πολεοδομικούς όρους που διέπουν τις εγκαταστάσεις σε κτίρια, δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων και ηλιακών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης χώρου πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου και του φρεατίου ανελκυστήρα. Το δώμα που εξετάζουμε δεν εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία και επομένως μπορούμε να προχωρήσουμε στην επικάλυψη του χώρου αυτού με πλαίσια.

Με βάση τα παραπάνω, τοποθετούνται στον χώρο της ταράτσας και του δώματος της Εθνικής Τράπεζας 46 πλαίσια των 235W το καθένα, σε διάταξη όπως αυτή φαίνεται στην εικόνα 4.12. Επομένως προκύπτει ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του έργου ανέρχεται σε 10.800W.

4.4 Προσομοίωση με το πρόγραμμα PVSYST

Για την προσομοίωση του έργου χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα PVSYST, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην αγορά και θεωρείται ένα από τα πιο πλήρη και αξιόπιστα στον τομέα του πρόγραμμα. Το PVSYST δημιουργήθηκε στο πανεπιστήμιο της Γενεύης στην Ελβετία, και βρίσκεται υπό διαρκή ανάπτυξη και βελτίωση. Εμείς χρησιμοποιήσαμε την τελευταία διαθέσιμη έκδοσή του, PVSYST 5.4.

4.4.1 Εισαγωγή στο PVSYST

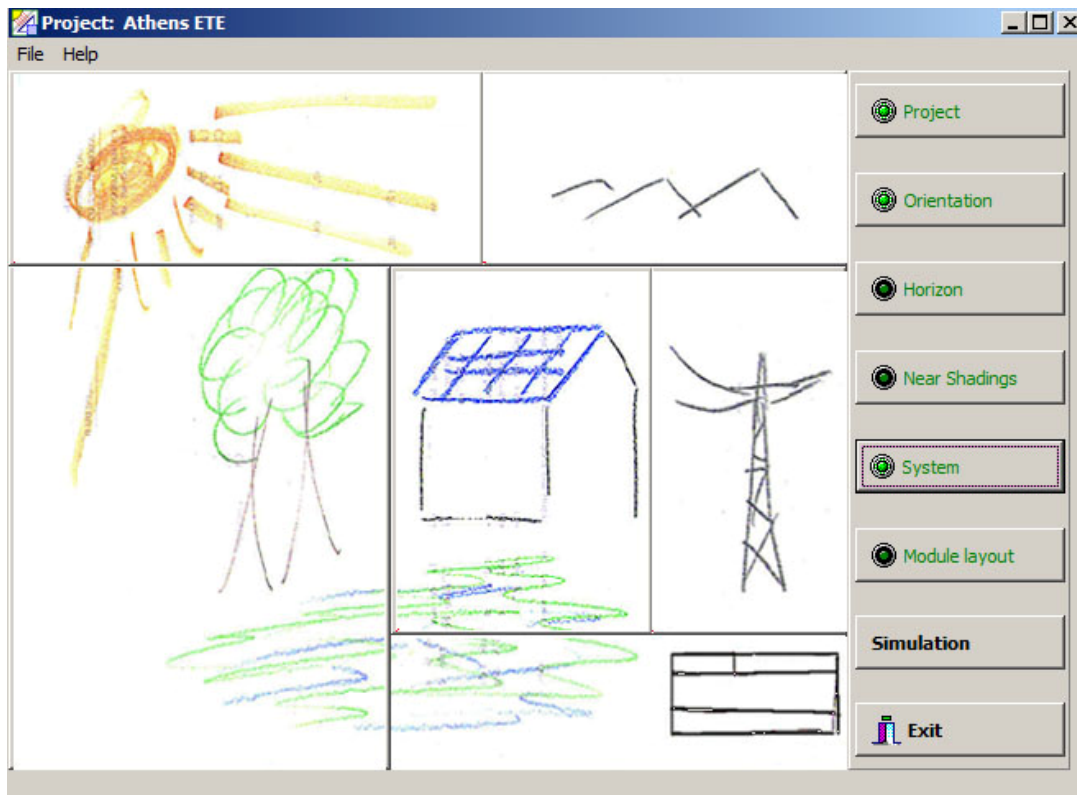
Με το PVSYST μπορούμε να προσομοιώσουμε και άλλα συστήματα όπως αυτόνομη Φ/Β εγκατάσταση κ.α. Στην εικόνα 4.14 φαίνεται το αρχικό menu του PVSYST. Υπάρχει η επιλογή του *Preliminary design* όπου γίνεται μια προκαταρκτική μελέτη σύμφωνα την οποία μπορούν να βγουν κάποια πρώτα γενικά συμπεράσματα. Η λεπτομερής ανάλυση γίνεται στην επιλογή *Project design* ενώ στα εργαλεία (*Tools*) παρέχονται κάποιες επιπλέον δυνατότητες. Δεξιά φαίνεται ο τύπος της εγκατάστασης για την οποία σκοπεύουμε να κάνουμε ανάλυση, όπου εμείς επιλέγουμε διασυνδεδεμένο σύστημα (*Grid-Connected*).



Εικόνα 4.14 Αρχικό menu του PVSYST

Η επιλογή του *Project design* που χρησιμοποιούμε μας παρέχει τη δυνατότητα να προσομοιώσουμε με αρκετά μεγάλη ακρίβεια το έργο μας. Μπορούμε να υπολογίσουμε πόση ενέργεια θα παράγεται από τα Φ/Β πλαίσια σύμφωνα με τα ακριβέστερα στατιστικά μοντέλα για την περιοχή της εγκατάστασης, να λάβουμε υπ' όψη τον πολύ σημαντικό παράγοντα της σκίασης μέσω εργαλείων τρισδιάστατης σχεδίασης και να κάνουμε ακριβή οικονομική αξιολόγηση για το έργο, λαμβάνοντας υπ' όψη πληθώρα οικονομικών παραγόντων.

Όλες αυτές οι δυνατότητες για το διασυνδεδεμένο μας σύστημα ελέγχονται από τις επιλογές που φαίνονται στην εικόνα 4.15.



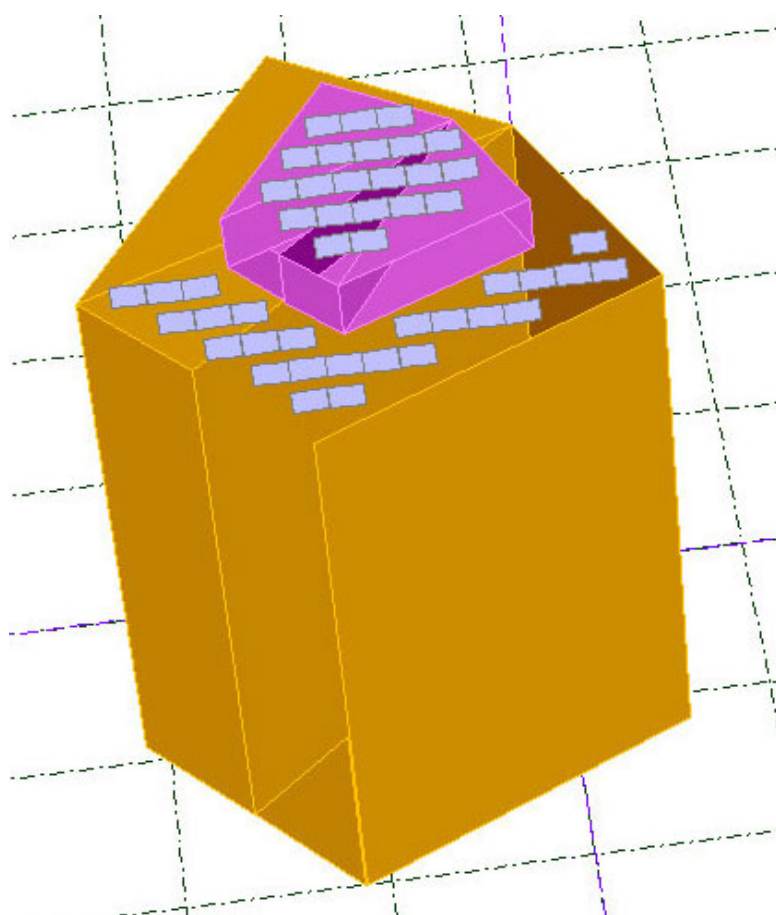
Εικόνα 4.15 Αρχικό menu του PVSYS

Για τον ακριβή υπολογισμό των σκιάσεων το πρόγραμμα διαθέτει μία εφαρμογή τρισδιάστατης σχεδίασης του τοπίου και των πλαισίων. Έπειτα γίνεται προσομοίωση της τροχιάς του ήλιου για κάθε μέρα και ώρα του έτους και παράγονται διαγράμματα σκίασης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

