



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Πιλοτική Διερεύνηση Ενεργειακών Απαιτήσεων Τυροκομικών Μονάδων
για Τροφοδοσία από Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ Β. ΚΑΡΡΑ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Πιλοτική Διερεύνηση Ενεργειακών Απαιτήσεων Τυροκομικών Μονάδων
για Τροφοδοσία από Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΘΑΝΑΣΙΑΣ Β. ΚΑΡΡΑ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25^η Μαΐου 2016

(Υπογραφή)

.....

Κωνσταντίνος Δέρβος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Παναγιώτα Βασιλείου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2016

(Υπογραφή)

.....

ΑΘΑΝΑΣΙΑ Β. ΚΑΡΡΑ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright ©ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΚΑΡΡΑ, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αφιερωμένη στη μνήμη του πατέρα μου,

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στον Τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή Ε.Μ.Π κ. Δέρβο Κωνσταντίνο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και τη βοήθειά του, καθώς και για τις γνώσεις που μου παρείχε, τόσο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο.

Ακόμη θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στη κ. Αθανασοπούλου Μαριάννα για την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου προσέφερε προκειμένου να υλοποιηθεί η διπλωματική μου εργασία.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ θα ήθελα να το δώσω στους γονείς μου, Βάϊο και Βάϊα, στο θείο μου Γεώργιο και στις αδερφές μου, Ζωή και Ιωάννα για την αδιάκοπη αγάπη και την αμέριστη υποστήριξη, υλική και ηθική, που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια και στους οποίους οφείλω ότι έχω καταφέρει μέχρι σήμερα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	11
ABSTRACT	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	17
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
1.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	18
1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)	19
1.4 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	21
1.4.1 Εθνικό Σχέδιο Δράσης «20-20-20»	23
1.4.2 Κατάσταση ΑΠΕ στην Ελλάδα	24
1.4.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα στην Ελλάδα	25
1.4.4 Περιβαλλοντικό Αντίκτυπο της Εγκατάστασης ΦΒ στην Ελλάδα για το 2015	27
1.4.5 Ισχύουσα Νομοθεσία – Προγράμματα Ενίσχυσης Φωτοβολταϊκών	28
1.5 NET-METERING	29
1.5.1 Ορισμός	29
1.5.2 Όρια εγκατεστημένης ισχύος	29
1.5.3 Χώροι εγκατάστασης	30
1.5.4 Διενέργεια ενεργειακού συμψηφισμού – Χρεώσεις	30
1.6 ΦΟΡΕΙΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΉΛΙΟΣ - ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	36
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	37
2.2 ΦΩΣ	37
2.3 ΉΛΙΟΣ	37
2.3.1 Κίνηση του Ηλίου	38
2.3.2 Πρόσπτωση Ηλιακού Φωτός στην Επιφάνεια της Γης	40
2.4 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	47
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	48
3.2 ΤΟ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	48
3.3 ΦΒ ΣΤΟΙΧΕΙΟ – ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟ	49
3.3.1 Χαρακτηριστικά ΦΒ Πλαισίου	51
3.3.2 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά ΦΒ Στοιχείου	53
3.3.2.1 Δομές Ηλιακών Στοιχείων	54
3.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΒ	55
3.4.1 Γήρανση	56
3.5 ΓΕΝΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ	57
3.6 ΣΤΟΧΟΙ ΣΤΗΝ ΈΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΒ	62
3.7 ΤΟ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑ	62
3.7.1 Εισαγωγή	62
3.7.2 Μέρη ΦΒ συστήματος	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	75
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	76
4.2 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΜΕΡΙΚΗ ΣΚΙΑΣΗ ΤΟΥ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	77
4.2.1 Δίοδος παράκαμψης	77

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΕΥΜΑ.....	78
4.3.1 Ασφάλειες τήξης DC.....	79
4.3.2 Μικροαυτόματοι.....	79
4.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ.....	80
4.4.1 Αντικεραυνική προστασία.....	81
4.4.1.1 Κεραυνός.....	81
4.4.1.2 Αντικεραυνική προστασία.....	82
4.4.1.3 Γείωση.....	86
4.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΑ (DC ΠΛΕΥΡΑ).....	86
4.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (AC).....	87
4.7 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ.....	92
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	93
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	94
5.2.1 Παραγωγική Διαδικασία.....	94
5.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	95
5.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ.....	95
5.5 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	97
5.6 ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ.....	97
5.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	98
5.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΟΥ.....	102
5.8.1 Χωροθέτηση ΦΒ Πεδίου.....	105
5.9 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑ.....	110
5.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	112
5.11 ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ.....	113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	122
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	123
6.2 ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	123
6.3 ΈΞΟΔΑ ΣΕ ΒΑΘΟΣ ΧΡΟΝΟΥ.....	124
6.4 ΣΥΝΟΨΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....	125
6.5 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΚΑΘΑΡΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΑΞΙΑΣ (NET PRESENT VALUE - NPV).....	128
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	130
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	131
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	132

Περίληψη

Σκοπό της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί η διερεύνηση της εγκατάστασης και βιωσιμότητας φωτοβολταϊκού συστήματος σε τυροκομικές μονάδες μικρής και μεσαίας δυναμικότητας, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα την τυροκομική μονάδα Ζαρογιάννης. Η υπό μελέτη ΦΒ εγκατάσταση ισχύος 43,2 kW θα είναι διασυνδεδεμένη με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και θα εγκατασταθεί στη στέγη της τυροκομικής μονάδας, που εδρεύει στην περιοχή της Βασιλικής του νομού Τρικάλων. Ουσιαστικός στόχος, είναι η μείωση των δαπανών κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας, μέσω της ιδιοκατανάλωσης και της παροχής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο διανομής.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και στην ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών πηγών, ενώ παρατίθενται στατιστικά δεδομένα για την κατάσταση των ΑΠΕ και ειδικότερα των ΦΒ στην Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα στην Ελλάδα. Ακόμη παρουσιάζονται, σημαντικές έννοιες όπως το Net-Metering, και οι φορείς που ελέγχουν την αδειοδότηση εγκατάστασης ΦΒ.

Επιπλέον, αναλύονται θεμελιώδη φαινόμενα και έννοιες, όπως το σύστημα Ηλίου-Γης και η ηλιακή ακτινοβολία που αποτελεί το πλέον απαραίτητο στοιχείο για τη λειτουργία των ΦΒ, καθώς πραγματοποιείται και περιγραφή της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο βασικών εννοιών και παραμέτρων που διέπουν τη λειτουργία ενός ΦΒ συστήματος, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο στο οποίο στηρίζονται τα ΦΒ, τα επιμέρους τμήματα ενός ΦΒ συστήματος (ΦΒ κελί-πλαίσιο, βάσεις στήριξης, καλωδιώσεις, αναστροφείς, κουτιά παραλληλισμού/ διασύνδεσης, πίνακας ελέγχου, ασφάλειες, διακόπτες, συνδέσεις), η δομή τους, η απόδοση καθώς και η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα αυτό (Γενιές Φωτοβολταϊκών).

Ακόμη, αναφέρονται τα μέσα που απαιτούνται για την προστασία ΦΒ εγκατάστασης. Η προστασία αναφέρεται είτε στη μερική σκίαση του πλαισίου, είτε σε προστασία από ανάστροφο ρεύμα, προστασία από υπερτάσεις, αντικεραυνική προστασία, προστασία από βραχυκυκλώματα είτε από το φαινόμενο νησιδοποίησης.

Στα τελευταία δύο κεφάλαια πραγματοποιείται η τεχνοοικονομική μελέτη της ΦΒ εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα απαραίτητα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπου βρίσκεται η μονάδα και γίνεται μία εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών της τυροκομικής μονάδας καταγράφοντας και υπολογίζοντας τα ενεργειακά φορτία και τις ενεργειακές ροές του υφιστάμενου εξοπλισμού και της υπάρχουσας εγκατάστασης σύμφωνα με την χρονική διάρκεια λειτουργίας του τυροκομείου. Ακόμη πραγματοποιείται επιλογή των κατάλληλων επιμέρους τμημάτων του ΦΒ συστήματος που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο αξιολογείται οικονομικά η δημιουργία της υπό μελέτη εγκατάστασης και μελετάται η βιωσιμότητα του διασυνδεδεμένου συστήματος, δηλαδή υπολογίζονται μεγέθη (οικονομικοί δείκτες), οι οποίοι δείχνουν κατά πόσο είναι συμφέρουσα ή όχι η υλοποίηση και η λειτουργία της συγκεκριμένης εγκατάστασης σε βάθος χρόνου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Abstract

The aim of the present diploma thesis is the study of the installation and the viability of a photovoltaic (PV) system at dairy industries of small-middle capacity, using as an example Zargiannis' cheese plant. The under study PV establishment, capacity of which is 43,2 kW, will be on grid and will be installed on the roof of the dairy industry. The industry is located near the village Vassiliki, in Trikala. The main target is the reduction of the costs related to the electrical energy consumption of the plant, by self-consumption of produced energy and providing part of this to the electrical grid.

First of all, there has been reference to the Renewable Energy sources (RES) and the emerge of using such sources. Also statistical data for the present condition of RES, and especially photovoltaics in Europe and especially in Greece is presented.

Furthermore, there are mentioned substantial terms such Net- Metering and the licensing body of photovoltaics.

Moreover, there are analyzed elementary concepts such as the Sun-Earth system and the solar radiation, which is the most necessary principle for the operation of photovoltaics. A description of the solar energy in Greece is carried out, too.

Thereinafter, is briefly presented the necessary theoretical background of fundamental terms and parameters crucial for the understanding of the function of a photovoltaic system, such as the photovoltaic phenomenon on which PVs based, the parts of the systems (PV cell-module, mounting, cables, inverters, control tables, fuses, plug connectors, etc.), their structure, their performance and the technological development of the PVs field (Photovoltaic Generations).

In addition, there are introduced the means that are indispensable for the system's protection. The protection aims against the partial shadowing of the module, the reverse current, the open-circuit voltage, the short-circuit current, lightning and islanding phenomenon.

In the last two chapters is applied the techno-economic study of the PV installation. Specifically, in the fifth chapter, are demonstrated the necessary natural characteristics of the surrounding area and the evaluation of the energy requirements of the cheese plant through estimating and listing the loads and flows of the existing equipment according to the plant's functional period. There is also selected the appropriate equipment of the PV system.

Finally, in the last chapter of the present study, is assessed the accomplishment of the PV system installation, as well as the viability of the on-grid system. There are estimated economic indices which indicate the profit's amplitude of the imminent project's implementation through time.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ανανεώσιμες Πηγές
Ενέργειας – Φωτοβολταϊκά

1.1 Εισαγωγή

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται σχεδόν εκθετικά από την βιομηχανική επανάσταση και μετά. Αυτή η τάση αύξησης οφείλεται κυρίως στην εκβιομηχάνιση αναπτυσσόμενων χωρών, στόχος της οποίας αποτελεί κυρίως η βελτίωση της ποιότητας ζωής, καθώς επίσης και στην αύξηση του πληθυσμού παγκοσμίως. Όσον αφορά την τωρινή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, επιτυγχάνεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και το πετρέλαιο. Ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας προέρχεται από πυρηνικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς, και ένα ακόμη μικρότερο ποσοστό από ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας). Οι τελευταίες αναπτύχθηκαν για ανεξαρτητοποίηση από μη ανανεώσιμα υλικά αλλά και ως λύσεις στην αντιμετώπιση της τεράστιας μόλυνσης του περιβάλλοντος [9].

1.2 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μόλυνσης αυτής, αποτελεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρόκειται για την αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας στη γη, η οποία είναι απόρροια της όλο και αυξανόμενης απελευθέρωσης ρύπων, αερίων καύσης και ποσών ενέργειας στην ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται καθώς τα αέρια που αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα εμποδίζουν τη μεταφορά της υπέρυθρης ακτινοβολίας, από τη γη στο διάστημα, επιτρέποντας ωστόσο την είσοδο υπεριώδους ακτινοβολίας από τον ήλιο. Στην ουσία, η ατμόσφαιρα μετατρέπεται σε ένα επιλεκτικό φίλτρο ως προς την εξερχόμενη από τη γη ακτινοβολία. Αέρια που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι : το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), οι υδρατμοί H₂O , το όζον O₃, το υποξείδιο του αζώτου N₂O, το μεθάνιο CH₄ και αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες. Η ποσότητα των αερίων αυτών συνεχώς αυξάνεται, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα εξής στοιχεία για το διοξείδιο του άνθρακα : Το 1765, πριν τη βιομηχανική επανάσταση, η ατμόσφαιρα της γης περιείχε 280 ppm (parts per million) CO₂, το 1990 354 ppm, το 2005 έφτασε στα 380 ppm και συνεχώς αυξάνεται ([3],[6]).

Αναλυτικά, τα συστατικά της ατμόσφαιρας συνοψίζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακες 1.1 & 1.2).