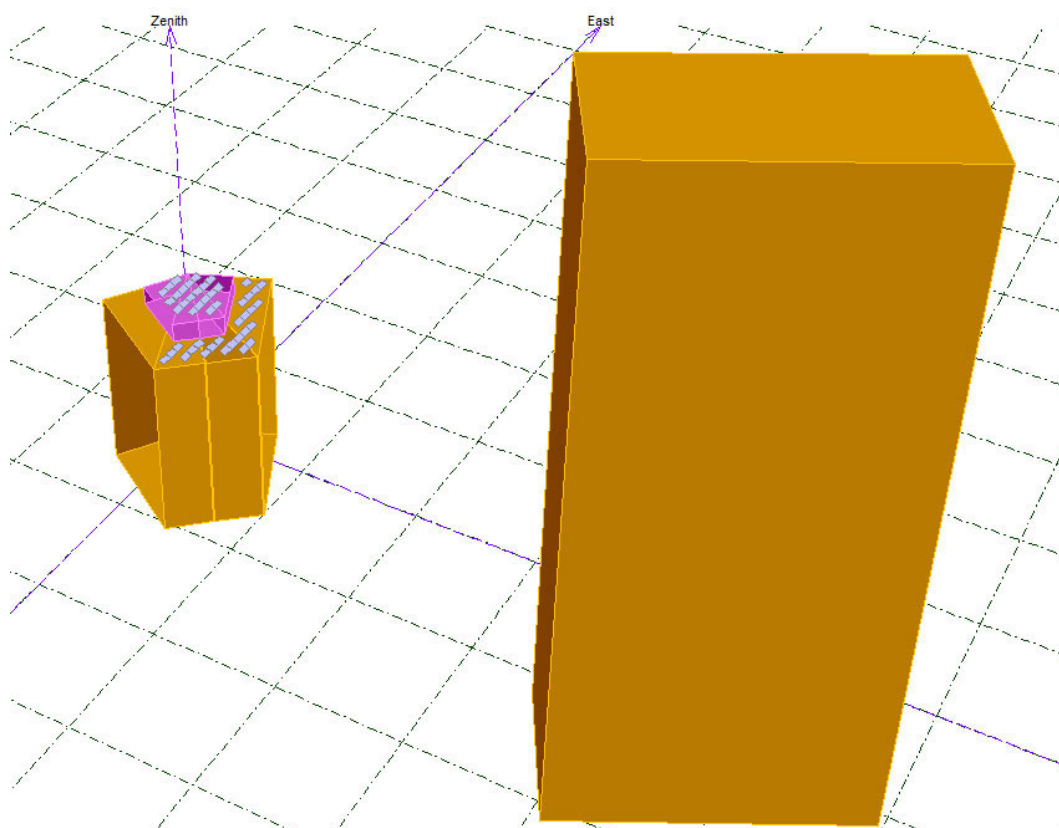
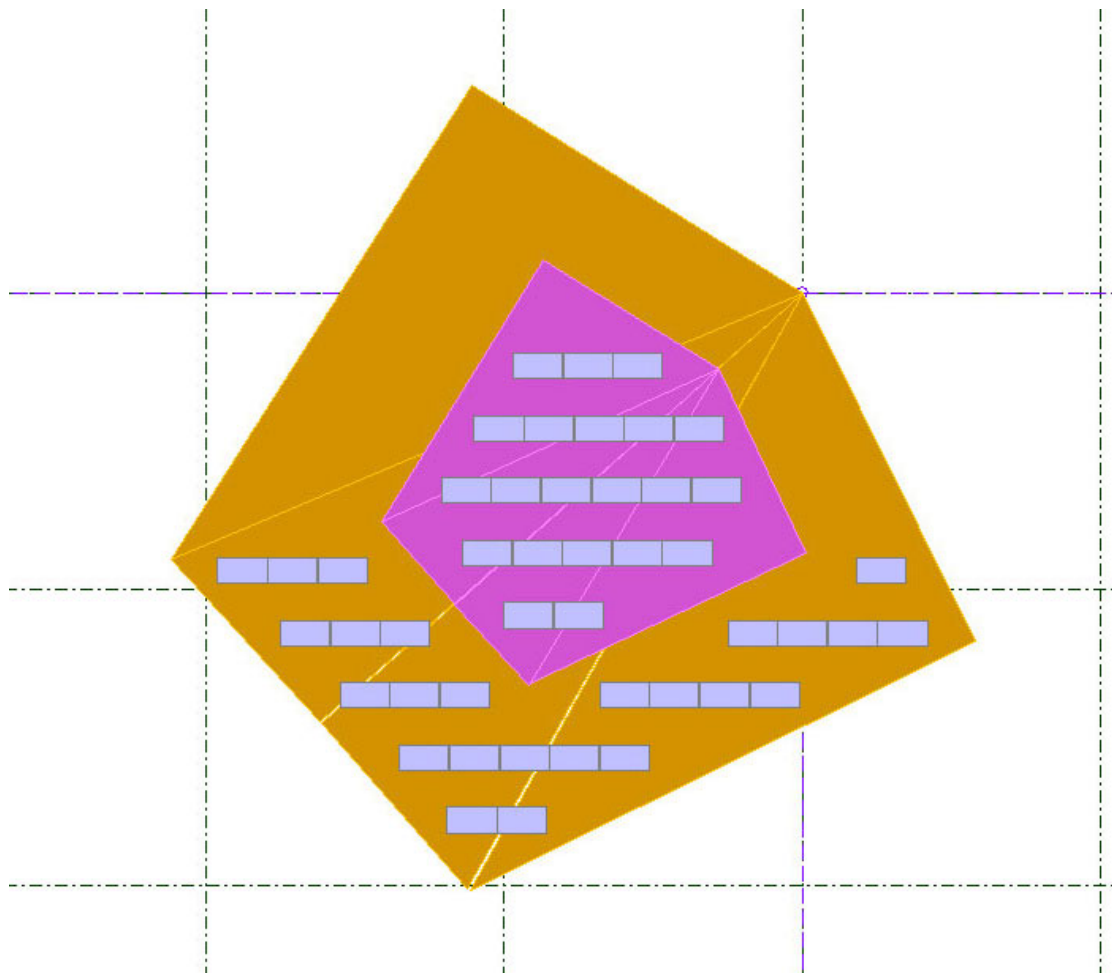
4.4.2 Σκιάσεις

Αρχικά μεταφέραμε στο περιβάλλον του PVSYST τη σχεδιασμένη στο AUTOCAD χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων όπως αυτή φαίνεται στην εικόνα 4.12. Στην εικόνα 4.16 φαίνεται το υπό μελέτη κτίριο, το δώμα είναι σχεδιασμένο με μωβ χρώμα. Στην εικόνα 4.17 βλέπουμε την κάτοψη της ταράτσας και την ακριβή τοποθέτηση των πλαισίων καθώς και τον «Πύργο των Αθηνών».

Όπως είπαμε στην εισαγωγή του κεφαλαίου 4, θα μελετηθούν δύο σενάρια, όπου στο ένα θα λαμβάνεται υπ' όψη η σκίαση εξαιτίας του Πύργου των Αθηνών ενώ στο άλλο όχι.



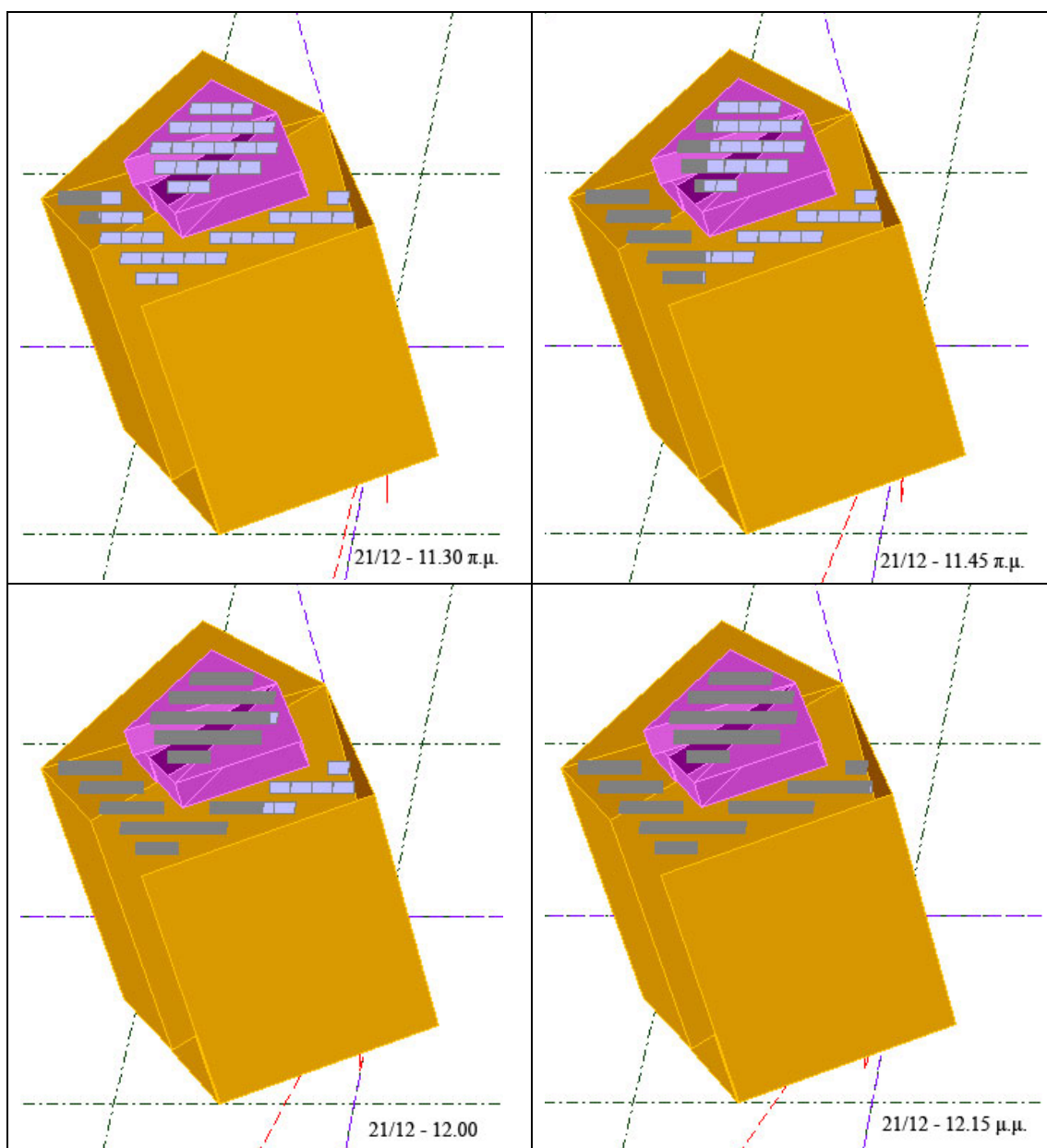
Εικόνα 4.16 Τρισδιάστατη σχεδίαση του έργου στο PVSYST