Αέριο	Ποσοστό κατ' όγκο ξηρού αέρα	Συνολικό ποσοστό κατ' όγκο
Αζωτο (N ₂)	78,08	78,08
Οξυγόνο (O ₂)	20,95	99,03
Αργό (Ar)	0,934	99,964
Άλλα ανιχνεύσιμα αέρια	0,036	100,000

[Πηγή: <http://www.arm.gov/docs/education/backgroundcompositionatmos.htm>]

Πίνακας 1.1 : Σύσταση καθαρού ξηρού αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης.

Συστατικό	Προσεγγιστικό ποσοστό κατ' όγκο
Υδρατμοί (H ₂ O)	0-4%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	0,037%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Μεθάνιο (CH ₄)	0,00017%
Οξείδιο του νατρίου (N ₂ O)	0,00003%
Όζον (O ₃)	0,000004%
Αερολύματα (υγρά και αέρια σωματίδια)	0,000001-0,000015%
Χλωροφθοράνθρακες(CFCs)	0,00000002%

[Πηγή: American Chemical Society,2000]

Πίνακας 1.2 : Αέρια που βρίσκονται σε ίχνη στην ατμόσφαιρα.

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία του φαινομένου λαμβάνεται υπόψη η εξίσωση του Γερμανού φυσικού Max Planck (1902), η οποία αφορά την ενέργεια ενός φωτονίου (ή οποιασδήποτε άλλης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας). Η εξίσωση αυτή ορίζεται ως εξής:

$$E = h \cdot \nu \quad (\text{Σχέση 1.1})$$

E → η ενέργεια μετράται σε Joules

h → σταθερά του Planck ($6.62607004 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

ν → συχνότητα σε Hertz

Όταν, λοιπόν η ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται στα σωματίδια των αερίων ή των υδρατμών ή και στο έδαφος, τότε χάνει ενέργεια. Συνεπώς, σύμφωνα με τη σχέση του Planck, μείωση ενέργειας συνεπάγεται και μείωση της συχνότητάς της. Η ατμόσφαιρα είναι 'διαφανής' κυρίως στις υψηλότερες συχνότητες, παγιδεύοντας την ακτινοβολία χαμηλότερων συχνοτήτων, γεγονός που αυξάνει τη θερμοκρασία της γης [3].

Αναφερόμενοι σε αριθμούς, οι υδρατμοί απορροφούν κατά κύριο λόγο ακτινοβολία με μήκος κύματος που κυμαίνεται από 4 μm έως 7 μm, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα από 13 μm έως 19 μm. Το μεγαλύτερο ποσοστό της εξερχόμενης από την ατμόσφαιρα ακτινοβολίας (περίπου 70%) έχει μήκος κύματος που κυμαίνεται ανάμεσα στο άνω όριο των υδρατμών και το κατώτατο όριο του διοξειδίου του άνθρακα [2].

1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η αύξηση της θερμοκρασίας, το λιώσιμο των πάγων και κατά συνέπεια η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, το μολυσμένο νερό (μη πόσιμο) και σειρά άλλων επιπτώσεων, δεν επιβαρύνουν μόνο τον πλανήτη γη, αλλά σηματοδοτούν και τη σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων και την ενδεχόμενη καταστροφή τους. Αναλογιζόμενοι το μέλλον, η λήψη μέτρων και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον κρίνονται απαραίτητες.

Όσον αφορά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, τη λύση δίνουν οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Οι ΑΠΕ εκμεταλλεύόμενες συστατικά που υπάρχουν άφθονα στη φύση, όπως το νερό και η ηλιακή ακτινοβολία, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ως αποτέλεσμα μιας σειράς μετατροπών της ενέργειας από μια μορφή σε μια άλλη. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

- ο άνεμος.
- η γεωθερμία.
- η βιομάζα.
- το νερό.
- ο ήλιος.
- η μετατροπή ωκεάνιας θερμικής ενέργειας.
- η παλιρροιακή/κυματική ενέργεια.
- το υδρογόνο.

Η μετατροπή γίνεται αντίστοιχα από:

- ανεμογεννήτριες.
- γεωθερμικούς σταθμούς.
- σταθμούς καύσης βιομάζας.
- μικρά υδροηλεκτρικά εργοστάσια.
- φωτοβολταϊκά συστήματα-θερμικά ηλιακά συστήματα-Παθητικά ηλιακά και υβριδικά συστήματα.
- σταθμούς στους ωκεανούς προς εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας στα διάφορα βάθη των ωκεανών.
- σταθμούς προς εκμετάλλευση των ρευμάτων.
- σταθμούς καύσης υδρογόνου.

Τόσο οι μη ανανεώσιμες, όσο και οι ανανεώσιμες πηγές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα, κάποια από τα οποία συνοψίζονται παρακάτω :

Μη Ανανεώσιμες Πηγές

Πλεονεκτήματα :

- Είναι εύκολη η χρήση τους.
- Μια μικρή ποσότητα πυρηνικής ενέργειας μπορεί να παράγει μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής.
- Η μετατροπή από μια μορφή ενέργειας σε κάποια άλλη είναι σχετικά οικονομική.

Μειονεκτήματα :

- Είναι αναλώσιμες, γεγονός που σημαίνει πως κάποια στιγμή στο μέλλον θα στερέψουν.
- Ο ρυθμός με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι πηγές αυτές, μπορεί να επιφέρει σοβαρές κλιματικές αλλαγές, όπως προαναφέρθηκε.
- Επειδή οι πηγές αυτές εξαντλούνται , υπάρχει σχετική τάση αύξησης των τιμών τους.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Πλεονεκτήματα :

- Υπάρχουν σε αφθονία στη φύση.
- Είναι αποκεντρωμένες (δηλαδή μπορούν να εφαρμοστούν μέχρι επιπέδου κατοικίας) - Κατανεμημένη παραγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

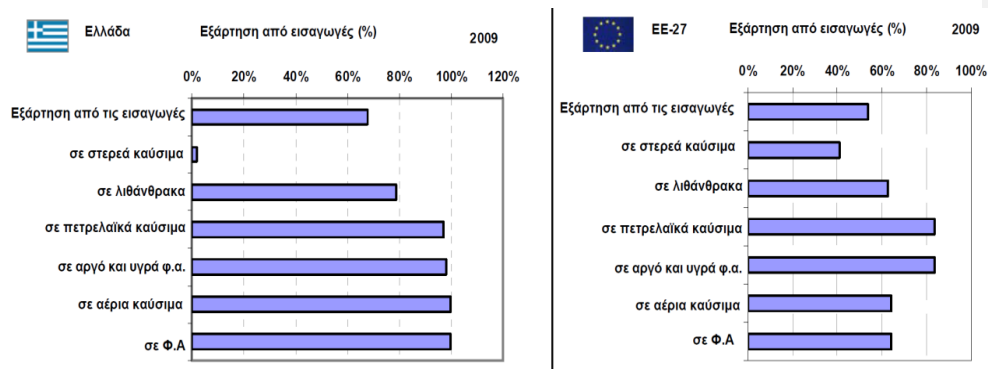
- Έχουν χαμηλά ποσοστά εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, γι' αυτό και θεωρούνται φιλικές προς το περιβάλλον.
- Τονώνουν την οικονομία και δημιουργούν θέσεις εργασίας.
- Μειώνεται η ενεργειακή εξάρτηση από τις εισαγωγές καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος, καθώς πρόκειται για ενδογενείς πηγές ενέργειας.

Μειονεκτήματα :

- Το κόστος εγκατάστασης ΑΠΕ είναι ακόμη αρκετά υψηλό.
- Δεν είναι διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή. Παραδείγματος χάρη, η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη τις νυχτερινές ώρες αλλά ούτε και τις βροχερές μέρες. Ένα ακόμη παράδειγμα αποτελούν οι ανεμογεννήτριες η λειτουργία των οποίων περιορίζεται από την ύπαρξη ανέμου.
- Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να επιφέρει τοξικά χημικά στην επιφάνεια της γης, τα οποία προέρχονται από τα εσωτερικά της στρώματα, με αποτέλεσμα την πρόκληση περιβαλλοντικής μόλυνσης.
- Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται υδροηλεκτρικά φράγματα σε μεγάλη έκταση, μπορεί να επιβαρυνθεί εκτενώς η φυσική ροή του νερού και γενικότερα η φύση (όπως η χλωρίδα και η πανίδα).
- Οι υψηλές, κατασκευαστικά, ανεμογεννήτριες είναι δυνατό να επηρεάσουν τον πληθυσμό των πτηνών στην περιοχή εγκατάστασης [8].

1.4 Η κατάσταση στην Ελλάδα

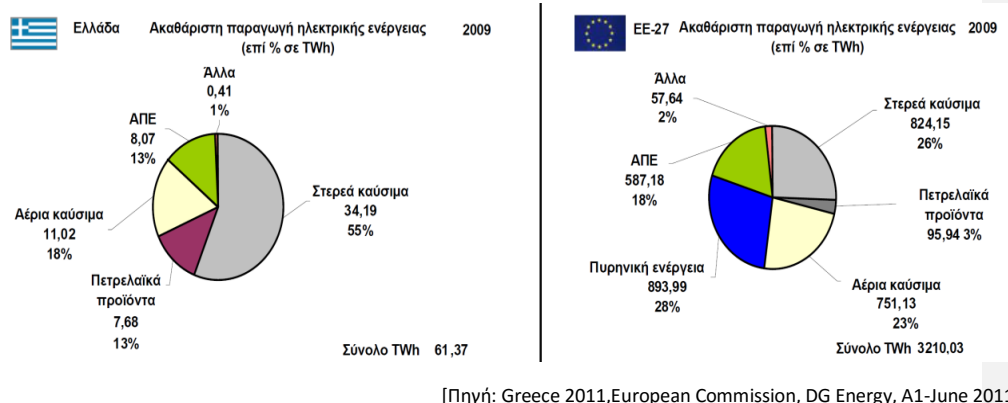
Ο λιγνίτης αποτελεί την κύρια εγχώρια πηγή ενέργειας και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ποσοστό της τάξεως του 85,7% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο και λιγνίτη). Στη συνέχεια παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία για την ενεργειακή κατάσταση γενικότερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ειδικότερα στην Ελλάδα (**Εικόνα 1.1-1.3**).



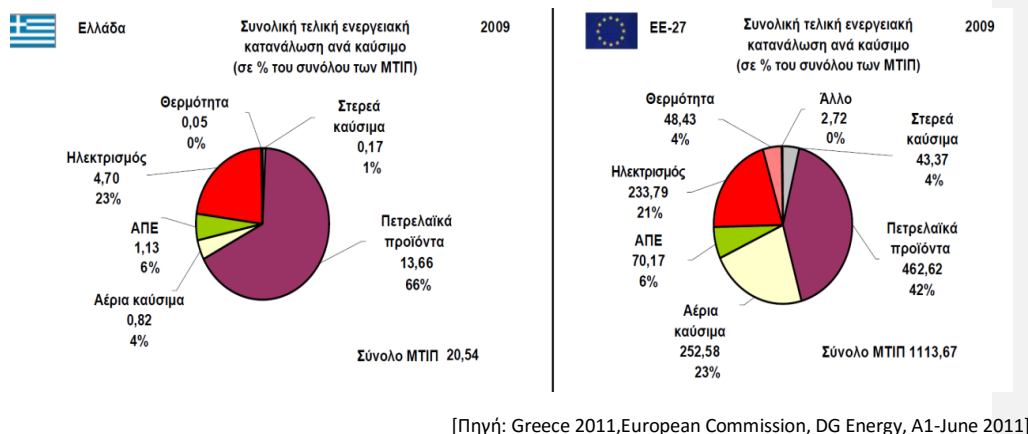
[Πηγή: Greece 2011, European Commission, DG Energy, A1-June 2011]

Εικόνα 1.1 : Ενεργειακή εξάρτηση συνολική και ανά καύσιμο (%).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ



Εικόνα 1.2 : Ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (%-TWh).



Εικόνα 1.3 : Συνολική τελική κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο (% των συνολικών ΜΤΙΠ).

Κρίνεται σκόπιμο για την ορθότερη κατανόηση της **Εικόνας 1.3** να παρουσιαστούν κάποιες επιπλέον πληροφορίες:

- Τελικά, η κατανάλωση ενέργειας :
 - Είναι η ενέργεια που χρησιμοποιείται από τον τελικό καταναλωτή, μειωμένη κατά τις απώλειες από τις διάφορες χρήσεις και μετατροπές ενέργειας.
 - Δεν περιλαμβάνεται η ενέργεια που καταναλώνεται στον τομέα μετατροπής ενέργειας (π.χ. λιγνίτης για ηλεκτροπαραγωγή) και στις ενεργειακές βιομηχανίες (π.χ. αργό πετρέλαιο για παραγωγή πλαστικών).
- ΤΙΠ → Τόνος Ισοδύναμου Πετρελαίου (μονάδα ενέργειας). Ισχύει 1 ΤΙΠ= 11,63 MWh.