Εικόνα 4.17 Κάτοψη και τρισδιάστατη σχεδίαση του έργου στο PVSYST

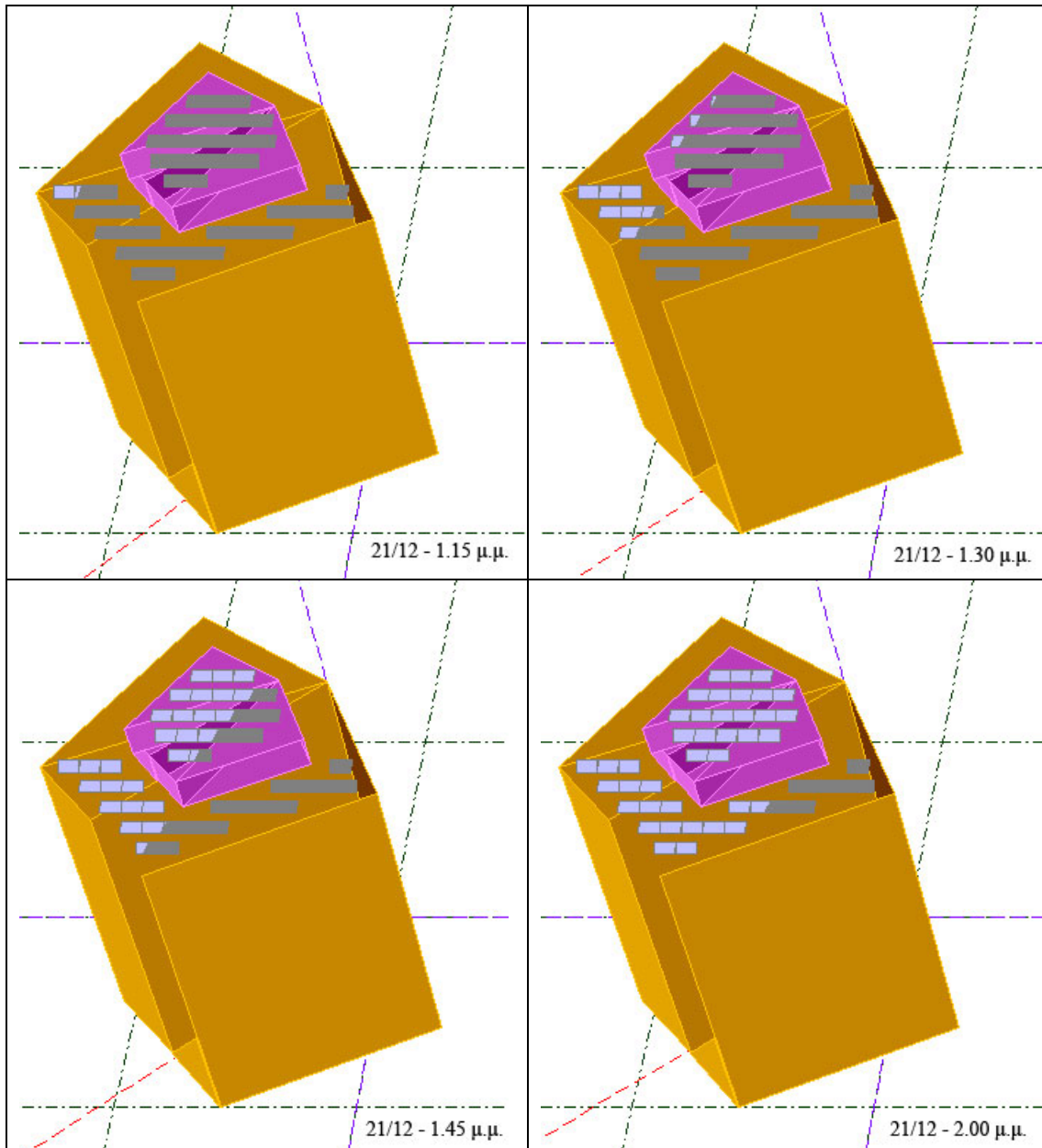
Εδώ παρουσιάζουμε τη σκίαση στα πλαίσια από τον «Πύργο των Αθηνών». Παρ'όλο που ο «Πύργος των Αθηνών» δεν είναι η μοναδική πηγή σκίασης για το έργο, είναι αυτή που διαφοροποιείται στα δύο σενάρια που εξετάζουμε. Η μερική σκίαση που προκαλείται σε μικρό μέρος των πλαισίων λόγω του ειδικού σχήματος και της ασυμμετρίας του δώματος καθώς και η πολύ μικρή σκίαση μεταξύ των συνεχόμενων σειρών από πλαίσια είναι η ίδια στις 2 περιπτώσεις.

Στον πίνακα 4.6 γίνεται προσομοίωση της μεγαλύτερης μέρας του χρόνου (21/12). Η προσομοίωση του PVSYST ξεκινά από την ανατολή του ήλιου και φτάνει ως τη δύση με βήμα 15 λεπτά της ώρας. Βλέπουμε ότι στις 11.30 π.μ. οι 2 πανέλα αρχίζουν να σκιάζονται από τον Πύργο και καθώς προχωράει η ώρα η σκιά καλύπτει ολοένα και μεγαλύτερο μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος έως ότου, στις 12.15 μ.μ., όλα τα πανέλα να έχουν καλυφθεί.



Πίνακας 4.6 Σκίαση που προκαλεί ο Πύργος στο κτίριο της Εθνικής στις 21/12 ανά 15 λεπτά

Τα πάνελα παραμένουν σκιασμένα και στις 1.15 μ.μ. αρχίζει η αντίστροφη διαδικασία. Η σκίαση ελατώνεται σταδιακά και στις 2.15 περίπου μ.μ. τα πάνελα λειτουργούν και πάλι κανονικά, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.7.



Πίνακας 4.7 Σκίαση που προκαλεί ο Πύργος στο κτίριο της Εθνικής στις 21/12 ανά 15 λεπτά

Με τον τρόπο αυτό και ανά τέταρτο της ώρας μπορούμε να δούμε ποια πλαίσια και ποιο ποσοστό των πλαισίων του συστήματός μας σκιάζεται. Στη συνέχεια το πρόγραμμα υπολογίζει τις ημερήσιες απώλειες και παράγει διαγράμματα απωλειών για κάθε μέρα του έτους.

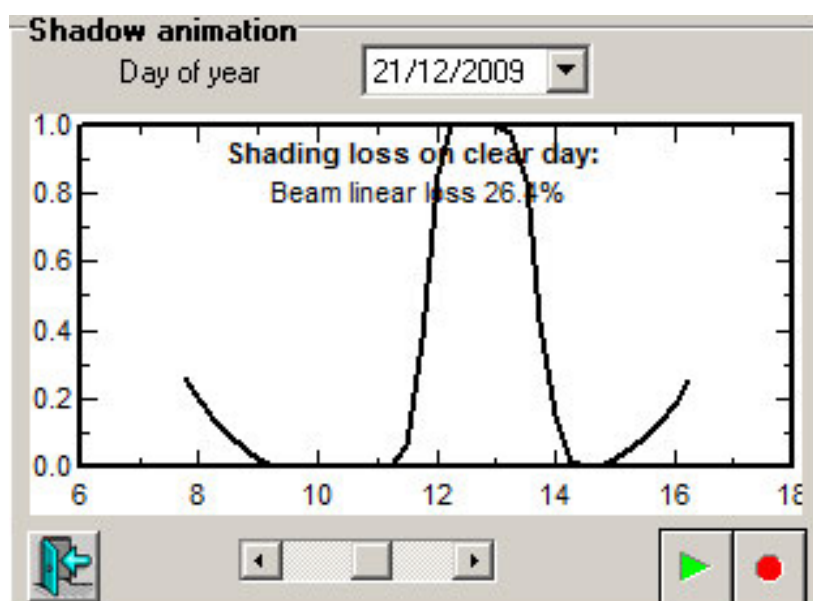
Στην εικόνα 4.18 φαίνεται το ημερήσιο διάγραμμα απωλειών λόγω σκίασης για τις 21/12 (το έτος δεν έχει σημασία) στην περίπτωση που λαμβάνουμε υπ' όψη τον «Πύργο των Αθηνών». Παρατηρούμε ότι υπάρχουν τρία χρονικά διαστήματα κατά τα οποία εμφανίζονται σκιάσεις στο έργο. Από τις 8 π.μ. ως τις 9 περίπου φαίνεται ότι το

σύστημά μας εμφανίζει σκιάσεις που ξεκινούν από περίπου 20% στις 8 π.μ. και ελατώνονται έως ότου στις 9 π.μ. το σύστημα παραμένει εντελώς ασκίαστο. Αυτές οι μικρής κλίμακας σκιάσεις προέρχονται από τη γεωμετρία του δώματος. Καθώς ο ήλιος ανατέλλει το δώμα ύψους τριών μέτρων σκιάζει μερικά πλαίσια που βρίσκονται στο ύψος της ταράτσας. Καθώς ο ήλιος προχωράει η σκίαση αυτή υποχωρεί και στις 9 π.μ. έχει μηδενιστεί. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τις σκιάσεις που δημιουργούνται στο χρονικό διάστημα από 2.30/3 μ.μ. ως τη δύση του ήλιου μετά τις 4 μ.μ. Στο διάστημα αυτό, καθώς ο ήλιος δύει, το δώμα σκιάζει μερικά πλαίσια που βρίσκονται στο ύψος της ταράτσας και είναι ανατολικά.

Οι σκιάσεις κατά τα δύο αυτά χρονικά διαστήματα (ανατολή – δύση), παρ'ότι ανεπιθύμητες, δεν έχουν μεγάλη επίπτωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο λόγος είναι ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ χαμηλή τις ώρες αυτές με αποτέλεσμα οι απώλειες που παρατηρούνται να μην είναι τόσο σημαντικές. Όπως είναι γνωστό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται καθώς ο ήλιος ανατέλλει και κορυφώνεται κατά το ηλιακό μεσημέρι, ύστερα, καθώς δύει, η ένταση αρχίζει και μειώνεται έως ότου κατά τη δύση μηδενίζεται.