Σύμφωνα με τις **Εικόνας 1.1, 1.2 και 1.3**, διαπιστώνεται μια έντονη εξάρτηση της Ελλάδας, όσον αφορά τον ενεργειακό τομέα, από άλλες χώρες. Ακόμη η συντριπτική πλειοψηφία του

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

ποσοστού της παραγόμενης ενέργειας στηρίζεται σε στερεά και αέρια καύσιμα και σε πετρελαϊκά προϊόντα, δηλαδή σε μη ανανεώσιμες πηγές η επεξεργασία των οποίων επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Συνεπώς, όπως και σε Ευρωπαϊκό (αλλά και σε παγκόσμιο) επίπεδο, έτσι και για τα Ελληνικά δεδομένα οι ΑΠΕ αποτελούν μονόδρομο.

Η Ευρώπη έχει θέσει ως στόχο την υλοποίηση ενός 'πακέτου' μέτρων, το οποίο περιλαμβάνει περιορισμούς για την ενέργεια και τους εκπεμπόμενους ρύπους. Στο πακέτο αυτό περιλαμβάνεται και το Εθνικό Σχέδιο Δράσης «20-20-20».

1.4.1 Εθνικό Σχέδιο Δράσης «20-20-20»

Η αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις ολοένα και αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις του πλανήτη, καθίσταται πλέον επιτακτική ανάγκη, λαμβάνοντας υπόψη τόσο περιβαλλοντικές όσο και οικονομικές παραμέτρους. Στην Ευρώπη, η ανάγκη αυτή εκφράστηκε με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης «20-20-20» σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής, σύμφωνα με το οποίο επιδιώκεται η συμβολή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% έως το 2020 και περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διείσδυση των τεχνολογιών των ΑΠΕ έως το 2020. Ειδικότερα για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μέχρι το έτος αυτό, προβλέπεται :

- a. 20% μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 σύμφωνα με την Οδηγία 2009/29/ΕΚ.
- b. 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ.
- c. 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Ειδικά για την Ελλάδα, ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός της εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση.

Οι εθνικοί ενεργειακοί στόχοι για το 2020, όπως περιγράφονται από το προαναφερθέν σχέδιο δράσης, αλλά και όπως έχουν διαμορφωθεί από νομοθετικές παρεμβάσεις και αντίστοιχα εθνικά προγράμματα στο πλαίσιο του ΕΣΠΑ, διαμορφώνουν ένα αναπτυξιακό επιχειρηματικό πλαίσιο μέσα στο οποίο η Ελλάδα καλείται να αξιοποιήσει τις δυνατότητες που της προσφέρει το φυσικό δυναμικό που διαθέτει σε τεχνολογίες ΑΠΕ & ΕΞΕ (Εξοικονόμησης Ενέργειας) και να διαμορφώσει ένα νέο μοντέλο «πράσινης» ανάπτυξης. Παράλληλα, η επίτευξη αυτών των στόχων θα συνεισφέρει στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, στη βέλτιστη αξιοποίηση των φυσικών πόρων και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας βασικών κλάδων της Ελληνικής οικονομίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

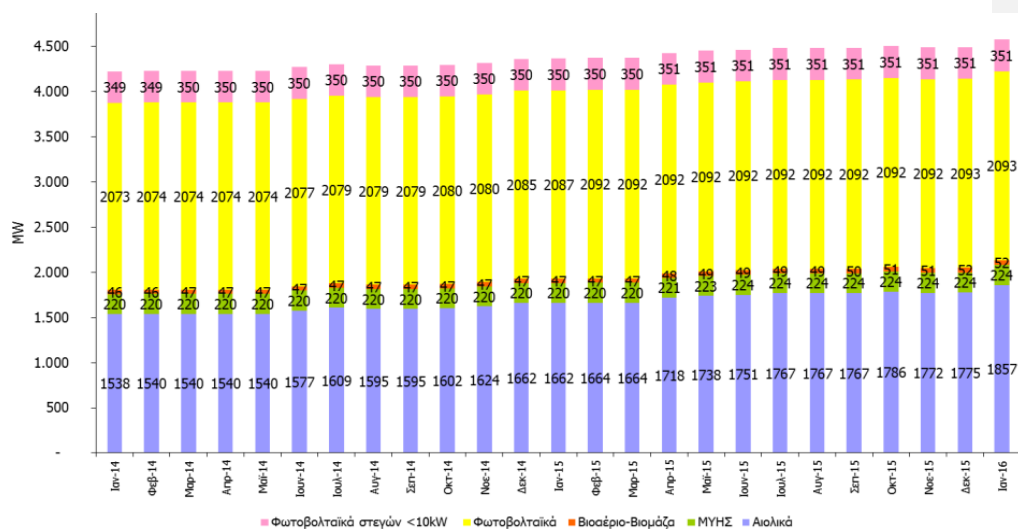
1.4.2 Κατάσταση ΑΠΕ στην Ελλάδα

Προς υλοποίηση των δεσμεύσεών της, η Ελλάδα αυξάνει διαρκώς τη δυναμικότητά της σε μονάδες ΑΠΕ. Δεδομένα που αφορούν εγκατεστημένη ενέργεια σε σταθμούς ΑΠΕ παρουσιάζονται στην **Εικόνα 1.4** που ακολουθεί. Οι δε δεσμεύσεις που καλείται να τηρήσει η Ελλάδα καταγράφονται στον **Πίνακα 1.3**.

Υδροηλεκτρικά	4650
<i>Μικρά (0-15 MW)</i>	350
<i>Μεγάλα(>15 MW)</i>	4300
Φωτοβολταϊκά	2200
<i>Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες Αγρότες</i>	750
<i>Λοιπές εγκαταστάσεις</i>	1450
Ηλιοθερμικά	250
Αιολικά	7500
Βιομάζα	350

Πηγή: Υπουργική απόφαση, Αρ. Πρωτ.: Α.Υ./Φ1/οικ.19598, Αθήνα, 01 Οκτωβρίου 2010]

Πίνακας 1.3 : Όρια εγκατεστημένης ισχύος (MW) ανά τεχνολογία και ΑΠΕ και κατηγορία παραγωγού.

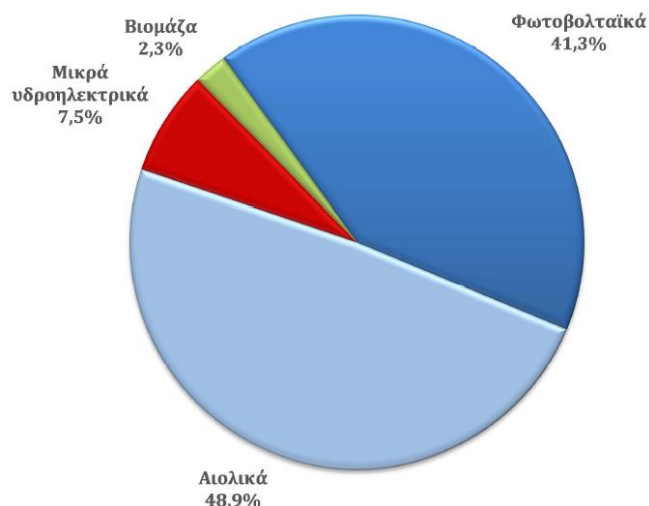


[Πηγή: ΛΑΓΠΕ, Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο, Ιανουάριος 2016]

Εικόνα 1.4 : Εγκατεστημένη ισχύς(MW) μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο διασυνδεδεμένο σύστημα (Άρθρο 9 Ν.3468/2006) & ΦΒ στεγών<10 kW για το χρονικό διάστημα 2014- 2016.

Ακόμη, παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία για τη συμμετοχή των διάφορων τεχνολογιών ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ελλάδα (**Εικόνα 1.5**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ



[Πηγή: ΛΑΓΗΕ, Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο, Ιανουάριος 2016]

Εικόνα 1.5 : Μερίδιο τεχνολογιών στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ το 2015.

1.4.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα στην Ελλάδα

Τα ΦΒ συστήματα που αποτελούν και αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, άρχισαν να αναπτύσσονται ύστερα από την επικύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο και άλλων διεθνών συμφωνιών που ακολούθησαν κάτω από την πίεση περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ουσιαστική ώθηση για τα φωτοβολταϊκά όπως και για τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δόθηκε μέσα από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων των δραστηριοτήτων παραγωγής ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) με την χρήση "πράσινων" τεχνολογιών (ΑΠΕ). Η πιο διαδεδομένη από αυτές, είναι η **ευνοϊκή τιμολόγηση** της ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστή και ως **feed - in - tariff**.

Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει και αυτή με την σειρά της κίνητρα για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία μάλιστα ήταν ιδιαίτερα ελκυστικά για τους υποψήφιους επενδυτές.

Το 2015, τα ΦΒ κάλυψαν το 7,1% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, κατατάσσοντας την Ελλάδα (για 3^η συνεχή χρονιά) στη δεύτερη θέση διεθνώς για τη συμβολή των ΦΒ στη συνολική παραγωγή ενέργειας.

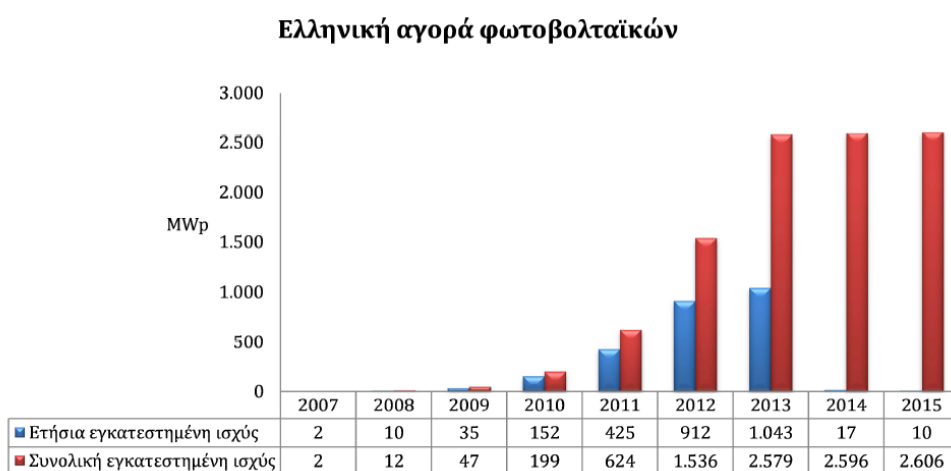
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για την εγκατεστημένη ισχύ των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο συστημάτων το έτος 2015 φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 1.4**):

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Διασυνδεδεμένα Συστήματα	MW_p
Νέα εγκατεστημένη ισχύς	10,3
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς	2.605,6

[Πηγή: Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2015,1-3-2016]

Πίνακας 1.4 : εγκατεστημένη ισχύ των διασυνδεδεμένων στο δίκτυο συστημάτων το έτος 2015.



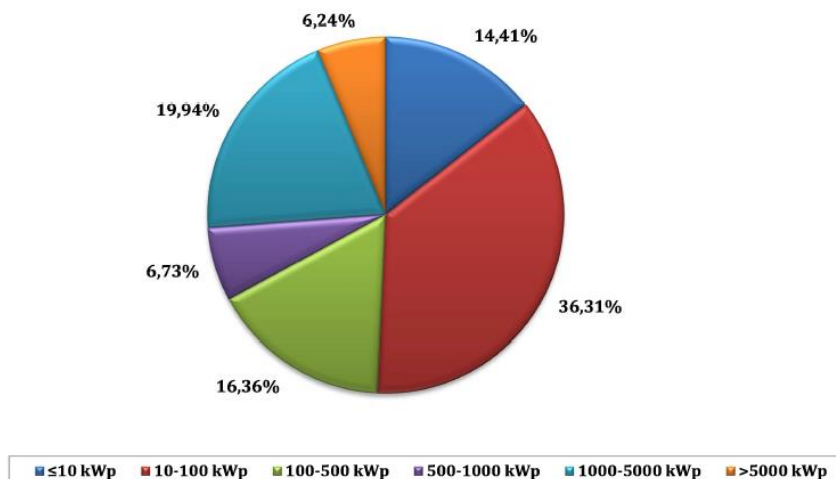
[Πηγή: Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2015,1-3-2016]

Εικόνα 1.6 : Ελληνική αγορά Φωτοβολταϊκών.

Από τα 10,3 MW_p που εγκαταστάθηκαν το 2015, τα 1,5 MW_p αφορούσε συστήματα αυτοπαραγωγής με ενεργειακό συμψηφισμό (99 συστήματα με net- metering).

Γραφικά, η εγκατεστημένη ισχύς των ΦΒ ανά κατηγορία παρουσιάζεται στο γράφημα που ακολουθεί (**Εικόνα 1.7**).

Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών ανά κατηγορία



[Πηγή : ΛΑΓΗΕ, Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο, Ιανουάριος 2016]

Εικόνα 1.7 : Στατιστικό γράφημα εγκατεστημένης ισχύος ΦΒ ανά κατηγορία

1.4.4 Περιβαλλοντικό Αντίκτυπο της Εγκατάστασης ΦΒ στην Ελλάδα για το 2015

Σήμερα στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένα 2.606 μεγαβάτ (MWp) ΦΒ, εκ των οποίων τα 2.066 MWp επί εδάφους και τα υπόλοιπα σε στέγες κτιρίων. Η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων των 2.066 MWp καλύπτει περίπου 12.400 στρέμματα. Η συνολική έκταση που έχει δεσμευτεί για να καλυφθεί η συγκεκριμένη ισχύς, μαζί με τα διάκενα μεταξύ των ΦΒ συστοιχιών και την περιμετρική απόσταση ασφαλείας από τα όρια των γηπέδων, είναι περίπου 40.000 στρέμματα.

Για την καλύτερη κατανόηση, κρίνεται σκόπιμη η σύγκριση των εκτάσεων που καταλαμβάνουν οι λιγνιτικοί σταθμοί και τα λιγνιτωρυχεία, που σύμφωνα με τη ΔΕΗ, είναι 253.000 στρέμματα με την αντίστοιχη που δεσμεύουν τα ΦΒ, η οποία είναι περίπου 6,3 φορές μικρότερη από την πρώτη.

Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ) η γεωργική γη στην Ελλάδα ανέρχεται στα 36,8 εκατομμύρια στρέμματα, εκ των οποίων καλλιεργούνται τα 31,7 εκατ. στρέμματα. Δηλαδή, τα ΦΒ δεσμεύουν μόλις το 0.1% της γεωργικής γης, ή αλλιώς το 0.03% της έκτασης της χώρας.

Για τον καθαρισμό των υφιστάμενων ΦΒ πλαισίων απαιτούνται κατά μέσο όρο 0,114 m³ νερό ανά παραγόμενη MWh (εύρος τιμών 0,1-0,13 m³/MWh) ([5] , [7]). Αυτή η ποσότητα είναι 28 φορές μικρότερη ανά παραγόμενη MWh από ένα λιγνιτικό σταθμό (σύμφωνα με τη ΔΕΗ, οι λιγνιτικοί σταθμοί καταναλώνουν κατά μέσο όρο 3,173 m³ νερού ανά παραγόμενη MWh (ΔΕΗ, 2015). Ενδεικτικά, το 2015 παρήχθησαν 3.901.157 MWh από τα εγκατεστημένα ΦΒ, δηλαδή απαιτήθηκαν περίπου 444.730 m³ νερού για τον καθαρισμό των ΦΒ, όσων δηλαδή καταναλώνουν ετησίως 4.533 νυκτοκυριά [14].

Τέλος, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις θετικές περιβαλλοντικές επιδόσεις κατά την παραγωγή ενέργειας από ΦΒ, αφού κατά το έτος 2015 αποσόβησε την έκλυση 3,5 εκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα.

1.4.5 Ισχύουσα Νομοθεσία – Προγράμματα Ενίσχυσης Φωτοβολταϊκών

- «Ειδικό πρόγραμμα ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων»

Γενική Ιδέα :

Αποτελεί Ειδικό Πρόγραμμα για την ενίσχυση της εγκατάστασης ΦΒ Συστημάτων ισχύος μέχρι 10kW_p σε νόμιμα υφιστάμενες κτιριακές εγκαταστάσεις. Η ισχύς του Προγράμματος είναι από 01.07.2009 έως 31.12.2019.

Το πρόγραμμα αυτό αφορά :

1. ΦΒ συστήματα έως 10 kW_p σε κτιριακές εγκαταστάσεις, τα οποία χρησιμοποιούνται για κατοικία ή στέγαση πολύ μικρών επιχειρήσεων, σε όλη την επικράτεια με εξαίρεση τα μη Διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό Σύστημα της χώρας νησιά.
2. Σταθερά ΦΒ συστήματα για παραγωγή ενέργειας που εγχέεται στο Δίκτυο Χαμηλής Τάσης, τα οποία εγκαθίστανται στο δώμα ή στη στέγη νομίμως υφιστάμενου κτιρίου, σε στέγαστρα, στις όψεις και την κύρια όψη του κτιρίου και σε χώρους βοηθητικής χρήσης, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης, καθώς και σε σκίαστρα.
3. ΦΒ συστήματα έως 5 kW_p σε κτιριακές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για κατοικία ή στέγαση πολύ μικρών επιχειρήσεων, στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Τιμή παραγόμενης ενέργειας :

Η καταμέτρηση της παραγόμενης ενέργειας πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την καταμέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η Σύμβαση Συμψηφισμού για ΦΒ σύστημα συνάπτεται μεταξύ του κυρίου του φωτοβολταϊκού και του προμηθευτή (για παράδειγμα ΔΕΗ) που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις του στο κτίριο όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα, για είκοσι πέντε (25) έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η εν λόγω σύμβαση συνομολογείται με σταθερή τιμή αναφοράς, ανάλογα με το μήνα και το έτος όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 1.5**, υπό την προϋπόθεση ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος εντός έξι (6) μηνών από τη σύναψη της Σύμβασης Συμψηφισμού. Σε αντίθετη περίπτωση, ως τιμή αναφοράς θα λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στο μήνα και το έτος που πραγματοποιείται η ενεργοποίηση της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Μήνας/Έτος	Τιμή(€/MWh)
Φεβρουάριος 2013	125
Αύγουστος 2013	125
Φεβρουάριος 2014	120
Αύγουστος 2014	120
Φεβρουάριος 2015	115
Αύγουστος 2015	115
Φεβρουάριος 2016	110
Αύγουστος 2016	110
Φεβρουάριος 2017	105
Αύγουστος 2017	100
Φεβρουάριος 2018	95
Αύγουστος 2018	90
Φεβρουάριος 2019	85
Αύγουστος 2019	80

[Πηγή : ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, Αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1289/9012, Άρθο 1-Παράγρ.2]

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5 : Τιμή παραγόμενης από το ΦΒ σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο από εγκαταστάσεις που επάγονται στο πρόγραμμα ανάπτυξης ΦΒ συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις.

1.5 Net-Metering

1.5.1 Ορισμός

Το Net-Metering είναι ο συμψηφισμός παραγόμενης-καταναλισκόμενης ενέργειας (μετρητής κατανάλωσης) και εφαρμόζεται κυρίως για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε διάφορες χώρες όπως η Κύπρος, η Ιταλία, η Γερμανία, η Δανία και οι ΗΠΑ. Το Net Metering επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που καταναλώνει ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο για έμμεση αποθήκευση της πράσινης ενέργειας που παράγει το φωτοβολταϊκό του σύστημα. Ο όρος “net” προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ καταναλισκόμενης και παραγόμενης ενέργειας σε μια ορισμένη χρονική περίοδο. Η περίοδος αυτή είναι συνήθως ο κάθε κύκλος καταμέτρησης και τιμολόγησης της καταναλισκόμενης ενέργειας. Αν υπάρχει περίσσεια ενέργειας, αυτή συνήθως δεν χάνεται για τον καταναλωτή αλλά συμψηφίζεται για μια ορισμένη χρονική περίοδο οπότε και γίνεται η τελική εκκαθάριση. Η περίοδος αυτή σύμφωνα με την τελευταία υπουργική απόφαση ορίζεται στους 12 μήνες [30].

1.5.2 Όρια εγκατεστημένης ισχύος

Η ισχύς κάθε ΦΒ συστήματος μπορεί να ανέρχεται μέχρι τα 20 kW_p ή μέχρι το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης (Ισχύς Φωτοβολταϊκού (kW_p) ≤ 0,5 x Συμφωνημένη Ισχύ Κατανάλωσης (kVA)), εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη του ως άνω ορίου των 20 kW_p. Ειδικά για νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημόσιου ενδιαφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, η ανώτατη ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως και στο 100% της

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης. Σε κάθε περίπτωση, η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που θα εγκατασταθεί στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και Δίκτυο δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο των 500 kWp της παρ. 1 του άρθρου 14Α του ν. 3468/2006, όπως εκάστοτε ισχύει.

Ειδικά στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, η ισχύς των συστημάτων που εγκαθίστανται στο πλαίσιο της ίδιας υπουργικής απόφασης μπορεί να ανέρχεται μέχρι τα 10kWp, και ειδικότερα για την Κρήτη μέχρι τα 20 kWp, ή μέχρι το 50% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης (Ισχύς Φωτοβολταϊκού (kWp) \leq 0,5xΣυμφωνημένη Ισχύ Κατανάλωσης (kVA)), εφόσον η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη του ως άνω ορίου των 10kWp ή των 20 kWp. Ειδικά για νομικά πρόσωπα, δημοσίου ή ιδιωτικού δικαίου, που επιδιώκουν κοινωφελείς ή άλλους δημόσιου ενδιαφέροντος σκοπούς, γενικής ή τοπικής εμβέλειας, η ανώτατη ισχύς κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να ανέρχεται έως και το 100% της συμφωνημένης ισχύος κατανάλωσης. Σε κάθε περίπτωση, η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά δεν μπορεί να υπερβαίνει το ανώτατο όριο των 50kWp για την Κρήτη και των 20 kWp για τα λοιπά Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

1.5.3 Χώροι εγκατάστασης

Το net metering αφορά σταθερά φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία εγκαθίστανται στον ίδιο ή όμορο χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης τις οποίες τροφοδοτούν και οι οποίες συνδέονται στο Δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να εγκαθίστανται επί κτιρίων ή επί εδάφους ή άλλων κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα, σύμφωνα με την κείμενη πολεοδομική νομοθεσία. Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα αντιστοιχίζεται αποκλειστικά με έναν μετρητή κατανάλωσης.

1.5.4 Διενέργεια ενεργειακού συμψηφισμού - Χρεώσεις

Ο ενεργειακός συμψηφισμός διενεργείται στους εκκαθαριστικούς λογαριασμούς κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που εκδίδει ο Προμηθευτής με τον οποίο έχει συμβληθεί ο αυτοπαραγωγός για την προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος στην εγκατάσταση κατανάλωσής του, βάσει πραγματικών δεδομένων καταμέτρησης που παρέχονται από τον Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.). Προκειμένου να πιστώνεται στον ειδικό λογαριασμό το πλεόνασμα ενέργειας από το ~~π~~ αυτοπαραγωγός, το οποίο προκύπτει από τον ετήσιο ενεργειακό συμψηφισμό, υπολογίζεται ανά μήνα μια τιμή με την οποία τιμολογείται το πλεόνασμα αυτό. Για το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας που χρεώνεται στους προμηθευτές, καταβάλλονται και οι αναλογούσες ρυθμιζόμενες χρεώσεις (ΥΚΩ, ΕΤΜΕΑΡ, χρέωσης Συστήματος και Δικτύου κλπ).

- ΥΚΩ → Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας
- ΕΤΜΕΑΡ→Ειδικό Τέλος Μείωσης Εκπομπών Αερίων Ρύπων

Τιμολόγηση ΦΒ Σταθμών (πλην αυτών που επάγονται στο πρόγραμμα ΦΒ σε κτιριακές εγκαταστάσεις).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

	Διασυνδεδεμένο		Μη Διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ (ανεξαρτήτως ισχύος)
	>100 Kw	≤100kW	
2013 Φεβρουάριος	95	120	100
2013 Αύγουστος	95	120	100
2014 Φεβρουάριος	90	115	95
2014 Αύγουστος	90	115	95
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,1μΟΤΣ _{ν-1}	1,2μΟΤΣ _{ν-1}	1,1μΟΤΣ _{ν-1}

[Πηγή : ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, Αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011,Άρθο 1]

Πίνακας 1.8 : Τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΦΒ σταθμούς, όπου μΟΤΣ_{ν-1}: Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1.

1.6 Φορείς που σχετίζονται με την αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Εγκαταστάσεων

Για την υλοποίηση μιας ΦΒ εγκατάστασης πρέπει να αποφανθούν μια σειρά από φορείς, οι οποίοι απαριθμούνται στη συνέχεια:

- ΔΕΗ :** Είναι δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού και αποτελεί τη μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Κατέχει περίπου το 68% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).
Ο όμιλος διαθέτει δύο θυγατρικές εταιρίες, την ΑΔΜΗΕ Α.Ε (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε) και τον ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε).
- ΔΕΔΔΗΕ :** Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου Διανομής της ΔΕΗ Α.Ε σύμφωνα με το Ν. 4001/2011 και σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και έχει την ευθύνη για τη διαχείριση, ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- ΑΔΜΗΕ :** Ο ΑΔΜΗΕ ΑΕ αποτελεί θυγατρική εταιρία της ΔΕΗ Α.Ε, η οποία συστάθηκε σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ της ΕΕ σχετικά με το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των μονοπωλιακών δραστηριοτήτων Μεταφοράς και Διανομής των καθετοποιημένων επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της ενέργειας. Σύμφωνα με την παραπάνω Οδηγία και το Ν. 4001/2011, Ο ΑΔΜΗΕ ανέλαβε το ρόλο του Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ) και συγκεκριμένα τα καθήκοντα λειτουργίας, συντήρησης και ανάπτυξης του ΕΣΜΗΕ ενσωματώνοντας τα αντίστοιχα καθήκοντα και λειτουργίες που

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

αποτελούσαν αρμοδιότητα του ΔΕΣΜΗΕ ως Διαχειριστή του Συστήματος και της Γενικής Διεύθυνσης Μεταφοράς της ΔΕΗ ως Κυρίου του Συστήματος.