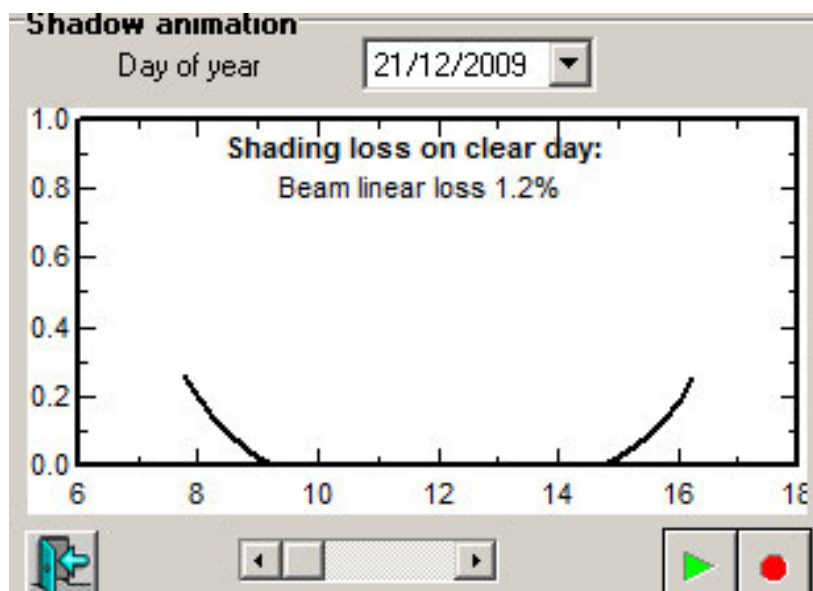
Το τρίτο χρονικό διάστημα που εμφανίζονται σκιάσεις, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.18, είναι το διάστημα από τις 11.15 π.μ. ως τις 2.15 μ.μ. Αυτή είναι η σκίαση που περιγράψαμε παραπάνω στους πίνακες 4.6 και 4.7. Πρόκειται δηλαδή για τη σκίαση που προέρχεται από τον «Πύργο των Αθηνών». Βλέπουμε ότι στις 11.30 περίπου αρχίζουν να εμφανίζονται σκιάσεις και στο διάστημα 12.15 ως 1.15 μ.μ. η σκίαση καλύπτει το 100% του συστήματός μας.

Η σκίαση αυτή έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις, τόσο στην παραγωγή ενέργειας και την απόδοση του συστήματός μας, όσο και στη διάρκεια ζωής του, όπως θα αναλυθεί σε επόμενο υποκεφάλαιο. Ο λόγος είναι ότι στις ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι η ηλιακή ακτινοβολία κορυφώνεται και το σύστημά, όντας καθολικά σκιασμένο, αδυνατεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 4.18 Απώλειες σκίασης στις 21/12 με Πύργο

Διαφορετική τελειώς είναι η εικόνα που παρουσιάζουν οι σκιάσεις του συστήματός μας, αν αγνοήσουμε τον «Πύργο των Αθηνών». Όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.19, η σκίαση που προέρχεται από τον Πύργο έχει πλέον εξαλειφθεί. Οι μόνες σκιάσεις που παραμένουν είναι αυτές που είναι εγγενείς της γεωμετρίας και του σχεδιασμού του συστήματός μας. Οι απώλειες σκίασης για τη συγκεκριμένη μέρα (21/12) είναι μόλις 1.2% σε αντίθεση με 26.4% που ήταν στην περίπτωση του «Πύργου».

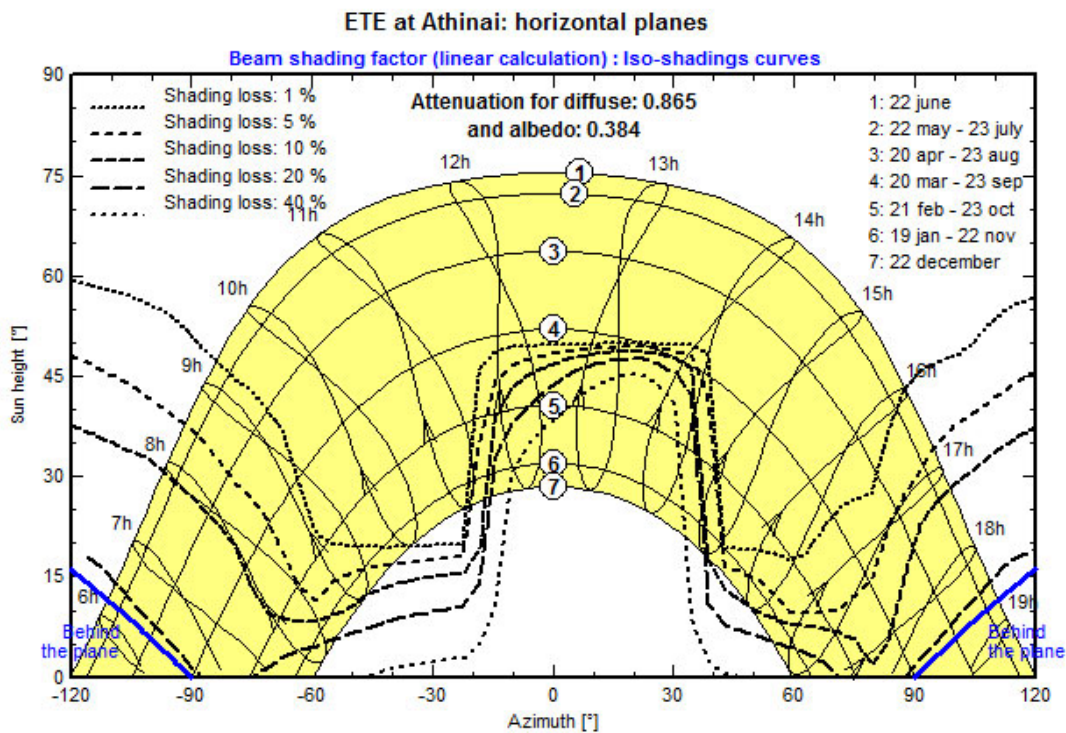


Εικόνα 4.19 Απώλειες σκίασης στις 21/12 χωρίς Πύργο

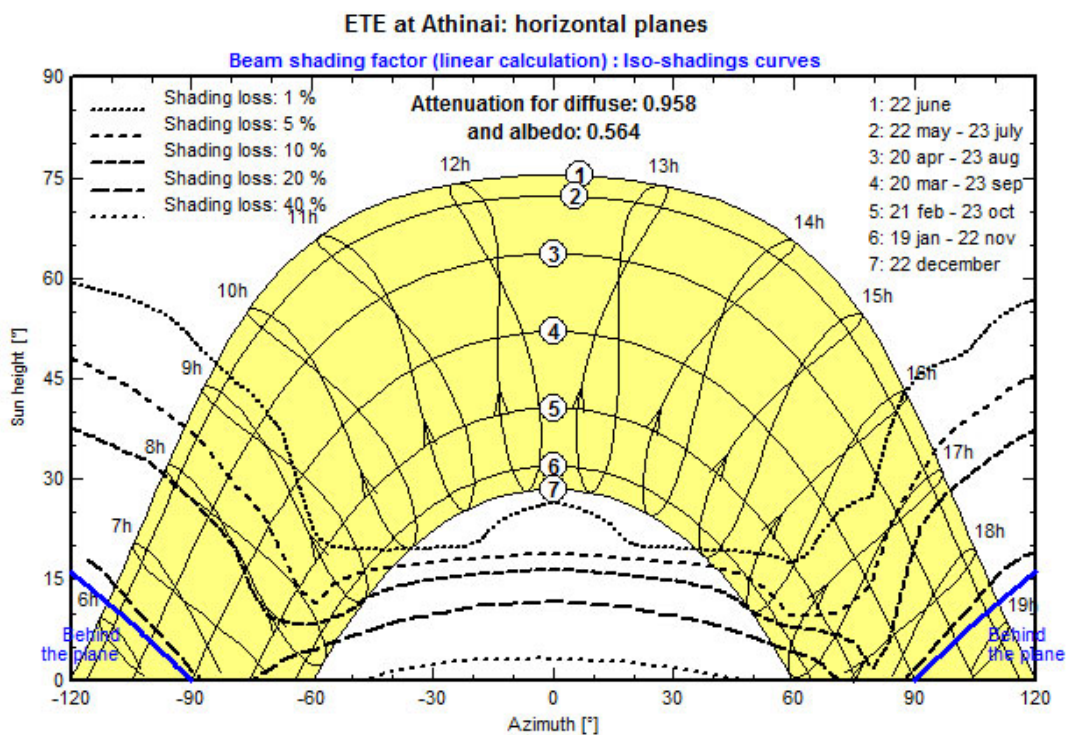
Εν συνεχεία το PVSYST προσομοιώνει κάθε μέρα του χρόνου ώστε να υπολογίσει τις συνολικές ετήσιες απώλειες από σκιάσεις καθώς και την συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην εικόνα 4.20 φαίνεται το διάγραμμα σκιάσεων στην περίπτωση του λαμβάνουμε υπ' όψηνη τον «Πύργο των Αθηνών» για κάθε ώρα και μέρα του έτους.

Παρατηρούμε ότι κατά τους μήνες Μάρτη έως Σεπτέμβρη (γραμμές 4,5,6,7) δημιουργείται σκίαση από τον Πύργο τις ώρες 11-2, δηλαδή τις ώρες που η ακτινοβολία του ήλιου είναι η μεγαλύτερη. Τους καλοκαιρινούς μήνες ο ήλιος είναι πιο ψηλά και γι' αυτό οι σκιάσεις είναι μικρότερες, με αποτέλεσμα ο Πύργος να μην σκιάζει το φωτοβολταϊκό μας σύστημα. Γίνονται και πάλι εμφανείς οι σκιάσεις κατά την ανατολή και δύση του ήλιου, οι οποίες όμως όπως είπαμε δεν παίζουν καθοριστικό ρόλο.

Τα ετήσια διαγράμματα είναι πολύ σημαντικά για τη σχεδίαση και υλοποίηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, καθ' ότι μπορούμε με μία ματιά να κατανοήσουμε τις σκιάσεις και συνήθως να αποφανθούμε για την καταλληλότητα ή μή μιας επένδυσης. Στην δικιά μας τοποθεσία όπου οι σκιάσεις από τον Πύργο είναι ποσοστιαία τόσο μεγάλες και που λαμβάνουν χώρα κατά τις ώρες κοντά στο ηλιακό μεσημέρι, η εγκατάσταση ενός τέτοιου Φ/Β συστήματος δεν ενδείκνεται.



Εικόνα 4.20 Σκίαση καθ'όλη τη διάρκεια του έτους με τον «Πύργο των Αθηνών»



Εικόνα 4.21 Σκίαση καθ'όλη τη διάρκεια του έτους χωρίς τον «Πύργο των Αθηνών»

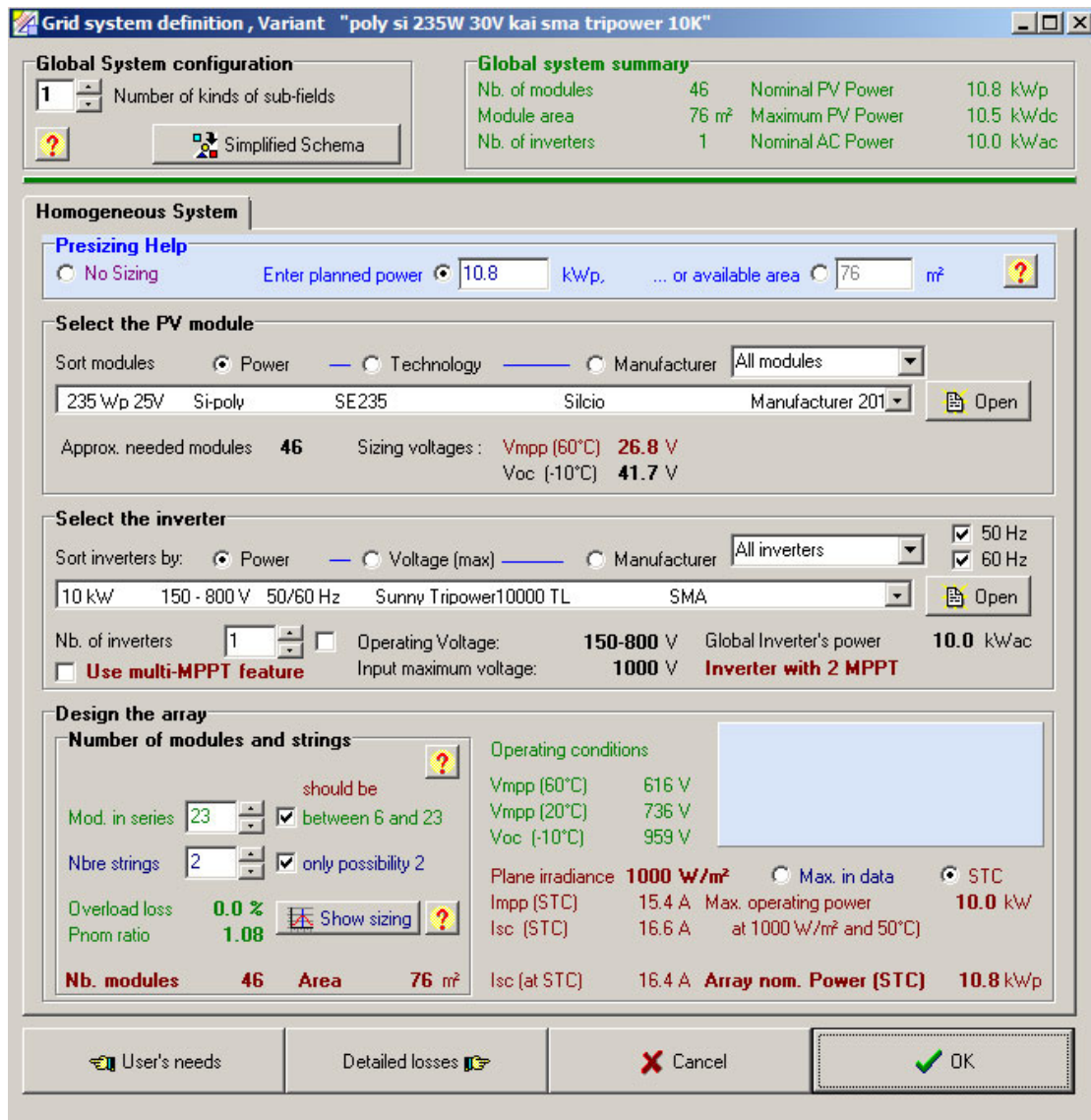
Στην εικόνα 4.21 φαίνεται η επί τοις εκατό σκίαση του έργου στην περίπτωση που αγνοήσουμε τον «Πύργο των Αθηνών», καθ'όλη τη διάρκεια του έτους και ανά περίοδο και ώρα. Στις 21/12 (χημερινό ηλιοστάσιο) ο ήλιος βρίσκεται χαμηλότερα από οποιαδήποτε άλλη μέρα του έτους με αποτέλεσμα να εμφανίζονται οι μεγαλύτερες σκιάσεις. Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ότι κατά τις ώρες 09.30 – 14.30 δεν εμφανίζεται καθόλου σκίαση (σε μέρα με καθαρό ουρανό) στις 21/12 οπότε μπορούμε να εγγυηθούμε 0% σκίαση για οποιαδήποτε μέρα του έτους στο διάστημα 09.30 – 14.30.

4.4.3 Περιγραφή συστήματος

Όπως φαίνεται και από την εικόνα 4.22, επιλέγουμε για το έργο μας τα πλαίσια Silcio poly 235W και inverter τον TRIPOWER 10000 TL της SMA από την τεράστια βάση δεδομένων του PVSYST. Τοποθετούμε τα 46 πλαίσια σε δύο στοιχειοσειρές από 23 πλαίσια η κάθε μια, και το γαλάζιο κουτί κάτω δεξιά παραμένει «κενό», γεγονός που σημαίνει ότι ο inverter λειτουργεί χωρίς προβλήματα όταν στην είσοδό του εφαρμόζουμε την προαναφερθείσα διάταξη. Όταν διαστασιολογούμε αντιστροφείς ελέγχουμε αν πληρούνται τρεις όροι:

1. Η MPP τάση των πλαισίων στους 60°C ($V_{MPP(60^\circ)}$) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη τάση εισόδου του αντιστροφέα
2. Η τάση ανοικτού κυκλώματος στους -10°C ($V_{oc(-10^\circ)}$) πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη τάση εισόδου του αντιστροφέα
3. Ο λόγος ισχύος, δηλαδή ο λόγος της ισχύος του μετατροπέα προς τη μέγιστη ισχύ των Φ/Β να είναι μεταξύ 90 και 115% σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική

Στο δικό μας έργο $V_{MPP(60^\circ)} = 23 \cdot 26.8V = 616V$ που είναι μεγαλύτερο από τα 150 V που είναι η τάση εισόδου του αντιστροφέα. Επίσης η τάση ανοικτού κυκλώματος $V_{oc(-10^\circ)}$ των πλαισίων = 959 V που είναι μικρότερη από τη μέγιστη τάση εισόδου του αντιστροφέα, που είναι 1000 V. Τέλος ο λόγος ισχύος προκύπτει: $10.000/10.800 \cdot 100\% = 93\%$.

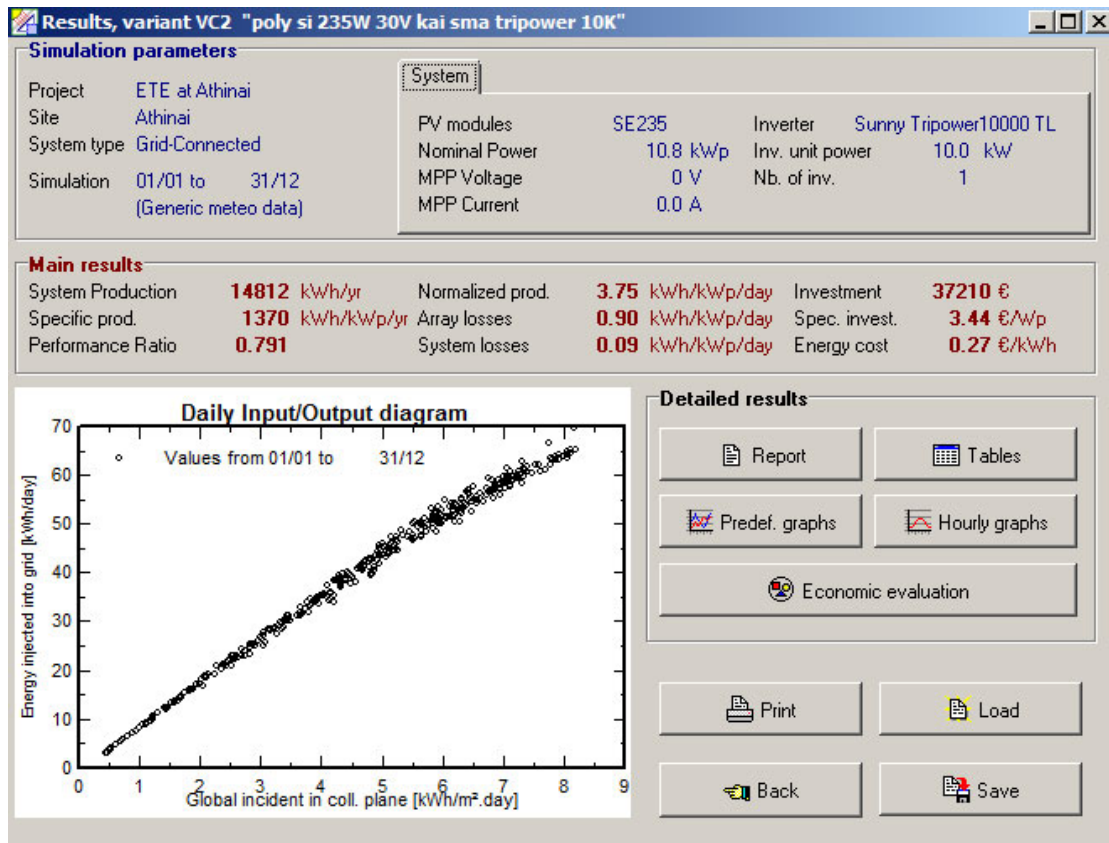


Εικόνα 4.22 Πλαίσια και inverter στο PVSYS

4.4.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στην εικόνα 4.23 φαίνονται τα πρώτα αποτελέσματα της προσομοίωσης του PVSYS για το σενάριο που αγνοούμε την σκίαση από τον Πύργο. Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αυτή την περίπτωση είναι 14.812 KWh. Στον πίνακα 4.8 παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι ανά μήνα προσδοκώμενες απολαβές ενέργειας για το σενάριο που εξετάζουμε καθώς και η απόδοση του Φ/Β συστήματος.