4. **ΚΑΠΕ** : Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) είναι ο εθνικός διαχειριστής για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ) και την Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ). Ιδρύθηκε σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα 375/87 και αποτελεί νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου με οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια. Σύμφωνα με το νόμο 2244/94 (Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) και το νόμο 2702/99 το ΚΑΠΕ ορίστηκε ως Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς δραστηριότητάς του. Ο κύριος σκοπός του είναι η προώθηση των εφαρμογών ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, καθώς και η κάθε είδους υποστήριξη δραστηριοτήτων (τεχνολογικών, ερευνητικών, συμβουλευτικών, επενδυτικών) στους παραπάνω τομείς.
5. **ΡΑΕ** : Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας συστάθηκε με το Ν.2773/1999 στο πλαίσιο εναρμόνισης με τις Οδηγίες 2003/54/ΕΚ και 2003/55/ΕΚ για τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, με κύρια αρμοδιότητά της να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Οι αρμοδιότητες του φορέα αυτού μπορούν να συνοψιστούν σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν.2773/1999 ως εξής : (α) γενική αρμοδιότητα παρακολούθησης και ελέγχου της αγοράς ενέργειας σε όλους τους τομείς της, και η αρμοδιότητα υποβολής σχετικών εισηγήσεων στα αρμόδια όργανα για τη λήψη κατάλληλων μέτρων, (β) κυρίως γνωμοδοτικές αρμοδιότητες σε σχέση με τη χορήγηση των αδειών που προβλέπονται για την άσκηση δραστηριότητας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας (παραγωγή, προμήθεια, διαχείριση και κυριότητα δικτύων), (γ) σχετικά περιορισμένες αποφασιστικές αρμοδιότητες που αφορούν τη δυνατότητα επιβολής διοικητικών κυρώσεων ιδίως με τη μορφή επιβολής προστίμων ή εισήγησης για την ανάκληση αδειών όταν διαπιστώνεται παράβαση των διατάξεων του ν. 2773/1999, (δ) γνωμοδοτικές αρμοδιότητες σε σχέση με την έκδοση των κανονιστικών πράξεων που διέπουν τη λειτουργία της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, (ε) αρμοδιότητες διαιτητικής επίλυσης διαφορών στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και (στ) το σύνολο των αρμοδιοτήτων του Σώματος Ενεργειακού Ελέγχου και Σχεδιασμού το οποίο στο μεταξύ καταργήθηκε. Οι αρμοδιότητες αυτές συμπληρώθηκαν στη συνέχεια με τις διατάξεις του ν. 2941/2001 (ΦΕΚ Α' 201), με τις οποίες προβλέφθηκε ότι η ΡΑΕ αποκτά περαιτέρω και την αρμοδιότητα έγκρισης των λεπτομερειών εφαρμογής των βασικών Κωδικών λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή του Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, όπως αυτές ρυθμίζονται με απόφαση του αρμοδίου Διαχειριστή του Συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε).
6. **Υ.Π.Ε.Κ.Α** : Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας είναι υπεύθυνο για την αντιμετώπιση των ολοένα εντεινόμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων και την υιοθέτηση ενός νέου αναπτυξιακού προτύπου που θα εξασφαλίζει καλύτερες συνθήκες ζωής και δημιουργίας.
7. **ΛΑΓΗΕ** : Ο 'Λειτουργός της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ' ιδρύθηκε με βάση το Ν.4001/2011 για τη λειτουργία ενεργειακών αγορών ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, για έρευνα, παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις (ΦΕΚ179/22-8-2011) και ασκεί τις δραστηριότητες που ασκούσαν από τη 'Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ' (ΔΕΣΜΗΕ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

ΑΕ), πλην εκείνων που κατά το άρθρο 99 του ν.4001/2011 μεταφέρονται στην 'Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΑΕ' (ΑΔΜΗΕ ΑΕ). Ο ΛΑΓΗΕ εφαρμόζει τους κανόνες για τη λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας σύμφωνα με τις διατάξεις του νόμου 4001/2011 και των κατ' εξουσιοδότηση αυτού εκδιδόμενων πράξεων και ιδίως τον Ημερήσιο Ενεργειακό Προγραμματισμό.

Κάποιες από τις βασικότερες αρμοδιότητές του είναι : α) Τηρεί ειδικό Μητρώο Συμμετεχόντων στην Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας και εγγράφει τους Συμμετέχοντες, σύμφωνα με τις ειδικότερες διατάξεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, β) Παρέχει έγκαιρα και με κάθε πρόσφορο τρόπο στους Συμμετέχοντες στην Αγορά αυτή Ηλεκτρικής Ενέργειας τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμμετοχή τους στην Αγορά, γ) Συμμετέχει σε κοινές επιχειρήσεις, ιδίως με διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς, καθώς και χρηματιστήρια ηλεκτρικής ενέργειας και άλλους ανάλογους φορείς, με στόχο τη δημιουργία περιφερειακών αγορών στο πλαίσιο της εσωτερικής αγοράς ενέργειας, δ) Εισπράττει από τους Συμμετέχοντες τέλη για τη διαχείριση και λειτουργία της Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας και τηρεί τους αναγκαίους λογαριασμούς, σύμφωνα με τις ειδικότερες προβλέψεις του Κώδικα Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, ε) Συνάπτει συμβάσεις πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 12 του ν. 3468/2006 που παράγονται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ, εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, και καταβάλλει τις πληρωμές που προβλέπονται στις συμβάσεις αυτές. Τα ποσά που καταβάλλονται στους αντισυμβαλλόμενους ανακτώνται κατά τα προβλεπόμενα στο άρθρο 143 του Ν. 4001/2011 και άλλες.

8. **ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ** : Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας όπως αυτή ορίζεται από το ΦΕΚ Δ 114 (Αριθ. οικ. 5219)-17.02.2004.

Βιβλιογραφία

- [1] American Chemical Society, 2000.
- [2] Corkish Richard, Green A. Martin, Watt E. Muriel, Wenham R. Stuart, 'Applied Photovoltaics', 2nd Edition, Earthscan, 2007.
- [3] Cowie Jonathan, **Climate change: Biological and Human Aspects**, Cambridge University Press, 2013.
- [4] Greece 2011, European Commission, **DG Energy**, A1-June 2011
- [5] IPCC, Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation - **Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2012.
- [6] Jennings Heinsohn Robert & Lynn Kabel Robert, **Sources and control of air pollution**, Prentice-Hall, Inc, 1999.
- [7] Solar Power Europe, 2015
- [8] Spellman R. Frank, **Environmental Impacts of Renewable Energy**, Taylor and Francis Group, 2015.
- [9] Xianguo Li, **Green Energy : Basic Concepts and Fundamentals**, Springer-Verlag London 2011.
- [10] άλλες ρυθμίσεις (ΦΕΚ179/22-8-2011).
- [11] άρθρο 12 του ν. 3468/2006.
- [12] άρθρο 5 του Ν.2773/1999.
- [13] ΕΛΣΤΑΤ – Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία.
- [14] ΕΥΑΘ - Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκη.
- [15] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, Αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1288/9011, Άρθο 1.
- [16] ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ, Αριθμ. Υ.Α.Π.Ε./Φ1/1289/9012, Άρθρο 1-Παράγρ.2.
- [17] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ, τεύχος 4, Αριθμ. 114, 17 Φεβρουαρίου 2004.
- [18] ΛΑΓΗΕ, **Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο**, Ιανουάριος 2016.
- [19] ν. 2941/2001 (ΦΕΚ Α' 201).
- [20] Ν. 4001/2011.
- [21] Ν.2773/1999.
- [22] νόμο 2244/94 (**Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας**).
- [23] Νόμος 2702/99.
- [24] Οδηγία 2003/54/ΕΚ.
- [25] Οδηγία 2003/55/ΕΚ.
- [26] Οδηγία 2009/28/ΕΚ.
- [27] Οδηγία 2009/29/ΕΚ.
- [28] Οδηγία 2009/72/ΕΚ.
- [29] Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, **Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2015,1-3-2016**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

- [30] Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής-
Αρ.Πρωτ.:ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.
- [31] Υπουργική απόφαση, Αρ. Πρωτ.: Α.Υ./Φ1/οικ.19598, Αθήνα, 01 Οκτωβρίου
2010.

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

- [32] <http://www.arm.gov/docs/education/backgroundcompositionatmos.htm>
- [33] <http://ec.europa.eu/>
- [34] <https://www.dei.gr/Documents2/%CE%95%CE%9A%CE%95/NEWEKE18112015.pdf>: ΔΕΗ, 2015, **Απολογισμός Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης και Βιώσιμης Ανάπτυξης2014**
- [35] <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=vBWJVY3FdTk%3d&tabid=37>.
- [36] <http://www.eyath.gr/swift.jsp;jsessionid=4090393E6FB02B3238817254E6206D35?extLang=&CMCCode=060201>: **Εθνικό Σχέδιο Δράσης 20-20-20**
- [37] <https://www.dei.gr>
- [38] <http://www.deddie.gr>
- [39] <http://www.admie.gr/>
- [40] <http://www.rae.gr/>
- [41] <http://www.ypeka.gr/>
- [42] <http://www.lagie.gr/>
- [43] <http://www.cres.gr/kape/index.htm>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ήλιος - Ηλιακή
Γεωμετρία

2.1 Εισαγωγή

Ο όρος φωτοβολταϊκό φαινόμενο πρακτικά αναφέρεται στη διαδικασία άμεσης μετατροπής του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ηλιακών κελιών. Επομένως τα κυριότερα στοιχεία αυτής της διαδικασίας είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία παρέχει την κύρια πηγή ενέργειας και τα ίδια τα ηλιακά στοιχεία με τη συνδρομή των οποίων καθίσταται δυνατή η μετατροπή του ηλιακού φωτός, μέσω ευαίσθητων εσωτερικών διεργασιών, σε ηλεκτρική.

2.2 Φως

Από τα τέλη του 1600, ο Newton πρότεινε μια μηχανιστική άποψη για την εξήγηση του φωτός αναφερόμενος στην ύπαρξη μικρών σωματιδίων που το αποτελούν. Ωστόσο, από τις αρχές του 1800 πειράματα που πραγματοποιήθηκαν από τους Young και Fresnel έδειξαν αλληλεπιδράσεις στις δέσμες φωτός, υποδεικνύοντας έτσι ότι το φως ήταν αποτέλεσμα κυμάτων. Από το 1860, επικράτησαν οι θεωρίες του Maxwell περί ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το φως θεωρήθηκε ως μέρος ενός ευρύτερου φάσματος ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με διαφορετικά μήκη κύματος. Τέλος, το 1905 ο Einstein εξήγησε το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, προτείνοντας ότι το φως αποτελείται από διακριτά σωματίδια ή αλλιώς *κβάντα ενέργειας* (quanta) υποδεικνύοντας την έννοια της διττής φύσης (σωματιδίων - κύματος) του φωτός που συνοψίζεται στη **Σχέση 2.1**. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία το φως μεταφέρεται σε 'πακέτα' ή φωτόνια (photons) ενέργειας E. Αυτή η συμπληρωματική φύση του φωτός είναι μέχρι σήμερα αποδεκτή ([2],[9]).

$$E = h * f = \frac{h * c}{\lambda} \quad (\text{Σχέση 2.1})$$

Όπου E= η ενέργεια του φωτός.

f= η συχνότητα του φωτός.

λ= το μήκος κύματος.

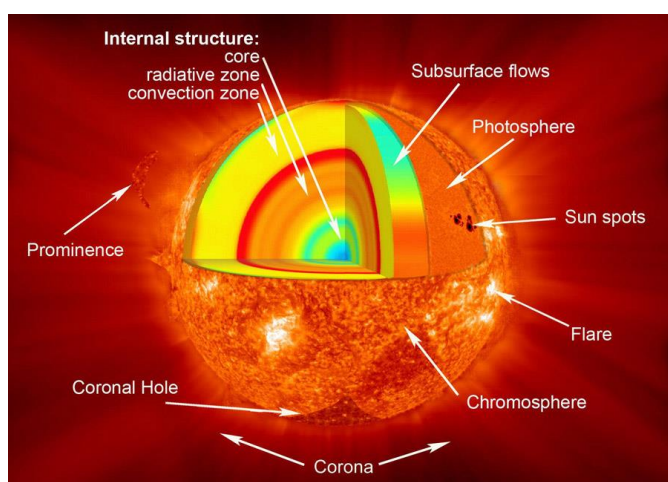
h= η σταθερά του Planck, $6.626 * 10^{-34}$ J*s.

c= η ταχύτητα του φωτός, $3.00 * 10^8$ m/s.

2.3 Ήλιος

Ο ήλιος είναι μία θερμή σφαίρα η οποία θερμαίνεται από αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που πραγματοποιούνται στο κέντρο του [12]. Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό αυτής της σφαίρας μπορούν να φτάσουν έως 20 εκατομμύρια K (βαθμούς Kelvin) [2]. Είναι σχεδόν τέλεια σφαίρα με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα (109 φορές μεγαλύτερη από τη Γη), και η μάζα του (2×10^{30} κιλά) αποτελεί το 99.86% της μάζας του ηλιακού συστήματος [13]. Λαμβάνοντας υπόψη την εξωτερική και εσωτερική διαμόρφωση του ηλίου (**Εικόνα 2.1**), μπορεί κανείς να διακρίνει, από την επιφάνεια προς τον πυρήνα, την κορώνα του ηλίου (corona), τη χρωμόσφαιρα (chromosphere), τη φωτόσφαιρα

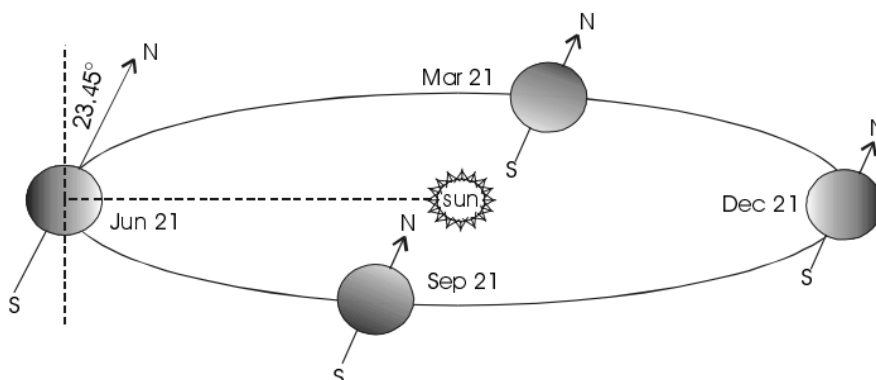
(photosphere) που είναι στην ουσία η 'επιφάνεια' του ηλίου με θερμοκρασίες έως περίπου 6000 K, τη ζώνη μετάδοσης θερμότητας (convection zone) όπου χρησιμοποιούνται αέρια (rising and falling) για τη μεταφορά θερμότητας στη φωτόσφαιρα (η έντονη ραδιενέργεια απορροφάται από ένα στρώμα ιόντων υδρογόνου που είναι κοντά στην επιφάνεια του ηλίου και μεταφέρεται μέσω συναγωγής), η ζώνη ακτινοβολίας (radiative zone) και τέλος ο πυρήνας (core) που έχει πυκνότητα περίπου 160 g/cm^3 και στον οποίο πραγματοποιούνται αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης. Η πυρηνική σύντηξη αναφέρεται στη διαδικασία όπου ελαφριά στοιχεία συνδυάζονται δημιουργώντας βαρύτερα, εκπέμποντας έτσι ενέργεια η οποία στη συνέχεια μεταφέρεται προς το εξωτερικό του ηλίου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αντίδρασης σύντηξης είναι η μετατροπή του υδρογόνου (H) σε ήλιο (He) παρέχοντας αρκετή ενέργεια για τη διατήρηση της ζωής στη Γή.



Εικόνα 2.1 : Περιοχές του ηλίου.

2.3.1 Κίνηση του Ηλίου

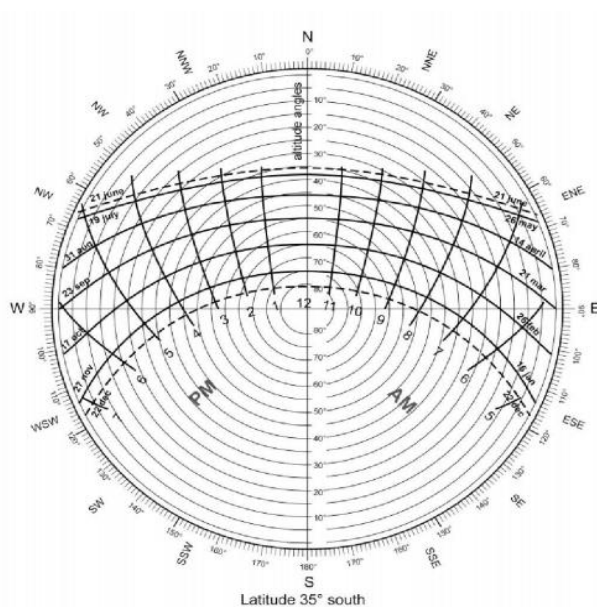
Η σχετική κίνηση του ηλίου ποικίλει κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους και εμφανίζεται στις ακραίες του θέσεις στο θερινό και στο χειμερινό ηλιοστάσιο, καθώς επίσης και στις ισημερίες. Στις ισημερίες (12 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου), ο ήλιος ανατέλλει εξ ανατολής και δύει εκ δύσης και στο ηλιακό μεσημέρι το ύψος του ισούται με 90° (μοίρες) μείον το γεωγραφικό πλάτος. Στα θερινά και χειμερινά ηλιοστάσια (περίπου 21 Ιουνίου και 22 Δεκεμβρίου, αντίστοιχα, για το νότιο ημισφαίριο και το αντίθετο για το βόρειο ημισφαίριο) το υψόμετρο στο ηλιακό μεσημέρι αυξάνεται ή μειώνεται κατά την κλίση του κάθετου άξονα της γης [2].



[Πηγή: Roger A. Messenger & Jerry Ventre]

Εικόνα 2.2 : Η τροχιά της γης και η απόκλισή της σε διάφορες χρονικές τιμές του χρόνου.

Η φαινομενική ηλιακή τροχιά μπορεί να παρουσιαστεί υπό μορφή πολικών ή κυλινδρικών διαγραμμάτων, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.3**.



[Πηγή: Phillips R.O, 1992]

Εικόνα 2.3 : Πολικό διάγραμμα φαινομενικής κίνησης του ηλίου από παρατηρητή στις 35° Νότια.

Κάποιες από τις βασικότερες έννοιες που απαιτούνται για την κατανόηση της σχετικής κίνησης γης-ηλίου είναι το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος και η απόκλιση του ηλίου.

- Το **γεωγραφικό πλάτος** (latitude) είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διάφορων τόπων στην

επιφάνεια της γης. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των διάφορων τόπων από τον Ισημερινό, ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος ίσο με 0.

- Το **γεωγραφικό μήκος** (Longitude) έχει οριστεί κατά σύμβαση να μετράται από τον Μεσημβρινό που διέρχεται από το Αστεροσκοπείο του Γκρίνουιτς στην Μεγάλη Βρετανία καλούμενος πρώτος μεσημβρινός ή αριθμητικά 000° 00' 00''. Το γεωγραφικό μήκος αποδίδεται σε μοίρες, πρώτα και δεύτερα της μοίρας ή και ως δεκαδικός αριθμός επί των προηγούμενων.
- **Απόκλιση δ** του ηλίου ορίζεται η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου-γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού. Η μέγιστη τιμή της, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, είναι 23,45°. Η ελάχιστη τιμή της, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, είναι -23,45°.

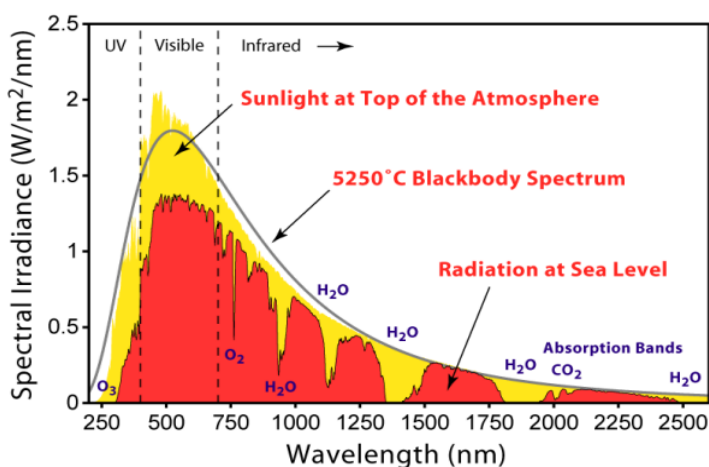
2.3.2 Πρόσπτωση Ηλιακού Φωτός στην Επιφάνεια της Γης

Αν και η ηλιακή ακτινοβολία που απομακρύνεται από την επιφάνεια του ηλίου μπορεί λογικά να θεωρηθεί σταθερή, στην επιφάνεια της γης είναι εξαιρετικά μεταβλητή, κι αυτό οφείλεται στην απορρόφηση και τη σκέδαση της στην ατμόσφαιρα της γης. Ένας από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζει το ποσοστό ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης είναι οι καιρικές συνθήκες (για παράδειγμα συννεφιά-καθαρός ουρανός). Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν σύννεφα, η μέγιστη ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης λαμβάνει χώρα όταν ο ήλιος βρίσκεται σε κάθετη θέση σε σχέση με τη γη (AM1-Air Mass). Όπως είναι λογικό στην περίπτωση αυτή το μήκος διαδρομής της ακτινοβολίας μέσω της ατμόσφαιρας είναι και το συντομότερο. Σε οποιαδήποτε άλλη θέση του ηλίου αυτό το μήκος μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση $1/\cos\phi$, όπου ϕ είναι η γωνία μεταξύ της πραγματικής θέσης του ηλίου και της κάθετης με τη γη θέσης του. Συνήθως το μήκος διαδρομής της ακτινοβολίας εκφράζεται ως 'αέρια μάζα' (Air Mass-AM) μέσω της οποίας πρέπει να διέλθει η ακτινοβολία για να προσπέσει στην επιφάνεια της γης. Ο όρος αυτός βασίζεται στη υπόθεση ότι η ατμόσφαιρα είναι ομοιογενής και μη-διαθλαστική και μπορεί να υπολογιστεί σε οποιαδήποτε περιοχή. Η φασματική διάχυση του ηλιακού φωτός εκτός της ατμόσφαιρας, εκφραζόμενη ως AM0 (Air Mass Zero) ουσιαστικά είναι αναλλοίωτη και η ολική ενεργειακή της πυκνότητα, στο όριο της ατμόσφαιρας, αναφέρεται ως ηλιακή σταθερά (solar constant) με τιμή $\gamma = 1.3661 \text{ kW/m}^2$, η οποία είναι ευρέως αποδεκτή ([1],[4]).

Επομένως είναι λογικό να υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ της άμεσης ακτινοβολίας από το ηλιακό σώμα και της *διαχεόμενης* ακτινοβολίας από οποιοδήποτε μέρος της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα, το ηλιακό φως το οποίο διέρχεται από την ατμόσφαιρα εξασθενεί κατά περίπου 30% έως ότου φτάσει τελικά στην επιφάνεια της γης εξαιτίας φαινομένων, όπως η σκέδαση από μόρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (κυρίως στα μικρού μήκους κύματα, τάξης $\sim \lambda^{-4}$), η σκέδαση από αερολύματα και σωματίδια σκόνης και η απορρόφηση από ατμοσφαιρικά αέρια όπως O_2 , O_3 , υδρατμοί και CO_2 ([3],[5]). Η απορρόφηση και η σκέδαση

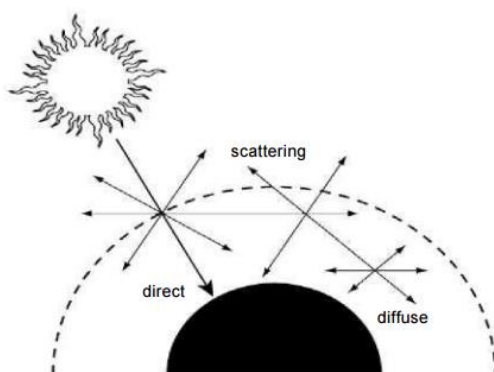
εξαρτώνται τόσο από το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός, όσο και από τη σύσταση της ατμόσφαιρας, δηλαδή την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας στα διάφορα αέρια και σωματίδια, καθώς και την ύπαρξη συννεφιάς. Περίπου το 99% της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε μήκος κύματος από 0,25 μm έως 4,0 μm . Σύμφωνα με την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας προκύπτει ότι :

- Στο ορατό φάσμα [$0,39 \mu\text{m} < \lambda < 0,77 \mu\text{m}$] περιέχεται το 46,41% της ενέργειας.
- Στο υπεριώδες [$\lambda < 0,4 \mu\text{m}$] το 2,03%.
- Στο υπόλοιπο [$\lambda > 0,77 \mu\text{m}$] το 51% της ενέργειας.



[Πηγή: Ελευθέριος Αμανατίδης, 'Ήπιες Μορφές Ενέργειας']

Εικόνα 2.4 : Φάσμα ηλιακής ενέργειας.



Εικόνα 2.5 : Σκέδαση στην ατμόσφαιρα, οδηγεί σε διάχυτη ακτινοβολία.