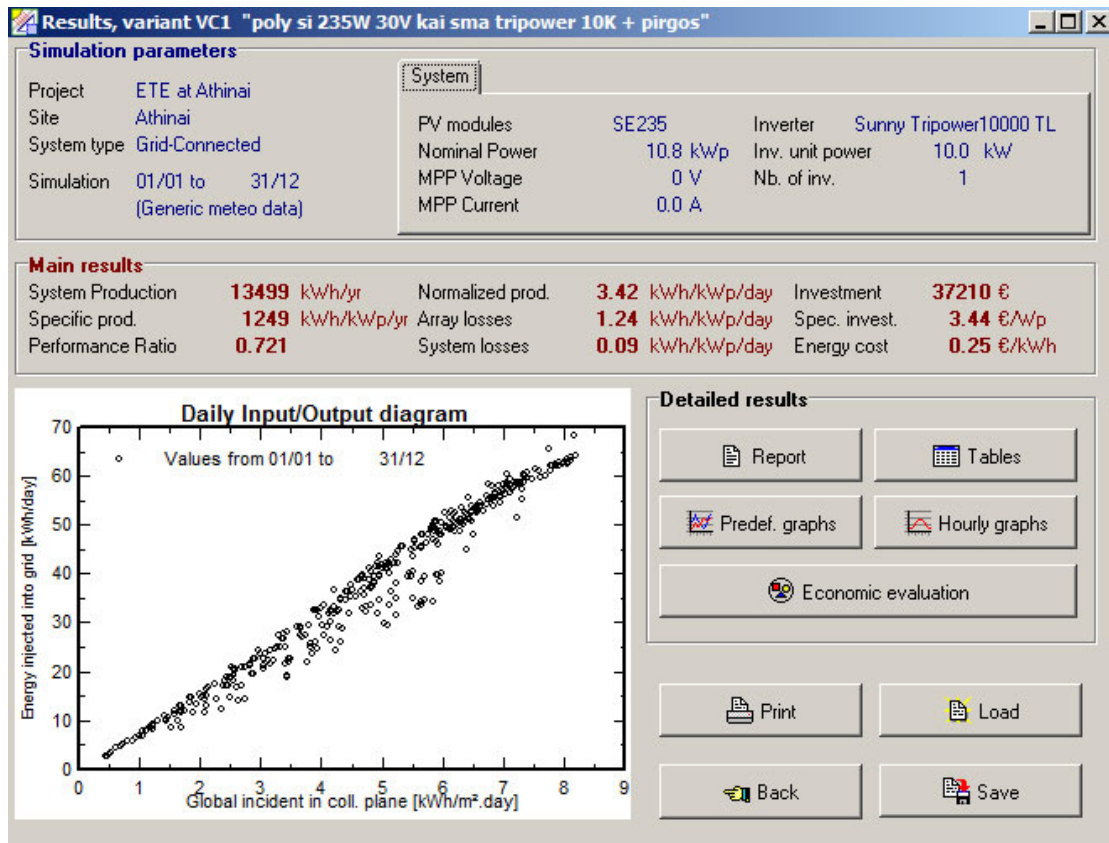
Στη συνέχεια παραθέτουμε στην εικόνα 4.24 και τον πίνακα 4.9 τα αντίστοιχα στοιχεία για το δεύτερο σενάριο που λαμβάνουμε υπ' όψιν τη σκίαση από τον Πύργο. Στην περίπτωση αυτή οι ετήσιες ενεργειακές απολαβές είναι κατ'έκτιμηση 13.499 KWh ενώ φαίνονται και οι μηνιαίες και συνολικές αποδόσεις.



Εικόνα 4.23 Ετήσια παραγωγή στο PVSYS χωρίς τον Πύργο

	Προσπίπτουσα Ακτινοβολία (KWh/m ²) (στο επίπεδο)	Ενεργειακή Απόδοση (KWh)	Απόδοση Φ/Β συστήματος (%)
Ιανουάριος	66.0	894	11.79
Φεβρουάριος	74.0	880	11.77
Μάρτης	104.0	1079	11.84
Απρίλης	147.0	1364	11.64
Μάιος	182.0	1508	11.40
Ιούνιος	201.0	1550	11.08
Ιούλιος	213.0	1630	10.81
Αύγουστος	200.0	1672	10.89
Σεπτέμβριος	155.0	1504	11.07
Οκτώβριος	106.0	1188	11.40
Νοέμβριος	66.0	841	11.56
Δεκέμβριος	52.0	701	11.65
ΣΥΝΟΛΟ	1566.0	14812	11.32

Πίνακας 4.8 Ετήσια παραγωγή ενέργειας και απόδοση Φ/Β συστήματος χωρίς Πύργο



Εικόνα 4.24 Ετήσια παραγωγή στο PVSYSYΤ με τον Πύργο

	Προσπίπτουσα Ακτινοβολία (KWh/m ²) (στο επίπεδο)	Ενεργειακή Απόδοση (KWh)	Απόδοση Φ/Β συστήματος (%)
Ιανουάριος	66.0	666	8.79
Φεβρουάριος	74.0	723	9.67
Μάρτης	104.0	1006	11.05
Απρίλης	147.0	1311	11.18
Μάιος	182.0	1450	10.96
Ιούνιος	201.0	1497	10.70
Ιούλιος	213.0	1580	10.48
Αύγουστος	200.0	1627	10.59
Σεπτέμβριος	155.0	1455	10.70
Οκτώβριος	106.0	1040	9.98
Νοέμβριος	66.0	642	8.83
Δεκέμβριος	52.0	502	8.34
ΣΥΝΟΛΟ	1566.0	13499	10.32

Πίνακας 4.9 Ετήσια παραγωγή ενέργειας και απόδοση Φ/Β συστήματος με τον Πύργο

Συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις, βλέπουμε ότι στην περίπτωση του Πύργου η μείωση στην ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 8.9% σε σχέση με το σενάριο που αγνοούμε τον Πύργο. Εδώ είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι σκιάσεις που υπολογίζει το πρόγραμμα είναι υπολογισμένες γραμμικά, δηλαδή η μείωση σε ενεργειακές απολαβές είναι ανάλογη με το ποσοστό σκίασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι το PVSYST υπολογίζει τις *ελάχιστες* σκιάσεις που εμφανίζονται και αυτή η απλούστευση στην μέθοδο προσομοίωσης έχει πολύ σημαντική επίδραση στην σύγκριση των δύο σεναρίων. Στην πραγματικότητα η μείωση που συμβαίνει είναι αρκετά μεγαλύτερη από 8.9%, διότι η σκίαση δεν είναι γραμμικό φαινόμενο. Όταν ένα πλαίσιο ή έστω ένα μέρος ενός πλαισίου μιας στοιχειοσειράς σκιάζεται, τότε ολόκληρη η στοιχειοσειρά επηρεάζεται με αποτέλεσμα οι ενεργειακές απώλειες να είναι ποσοστιαία μεγαλύτερες από το ποσοστό αύξησης της σκίασης των πλαισίων.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι από τα σκιασμένα πλαίσια περνά μεγάλο ρεύμα με αποτέλεσμα να καταπονούνται πολύ περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι η διάρκεια ζωής τους μειώνεται, ή πιο συγκεκριμένα η μείωση στην απόδοση λόγω της γήρανσης των πλαισίων αυξάνεται περισσότερο στο σενάριο του Πύργου. Σαν αποτέλεσμα της καθημερινής αισθητής αυξομείωσης ρεύματος των πλαισίων, καταπονείται περισσότερο και ο αντιστροφέας.

4.4.5 Οικονομική μελέτη

Κόστος εξοπλισμού (€)				
είδος	Περιγραφή	αξία	Φ.Π.Α.	συνολική αξία
πλαίσια	SILCIO poly 235W	18.676	4.295	22.971
inverter	SMA tripower 10.000W TL	3.400	782	4.182
βάσεις	SHLETTER compact direct	2.376	546	2.922
ηλεκτρολογικό υλικό	πίνακες, καλωδιώσεις, γείωση	1.600	368	1.968

Κόστος εργασιών (€)			
Είδος	αξία	Φ.Π.Α.	συν. αξία
μελέτη εγκατάστασης, ετοιμασία φακέλου για ΔΕΗ/πολεοδομία, εγκατάσταση έργου, επίβλεψη κόστος σύνδεσης με ΔΕΗ	4.200	966	5.166

γενικό σύνολο	37.209 (€)
---------------	------------

Πίνακας 4.10 Κόστη φωτοβολταϊκού έργου

Σύμφωνα με τις σύγχρονες τιμές της αγοράς, για τον υπολογισμό του κόστους του φωτοβολταϊκού έργου λαμβάνουμε υπ' όψη τα εξής:

Τα πλαίσια κοστίζουν 1,73€ / Watt χωρίς Φ.Π.Α. οπότε η τιμή ενός πλαισίου ανέρχεται σε 406€ χωρίς ΦΠΑ

Ο inverter SMA TRIPOWER 10000 TL κοστίζει 3400€ χωρίς Φ.Π.Α.