Οι ωκεανοί απορροφούν το 33% της ενέργειας που φτάνει στην επιφάνεια της γης και η ξηρά απορροφά το 14%. Το 0,1% της ηλιακής ενέργειας απορροφάται από τα φυτά.

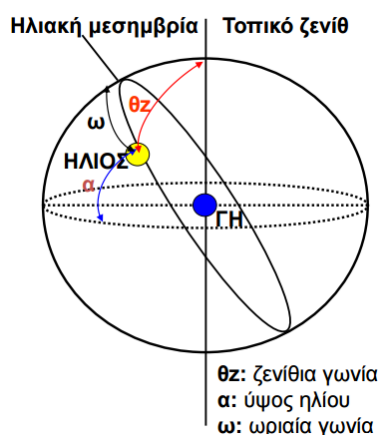
Υπάρχουν αρκετές αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία για τα δεδομένα και τις υπολογιστικές μεθόδους στον τομέα της ηλιακής ακτινοβολίας ([10],[7]). Αν και η ακτινοβολία εκτός των ορίων της γης είναι γνωστή από τη γεωμετρία και την ηλιακή σταθερά, η 'γήινη' ακτινοβολία υπολογίζεται με αρκετά πιο πολύπλοκες υπολογιστικές μεθόδους.

Κατά γενική ομολογία, για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι απαραίτητη η εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας που πρόκειται να προσπέσει σε επιφάνειες τυχαίας κλίσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ο μηνιαίος μέσος όρος των ημερήσιων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και οι τιμές κατά τις 'χαρακτηριστικές' ημέρες στα μέσα του μήνα για τον προσδιορισμό των μηνιαίων μέσων όρων. Ακόμη, απαραίτητη μπορεί να καταστεί και η γνώση ξεχωριστά των τιμών άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας κατά την εκτίμηση της κλίσης της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών.

Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους, άρα και ένα ΦΒ πλαίσιο, αποτελείται από τρεις συνιστώσες : την άμεση που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, τη διάχυτη που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο και την ανακλώμενη που προέρχεται από το έδαφος της γύρω περιοχής. Η άμεση ακτινοβολία που θα δεχθεί το επίπεδο, εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών.

Για τον υπολογισμό της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε επιφάνεια τυχαίου προσανατολισμού και κλίσης, η οποία βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, βασικές έννοιες αποτελούν η αζιμουθιακή γωνία, η ζενίθια γωνία, το ύψος του ηλίου και η ωριαία γωνία.

- Αζιμουθιακή γωνία γ_s : Γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού του τόπου και της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο της ευθείας που συνδέει τον ήλιο με τον παρατηρητή.
- Ζενίθια γωνία θ_z : η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του τοπικού ζενίθ και την ευθεία παρατηρητή-ήλιου ($0 < \theta_z < 90$).
- Ύψος ηλίου α : η γωνιακή απόσταση του ήλιου με τον ορίζοντα του τόπου (συμπληρωματική γωνία της θ_z).
- Ωριαία γωνία ω : η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$, ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω λαμβάνει θετικές τιμές, ενώ τις απογευματινές αρνητικές.



Εικόνα 2.6 : Ζενίθια γωνία, ύψος ηλίου, ωριαία γωνία.

Στην ανακλώμενη συνιστώσα εκτός από την κλίση του επιπέδου, συνυπολογίζεται και ο συντελεστής ανάκλασης, ο οποίος όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί, διαφέρει ανάλογα με την επιφάνεια.

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Φρέσκο χιόνι	0.87
Ξηρή άμμος	0.18
Υγρή άμμος	0.09
Δάσος κωνοφόρων	0.05
Τσιμέντο νέο	0.33
Τσιμέντο παλιό	0.23

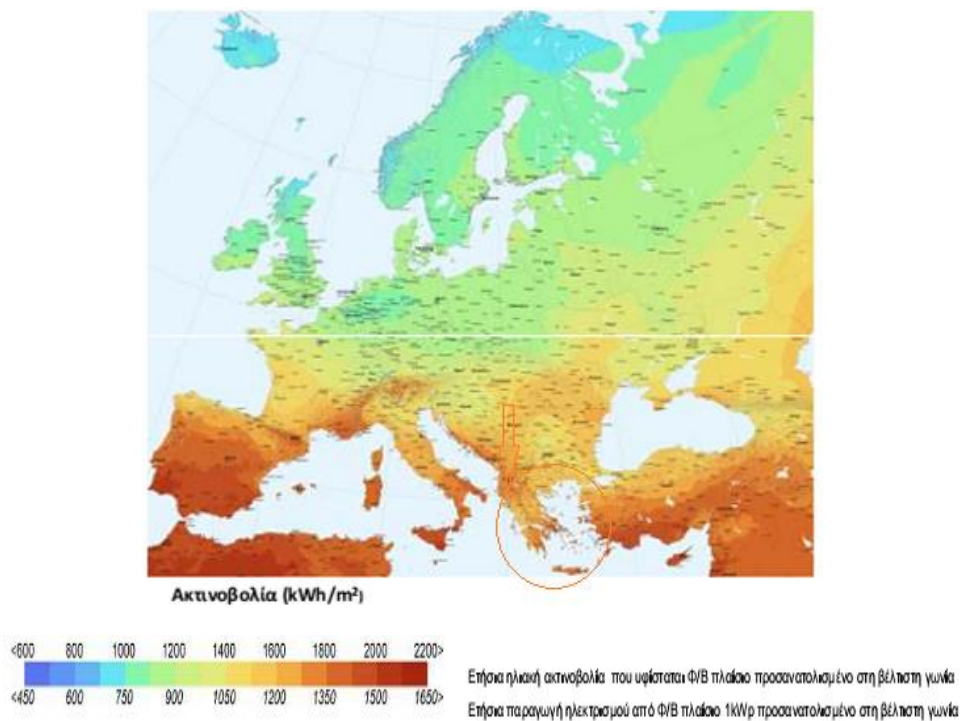
[Πηγή: Σημειώσεις ΑΠΕ | Δρ Π. Αξάπουλος]

Πίνακας 2.7 : Συντελεστής ανάκλασης για διάφορα είδη επιφανειών

Ωστόσο υπάρχουν κι άλλοι δείκτες που συμβάλλουν στην πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη, όπως για παράδειγμα ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας (K) ο οποίος ουσιαστικά είναι ο λόγος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο (I) προς την εκτός γήινης ατμόσφαιρας ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (I_0). Ο δείκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένα μέτρο της σχετικής διαπερατότητας της ατμόσφαιρας στην ηλιακή ακτινοβολία [13].

2.4 Ηλιακή Ενέργεια στην Ελλάδα

Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά της Ελλάδας είναι ο ήλιος, ο οποίος προσφέρει επαρκή ηλιοφάνεια κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η χώρα μας κατατάσσεται ενδέκατη ανάμεσα σε σαράντα χώρες ανά τον κόσμο με τον υψηλότερο δείκτη ηλιακού δυναμικού. Χάρη στις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθίσταται δυνατή η χρήση του ως πηγή ενέργειας για την κάλυψη τόσο ενεργειακών αναγκών της χώρας, όσο και για εξαγωγικούς σκοπούς προς την Ευρώπη.

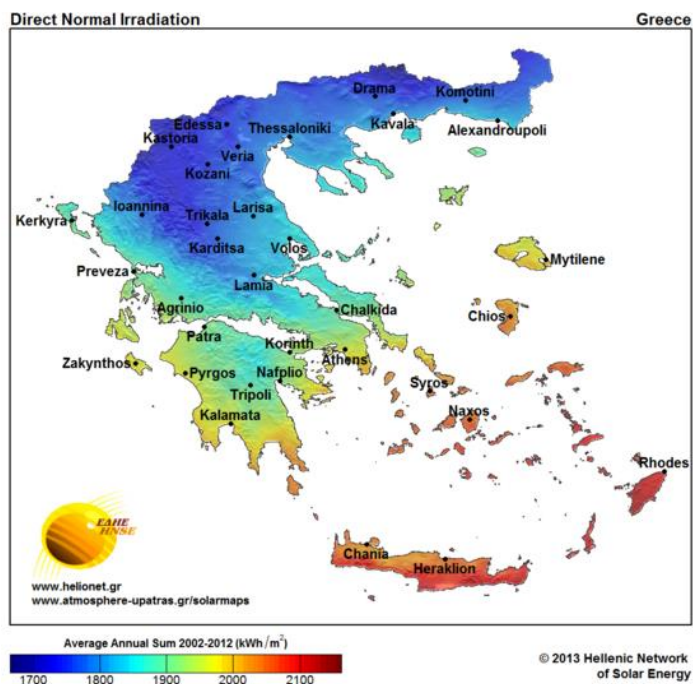


[Πηγή: European Communities, 2006]

Εικόνα 2.7 : Ετήσιο ηλιακό ηλεκτρικό δυναμικό στην Ευρώπη.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας επικρατεί ηλιοφάνεια για περισσότερες από 2.700 ώρες το χρόνο, ενώ σημαντικό στοιχείο για τη ηλιακό δυναμικό της χώρας είναι και το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο κυμαίνεται από 5.000 έως 6.100 MJ/m² [14].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΗΛΙΟΣ - ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ



[Πηγή : <http://www.helionet.gr>]

Εικόνα 2.7 : Μέση ετήσια ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα επιφανείας ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$) σε κάθε σημείο της Ελληνικής επικράτειας από το 2002 έως σήμερα. Προέκυψε από προσομοιώσεις με τη χρήση μοντέλου διάδοσης ακτινοβολίας, δορυφορικών εικόνων της νέφωσης και δορυφορικών εκτιμήσεων των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων.

Βιβλιογραφία

- [1] American Society for Testing Materials-ASTM, **The Characteristics of Sunlight**, 2000; 2003.
- [2] Corkish Richard, Green A. Martin, Watt E. Muriel, Wenham R. Stuart, **Applied Photovoltaics**, 2nd Edition, Earthscan 2007.
- [3] Gast P. R., **Solar Radiation**, in Campen et al., *Handbook of Geophysics*, McMillan, New York, pp. 14-30, 1960.
- [4] Gueymard A. Christian, **The Sun's Total and Spectral Irradiance for Solar Energy Applications and Solar Radiation Models**, *Solar Energy*, Vol. 76 (4), pp. 423-453, April 2004.
- [5] Iqbal M., **An introduction to Solar Radiation**, Academic, Toronto 1893.
- [6] Lorenzo E., **Energy collected and delivered by PV modules**, in Luque A. & Hegedus S. (Eds.), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Wiley, Chichester, pp. 905-970, 2003.
- [7] Lorenzo E., **Solar radiation**, in Luque A. Ed.), *Solar Cells and Optics for Photovoltaics Concentration*, Adam Hilger, Boston and Philadelphia, pp. 268-304, 1989.
- [8] Messenger A. Roger, Ventre Jerry, **Photovoltaic Systems Engineering**, 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis e-Library, 2005.
- [9] Nist, CODATA **Internationally recommended values of the fundamental physical values**, National Institute of Standards and Technology (physics.nist.gov/cuu/Constants), 2002.
- [10] Perez R., Aguiar R., Collares-Pereira M., Dismartier D., Estrada-Cajigal V., Gueymard C., Ineichen P., Littlefair P., Lunde H., Michalsky J., Olseth J. A., Renne D., Rymes M., Startveit A., Vignola F. & Zelenka A., **Solar resource assessment : A review**, in Gordon J. (Ed.), *Solar Energy : The State of the Art*, James & James, London 2001.
- [11] Phillips R.O, **Sunshine and Shade in Australasia**, 6th Edition, CSIRO Australia Technical report 92/2, Canberra 1992.
- [12] Quasching V., **Technology fundamentals : The sun as an energy resource**, *Renewable Energy World*, 6 (5), pp. 90-93, 2003.
- [13] Αμανατίδης Ελευθέριος, **Ήπιες Μορφές Ενέργειας**, Πάτρα.
- [14] Βλάχου Α., **Περιβάλλον και φυσικοί πόροι Οικονομική θεωρία και πολιτική**, Αθηνά Εκδόσεις Κριτική, 2001.
- [15] Δρ. Αξαόπουλος Π., **Σημειώσεις ΑΠΕ Ι**.