Το κόστος των βάσεων στήριξης είναι περίπου 0,22 € / Watt οπότε οι βάσεις κοστίζουν συνολικά 2376€ χωρίς ΦΠΑ

Κόστος εγκατάστασης συστήματος, μελέτης εγκατάστασης, ηλεκτρολογικής εργασίας παροχής και επίβλεψης έργου είναι περίπου 4200€ χωρίς ΦΠΑ

Κόστος Ηλεκτρολογικών Πινάκων, καλωδίων: 1600€ χωρίς ΦΠΑ

Το Φ.Π.Α. είναι 23%.

Economic evaluation

Project and Simulation variant

Project: ETE at AthinaI
Simulation: poly si 235W 30V kai sma tripower 10K
PV Array, Pnom = 10.8 kWp System: Grid-Connected System
PV module: SE235 Inverter: Sunny Tripower10000 TL

Values:
 Global By Wp
 By piece By m²

Investment

PV modules	46 units of 235 Wp	406.00	€/ pce	<input type="checkbox"/>	
Supports / Integration		51.65	€/ pce	<input checked="" type="checkbox"/>	
Inverter	1 unit of 10.0 kW	3400.00	€/ pce	<input type="checkbox"/>	
Settings, wiring, ...		1600.00	€		
Others, miscellaneous...	<input type="button" value="Details"/>	4200.00	€		
Substitution underworth		0.00	€		
Gross investment, (excl. taxes)		30251.90	€		

Financing

Taxes	23.00 %	6957.94	€
Subsidies		0.00	€
Net investment		37209.84	€
Annuities		4033.98	€/ yr
Running Costs, Maintenance, insur.		0.00	€/ yr
Total yearly cost		4033.98	€/ yr

Loan

Duration: 15 Years
Rate: 6.8 %
Ann. factor 10.84 %cap./yr

Currency

Europa - EU

Energy cost

Produced Energy	14.8	MWh / year
Yearly cost	4034	€/ year
Energy cost	0.27	€/ kWh

Εικόνα 4.25 Μεγέθη οικονομικής μελέτης στο PVSYSST

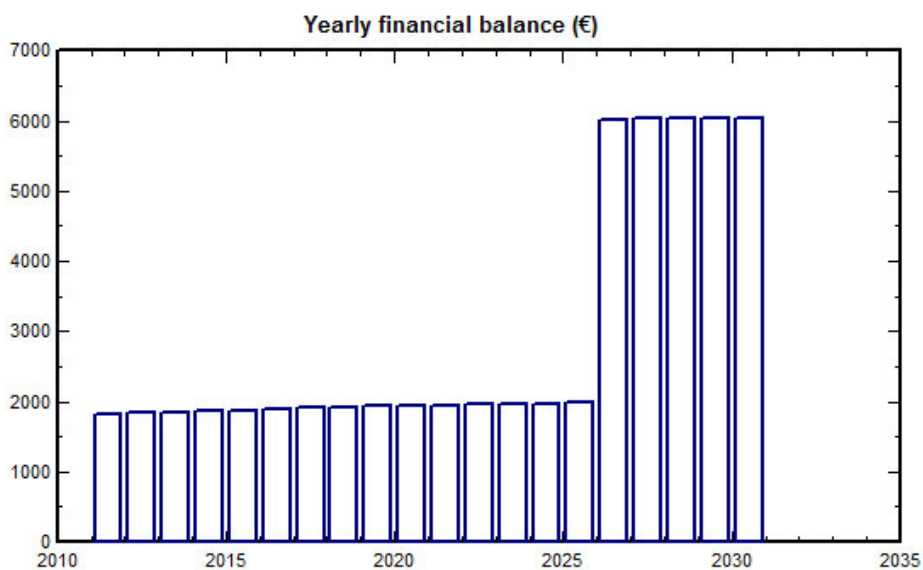
Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.25, το δάνειο που συνάπτουμε με την τράπεζα έχει διάρκεια 15 έτη και επιτόκιο 6.8%. Το PVSYSST λαμβάνει υπ' όψη τα οικονομικά μεγέθη της εγκατάστασής μας, δηλαδή τα κόστη εξοπλισμού και εργασιών, τη

διάρκεια ζωής και το επιτόκιο του δανείου καθώς και την τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας και οποιουδήποτε ειδικούς όρους όπως π.χ. την ετήσια αύξηση τιμής πώλησης κατά 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή (περίπου 1% το χρόνο) και την ετήσια μείωση παραγωγής ενέργειας λόγω γήρανσης του εξοπλισμού (0.7% το χρόνο). Ύστερα προχωρά στην οικονομική προσομοίωση, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες:

ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΑΒΕΣ - ΧΩΡΙΣ ΤΟΝ ΠΥΡΓΟ			
Έτος	Απόδοση (€)	Δόση Δανείου (€)	Καθαρό Κέρδος (€)
2011	5851	4034	1817
2012	5868	4034	1834
2013	5884	4034	1850
2014	5900	4034	1866
2015	5914	4034	1880
2016	5928	4034	1894
2017	5941	4034	1907
2018	5953	4034	1919
2019	5965	4034	1931
2020	5975	4034	1941
2021	5985	4034	1951
2022	5994	4034	1960
2023	6002	4034	1968
2024	6010	4034	1976
2025	6016	4034	1982
2026	6022	0	6022
2027	6027	0	6027
2028	6031	0	6031
2029	6034	0	6034
2030	6036	0	6036
ΣΥΝΟΛΟ (€)			58826

Πίνακας 4.11 Ετήσιες απολαβές από το φωτοβολταϊκό έργο χωρίς τον Πύργο

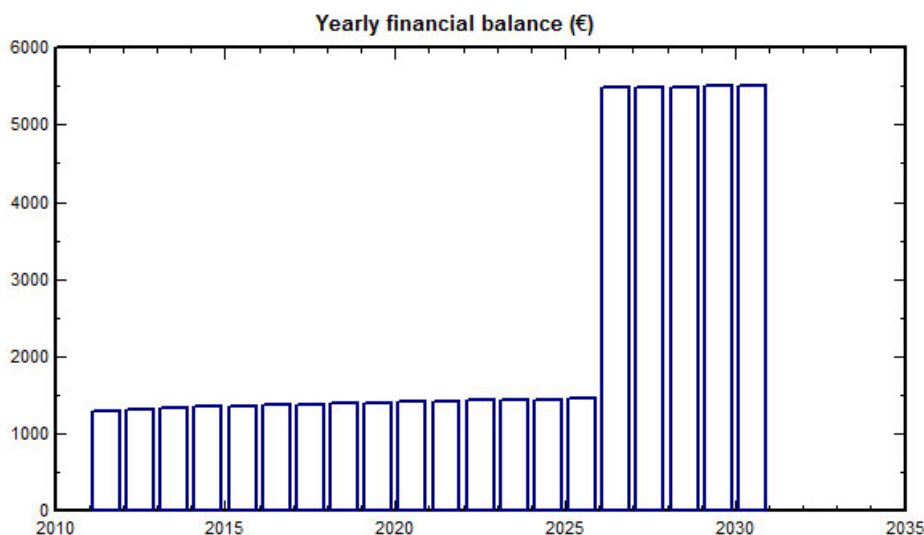
Στον πίνακα 4.11 φαίνεται η ετήσια οικονομική απόδοση της εγκατάστασης, η ετήσια δόση δανείου και οι καθαρές οικονομικές απολαβές στην περίπτωση που δεν λαμβάνουμε υπ'όψη τον Πύργο. Μετά τα 15 έτη το δάνειο έχει εξοφληθεί με αποτέλεσμα τα έσοδα να αυξάνονται. Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να παρουσιάσουμε υπό μορφή διαγράμματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.26



Εικόνα 4.26 Ετήσιες απολαβές από το φωτοβολταϊκό έργο χωρίς τον Πύργο

ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΛΑΒΕΣ - ΜΕ ΤΟΝ ΠΥΡΓΟ			
Έτος	Απόδοση (€)	Δόση Δανείου (€)	Καθαρό Κέρδος (€)
2011	5332	4034	1298
2012	5348	4034	1314
2013	5362	4034	1328
2014	5377	4034	1343
2015	5390	4034	1356
2016	5403	4034	1369
2017	5414	4034	1380
2018	5426	4034	1392
2019	5436	4034	1402
2020	5446	4034	1412
2021	5455	4034	1421
2022	5463	4034	1429
2023	5470	4034	1436
2024	5477	4034	1443
2025	5483	4034	1449
2026	5488	0	5488
2027	5492	0	5492
2028	5496	0	5496
2029	5499	0	5499
2030	5501	0	5501
ΣΥΝΟΛΟ (€)			48248

Πίνακας 4.12 Ετήσιες απολαβές από το φωτοβολταϊκό έργο με τον Πύργο



Εικόνα 4.27 Ετήσιες απολαβές από το φωτοβολταϊκό έργο με τον Πύργο

4.5 Ανάλυση αποτελεσμάτων, συμπεράσματα – προοπτικές

4.5.1 Ανάλυση και σύγκριση σεναρίων

Στον πίνακα 4.13 παρουσιάζουμε συνοπτικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων με τη χρήση του λογισμικού PVSYST. Το πρώτο σενάριο αφορά την περίπτωση που θεωρούμε ότι ο Πύργος των Αθηνών δεν υπάρχει. Λαμβάνοντας υπ' όψη όλες τις τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους η ετήσια παραγόμενη ηλ. ενέργεια προκύπτει 14.812 KWh ενώ οι συνολικές απολαβές σε ορίζοντα 20ετίας ανέρχονται σε 58.826 (€). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα για το δεύτερο σενάριο είναι 13.499 KWh και 48.248 (€) αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τους πίνακες 4.8 και 4.9 που αφορούν στην ετήσια ενεργειακή απόδοση των δύο σεναρίων προκύπτει ότι οι μεγάλες διαφορές στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται τους μήνες του χειμώνα. Αντίθετα τους καλοκαιρινούς μήνες οι προσδοκώμενες ενεργειακές απολαβές έχουν πολύ κοντινές τιμές. Το φαινόμενο αυτό επιβεβαιώνει και συνάδει με τη σύγκριση των εικόνων 4.20 και 4.21 που αφορούν στη ετήσια σκίαση που δέχεται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Όπως φαίνεται σε αυτές, η εμφάνιση έντονων σκιάσεων αφορά στους μήνες του χειμώνα.

	Παραγόμενη ηλ. ενέργεια (ετησίως, σε KWh)	Συνολικές οικονομικές απολαβές 20ετίας (€)
1 ^ο Σενάριο	14.812	58.826
2 ^ο Σενάριο	13.499	48.248

Πίνακας 4.13 Σύγκριση σεναρίων Σημ.: 1^ο Σενάριο: δεν λαμβάνεται υπ' όψη η σκίαση του Πύργου
2^ο Σενάριο: λαμβάνεται υπ' όψη η σκίαση του Πύργου

Όσον αφορά στις οικονομικές απολαβές, παρατηρώντας τις εικόνες 4.26 και 4.27 και βλέπουμε ότι τα τελευταία 5 έτη οι προσδοκώμενες απολαβές αυξάνονται κατακόρυφα. Αυτό είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι έχουμε θεωρήσει σύναψη 15ετούς δανείου οπότε μετά το πέρας της περιόδου αυτής το δάνειο έχει αποπληρωθεί

και το ετήσιο κέρδος αυξάνεται.

Ένα πλέον σημαντικό σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι οι σκιάσεις και οι επιπτώσεις τους στην ενεργειακή και οικονομική αξιολόγηση των σεναρίων υπολογίστηκαν με τη βοήθεια ενός γραμμικού μοντέλου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι, ειδικά στο 2^ο σενάριο με τις τόσο έντονες σκιάσεις λόγω και του «Πύργου των Αθηνών», τα υπολογισθέντα προσδοκώμενα αποτελέσματα κρίνονται ιδιαίτερα αισιόδοξα. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του 1^{ου} σεναρίου είναι, αντιθέτως, πολύ μεγαλύτερη. Συγκρίνοντας τώρα το σύνολο των οικονομικών απολαβών σε ορίζοντα 20ετίας βλέπουμε ότι στο 2^ο σενάριο παρουσιάζονται μειωμένες κατά 18% σε σχέση με τις αντίστοιχες του 1^{ου}. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα προηγούμενα μπορούμε με ασφάλεια να υποθέσουμε πραγματική μείωση απολαβών αρκετά μεγαλύτερη από 18%.

Το να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι ενεργειακές απολαβές στο πλαίσιο των μεγάλων συνεχόμενων σκιάσεων του 2^{ου} σεναρίου είναι εγχείρημα ιδιαίτερα δύσκολο. Στην πράξη έχει καθιερωθεί ότι **εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από παρακείμενα κτήρια, κολώνες, στηθαίο, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη.** Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση του συγκεκριμένου κτιρίου της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδας η εγκατάσταση ΦΒ συστήματος δεν προτείνεται.

Πέρα από την ακαταλληλότητα του υπό μελέτη κτιρίου για «καθαρή» φωτοβολταϊκή ενέργεια που περιγράψαμε στην τελευταία παραγράφο προκύπτουν και κάποια πιο αισιόδοξα συμπεράσματα. Το αναμενόμενο κέρδος από την επένδυση σε ΦΒ συστήματα είναι αρκετά αξιόλογο, όπως βλέπουμε από το 1^ο και πιο αξιόπιστο σενάριο που αγνοήσαμε τον Πύργο. Εδώ πρέπει να λάβουμε υπ' όψη ότι στο κέρδος που υπολογίσαμε σημαντικότατο ρόλο έπαιξε η τιμή πώλησης της παραγόμενης κιλοβατώρας στη Δ.Ε.Η. Να τονίσουμε εδώ ότι η εγκατάσταση που μελετήσαμε καλύπτεται από το πλαίσιο που αφορά στις εμπορικές και βιομηχανικές στέγες οπότε η τιμή πώλησης της ενέργειας είναι 0,395 (€) / KWh.

Η μελέτη δεν εμπίπτει στο ειδικό πρόγραμμα για μικρά φωτοβολταϊκά <10 KW με βάση το ΦΕΚ Β'1079/2009 καθώς το πρόγραμμα εκείνο είναι για τις πολύ μικρές επιχειρήσεις, δηλαδή αυτές που απασχολούν ως 10 άτομα και έχουν κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού ως 2 εκατ. ευρώ ετησίως. Για τα συστήματα που εμπίπτουν στο παραπάνω πλαίσιο το η τιμή πώλησης της KWh είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή και είναι ίση με 0,55 (€) / KWh (για τα συστήματα των οποίων η σύμβαση με τη Δ.Ε.Η ή το Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. υπογράφεται μέχρι τον Αύγουστο του 2011, όπως περιγράφεται στο υποκεφάλαιο 2.4).

4.5.2 Συμπεράσματα και προοπτικές

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Όντας ευέλικτα, αποκεντρωμένα, με δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτίρια και με την τεχνολογία να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς, τα ΦΒ

συστήματα φαίνεται ότι θα παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο τόσο σε εγχώριο όσο και σε διεθνές επίπεδο. Ήδη στην Ελλάδα το 2010 η νέα εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά τριπλασιάστηκε καθότι με το νέο νομικό πλαίσιο ενισχύθηκε η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας και απλοποιήθηκαν σε κάποιο βαθμό οι αδειοδοτικές και λοιπές διαδικασίες. Άλλωστε προβλέπεται ότι οι τιμές των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μειώνονται σταδιακά ενώ αντίθετα προσπάθειες καταβάλλονται συνεχώς για την βελτίωση του βαθμού απόδοσής τους.

Σχετικά με το κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, δηλαδή την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδας στην Αθήνα, κάναμε αρχικά ενεργειακή ανάλυση και έπειτα προχωρήσαμε σε οικονομική αξιολόγηση δύο σεναρίων. Καθοριστικό ρόλο έπαιξε η ύπαρξη, πλησίον του κτιρίου της Εθνικής, ενός πολύ ψηλού κτιρίου, του λεγόμενου «Πύργου των Αθηνών». Εκτιμήθηκε η μείωση της παραγόμενης ενέργειας καθώς και των οικονομικών απολαβών που προκύπτουν εξ' αιτίας της σκίασης που προκαλείται.

Είναι φανερό ότι τα κίνητρα που το κράτος προσδίδει στους επενδυτές μέσα από το νομικό πλαίσιο που προωθεί καθώς και η άρτια εκπαίδευση και τεχνικές γνώσεις των μηχανικών και εγκαταστατών κατά τα στάδια της σχεδίασης και υλοποίησης των φωτοβολταϊκών μελετών παίζουν και θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην περαιτέρω άνθιση και ανάπτυξη του πολλά υποσχόμενου τομέα της «καθαρής» ηλιακής ενέργειας.

4.5.3 Προτάσεις Επέκτασης

Προτείνεται η προσομοίωση των σκιάσεων στο πρόγραμμα του PVSYST να γίνει με τη χρήση αρκετά πιο σύνθετου αλλά και ακριβέστερου μοντέλου αντί του γραμμικού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική.

Βιβλιογραφία

1. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>):** «Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά» (Σεπτέμβριος 2010)
2. **Εφημερίς της κυβέρνησης - ΝΟΜΟΣ 3851/2010:** “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, Φ.Ε.Κ. Α’ 85 (04.06.2010)
3. **Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (ΔΕΗ – www.dei.gr/):** “Πληροφοριακό δελτίο σύνδεσης φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος <= 10 KWp στο δίκτυο XT» (Οκτώβριος 2010)
4. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>):** «Ηλιακές Στέγες – Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό – κτιριακό τομέα» (Σεπτέμβριος 2010)
5. **Deutsche Gesellschaft fur Sonnenenergie:** «Photovoltaic System – Planning and Installing» (Second Edition)
6. **Γουδέλη Κορίνα:** «Μελέτη μεθόδων εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίριο της Εθνικής Τράπεζας της Ελλάδος, στην Αθήνα», Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (Σεπτέμβριος 2007)
7. **Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ – <http://www.cres.gr/>):** «Οδηγός για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις» (Αύγουστος 2009)
8. **SMA Solar Technology (SMA – <http://www.sma-hellas.com/el.html>)**
9. **ABB Sace (ABB – <http://www.abb.com/>):** “Technical Application Papers No.10 – Photovoltaic Plants” (2010)
10. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>):** «Ένας πρακτικός τεχνικός οδηγός» (Ιανουάριος 2011)
11. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>):** «Στατιστικά ελληνικής αγοράς 2010»
12. **Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ – <http://www.helapco.gr/>):** «Στατιστικά διεθνούς αγοράς»
13. **Silcio Solar Technologies (Silcio – <http://www.silcio.gr/>)**
14. **Schletter GmbH (Schletter – <http://www.schletter.de/>)**
15. **Αθανάσιος Σταράμος:** «Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Θερμικά (ΦΒ/Θ) Συστήματα Νερού: Μελέτη Εφαρμογής Σε Κατοικία Στην Περιοχή Της Αττικής» (Ιούνιος 2010)
16. **Σ.Δ. Περγίος:** «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις», Αθήνα 2007
17. **Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής:** «<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=555&language=el-GR>»
18. **<http://www.φωτοβολταϊκά.com>**
19. **Ι.Ε. Φραγκιαδάκης:** «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις Ζήτη (2007)
20. **Αντωνόπουλος Κ.:** «ΘΕΡΜΙΚΑ – ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ», Πολυτεχνειακές Εκδόσεις, Μέρος Πρώτο (2004)