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

- [16] <http://www.helionet.gr>
- [17] <http://eclass.upatras.gr>
- [18] <http://atropos.as.arizona.edu/aiz/teaching/a250/pp.html>
- [19] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvngis/>

**Κεφάλαιο 3 : Από το Φωτοβολταϊκό
στοιχείο στο Φωτοβολταϊκό σύστημα**

3.1 Εισαγωγή

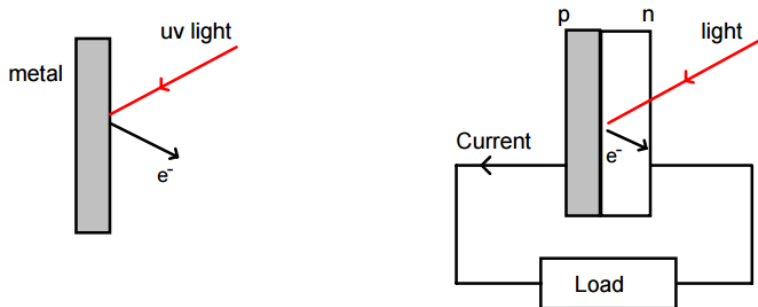
Ο όρος φωτοβολταϊκό αναφέρεται στην τεχνολογία με την οποία παράγεται συνεχές ρεύμα (DC), δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια από ημιαγώγιμα στοιχεία, όταν αυτά δέχονται φωτόνια. Το συνεχές ρεύμα μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο (AC) με κατάλληλες διατάξεις και να τροφοδοτήσει ηλεκτρικές συσκευές που απαιτούν AC ρεύμα. Όσο ο ήλιος ακτινοβολεί την επιφάνεια του στοιχείου, αυτό παράγει ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αποθηκευτεί (σε συσσωρευτές) και να υπάρχει παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ακόμη και όταν δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (νύχτα, συννεφιά).

3.2 Το Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ανάπτυξη της κβαντομηχανικής. Τα ηλιακά στοιχεία ανταποκρίνονται στα ηλιακά κβάντα ή σωματίδια (φωτόνια), δεχόμενα τη διττή φύση του φωτός. Η ενέργεια των φωτονίων εξαρτάται από τη συχνότητα, ή το χρώμα του φωτός. Τα φωτόνια που βρίσκονται στο ορατό φάσμα φέρουν ποσά ενέργειας ικανά να διεγείρουν τα ηλεκτρόνια, τα οποία είναι δεσμευμένα σε στερεά, σε υψηλότερα επίπεδα ενέργειας στα οποία έχουν μεγαλύτερη ελευθερία να κινηθούν. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (photovoltaic effect) αποτελεί παράδειγμα όλων των παραπάνω και εξηγήθηκε από τον Einstein το 1905. Ο ίδιος παρατήρησε πως το μπλε ή υπεριώδες φως, μπορεί να παρέχει τόση ενέργεια ώστε να γίνει δυνατή η απομάκρυνση όλων των ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου.

Υπό κανονικές συνθήκες, τα διεγειρόμενα από την ακτινοβολία ηλεκτρόνια ηρεμούν και επιστρέφουν στην κανονική τους κατάσταση ύστερα από το πέρας μικρού χρονικού διαστήματος. Σε μια ΦΒ συσκευή, ωστόσο, υπάρχει μια ενσωματωμένη ασυμμετρία η οποία εξασφαλίζει το διαχωρισμό των δημιουργούμενων φορέων και τη διοχέτευση των διεγειρόμενων ηλεκτρονίων σε εξωτερικό κύκλωμα, προτού προλάβουν να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση. Η βασική ιδέα όσων παρουσιάστηκαν παραπάνω απεικονίζεται σχηματικά στη συνέχεια (**Εικόνα 3.1**). Αυτή η περίσσεια ενέργειας δημιουργεί διαφορά δυναμικού ή αλλιώς ηλεκτρεγερτική δύναμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



[Nelson, 2003]

Εικόνα 3.1 : Σύγκριση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου σε ένα απλό μέταλλο (αριστερά) και σε ένα ηλιακό κελί (δεξιά).

3.3 ΦΒ Στοιχείο – ΦΒ Πλαίσιο

Ιστορικά, πολλές είναι οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί κατά καιρούς, τόσο για την κατανόηση των φαινομένων που διέπουν τη λειτουργία των ΦΒ όσο και για την ίδια την κατασκευή τους. Κάποιες από τις σημαντικότερες τοποθετούνται χρονολογικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Έτος	Επίτευγμα
1839	Η πρώτη προσπάθεια στα ΦΒ πραγματοποιήθηκε από τον Γάλλο φυσικό Edmund Becquerel, ο οποίος παρατήρησε ότι το φωτόρευμα μπορούσε να ρέει μεταξύ δύο ηλεκτροδίων τα οποία βρίσκονταν σε διάλυμα όταν η συσκευή εκτίθετο σε φως
1870	Ο Heinrich Hertz χρησιμοποίησε τις ανακαλύψεις του Edmond Becquerel για συγκεκριμένα υλικά , όπως το σελήνιο που παρήγαγαν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος κατά την έκθεσή τους στο φως.
1877	W.G Adams and R.E Day παρατήρησαν τη φωτοβολταϊκή επίδραση σε στερεό σελήνιο. Κατασκεύασαν το πρώτο στοιχείο από σελήνιο και δημοσίευσαν την εργασία τους με τίτλο ‘The action of light on the selinium’, στο <i>Proceedings of the Royal Society</i> .
1880	Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από σελήνιο μετέτρεπαν το φως σε ηλεκτρισμό με απόδοση 1-2%
1904	Ο Albert Einstein δημοσίευσε ένα άρθρο για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

1908	Ο Πολωνός επιστήμονας Czochralski ανέπτυξε μέθοδο για την ανάπτυξη μονοκρυσταλλικού πυριτίου, απαραίτητο βήμα για τη βιομηχανία υπολογιστών αλλά και ηλιακών κελιών
1920-1930	Η κβαντομηχανική οδήγησε στο θεωρητικό υπόβαθρο, που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, για την κατανόηση των ΦΒ συστημάτων
1940-αρχές 1950	Ανάπτυξη της μεθόδου Czochralski για την παραγωγή κρυσταλλικού πυριτίου υψηλής καθαρότητας (υλικό κατασκευής ΦΒ)
1954	Πειράματα από τους Calvin Fuller και Gerald Pearson στα εργαστήρια της Bell Telephone οδήγησαν στην παραγωγή φωτοβολταϊκού στοιχείου απόδοσης 4%. Αργότερα, στα ίδια εργαστήρια κατασκευάστηκαν ΦΒ κελιά με βελτιωμένη απόδοση, 11%.
1958	Κατασκευή του πρώτου δορυφόρου(the U.S. Vanguard space Satellite) τροφοδοτούμενου από συστοιχία φωτοβολταϊκών στοιχείων (λιγότερο από ένα watt)
1960	Κατανόηση της λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων που είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο
1970-1980	Συνεχής πτώση του κόστους παραγωγής ενέργειας από ΦΒ
1990	Εμφάνιση έντονης ανησυχίας σχετικά με την επίδραση των παραδοσιακών ορυκτών καυσίμων στο περιβάλλον που οδήγησε στην περαιτέρω ανάπτυξη νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
1992	Λειτουργία της μεγαλύτερης συστοιχίας φωτοβολταϊκών συσκευών(9600 ΦΒ πλαίσια λεπτού υμενίου) στο Davis της California, παρέχοντας πάνω από 479 kW, ενέργεια αρκετή για την τροφοδότηση 100 σπιτιών

[Πηγή : Messenger & Ventre, 2005; Capehart, 2007; Workbook, 2005; Dincer, 1999; Dincer & Rosen, 2005]

Πίνακας 1.1 Ιστορική αναδρομή ΦΒ συστημάτων

* Όλες οι ημερομηνίες είναι προσεγγιστικές και άλλες μπορεί να διαφέρουν λόγω διαφορετικών πηγών.

3.3.1 Χαρακτηριστικά ΦΒ Πλαισίου

Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο, σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο, πρέπει να διεκπεραιώνει δύο βασικές λειτουργίες : **α)** να απορροφά την ενέργεια του φωτός και να τη χρησιμοποιεί για να παράγει κινούμενα θετικά και αρνητικά ηλεκτρικά φορτία και **β)** να διαχωρίζει αυτά τα κινούμενα θετικά (θετικός πόλος) και αρνητικά ηλεκτρικά φορτία (αρνητικός πόλος) ώστε να δημιουργηθεί διαφορά δυναμικού μεταξύ τους. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια συσκευή δυο ακροδεκτών, η οποία δεν άγει στο σκοτάδι και παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν ακτινοβολείται από τον ήλιο (όπως η δίοδος). Στην ιδανική περίπτωση, τα χαρακτηριστικά μεγέθη $I - V$ συνδέονται μέσω της Σχέσης 3.1.

$$I = I_l - I_0 \left(e^{\frac{q*V}{k*T}} - 1 \right) \quad (\text{Σχέση 3.1})$$

Όπου I = η συνιστώσα του ρεύματος του κελιού που οφείλεται στα φωτόνια.

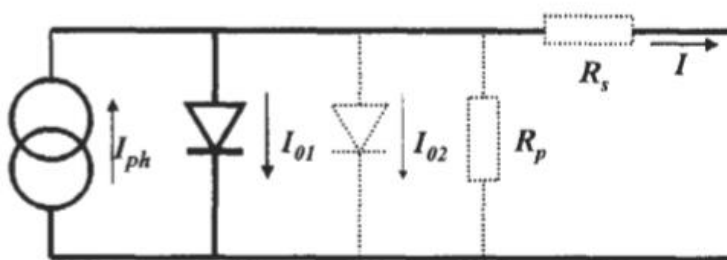
$k = 1,38 * 10^{-23}$ J/K (σταθερά Boltzman).

$q = 1,6 * 10^{-19}$ Coulomb (στοιχειώδες φορτίο ηλεκτρονίου).

T = η θερμοκρασία του στοιχείου σε K.

Φυσικά τα πραγματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποκλίνουν από την ιδανική περίπτωση που παρουσιάζει η παραπάνω εξίσωση, ωστόσο, μέσω αυτής προσδιορίζονται ως ένα βαθμό τα ιδανικά όρια επίδοσης του ΦΒ στοιχείου [12].

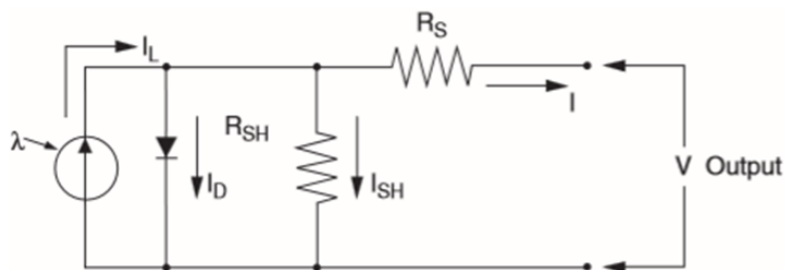
Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα : Οι πολύπλοκοι φυσικοί νόμοι που διέπουν ένα ΦΒ κελί μπορούν να αναπαρασταθούν από ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα (**Εικόνα 3.2**)



[Πηγή : Markvart & Castaner, 2003]

Εικόνα 3.2 : Ισοδύναμο κύκλωμα ηλιακού κελιού. (Με συνεχείς γραμμές φαίνονται τα ιδανικά στοιχεία, ενώ με τις διακεκομμένες τα μη ιδανικά).

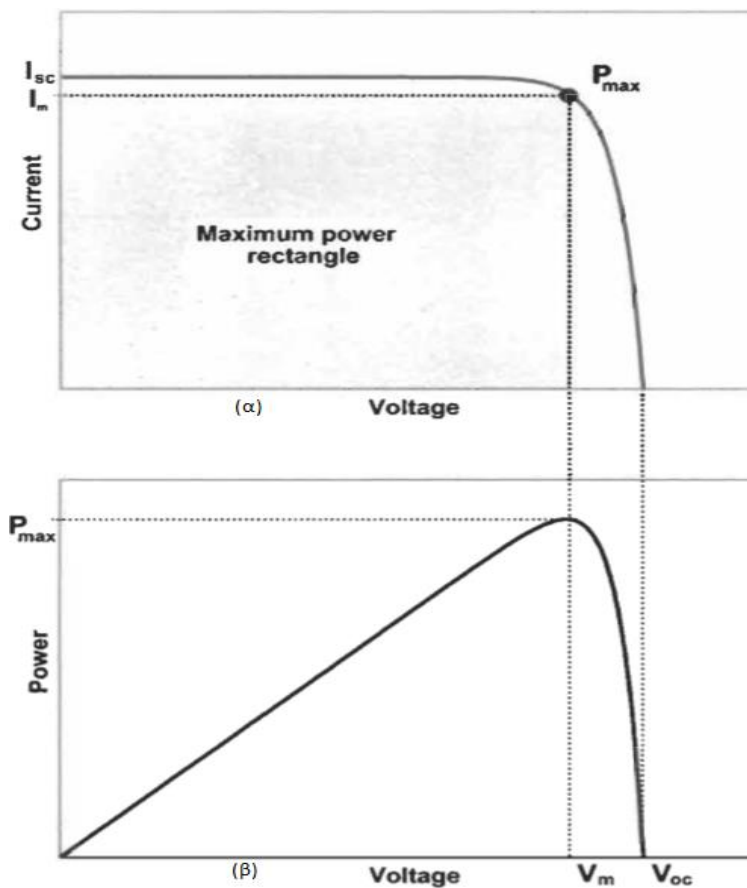
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



[Πηγή: Patel, 1999]

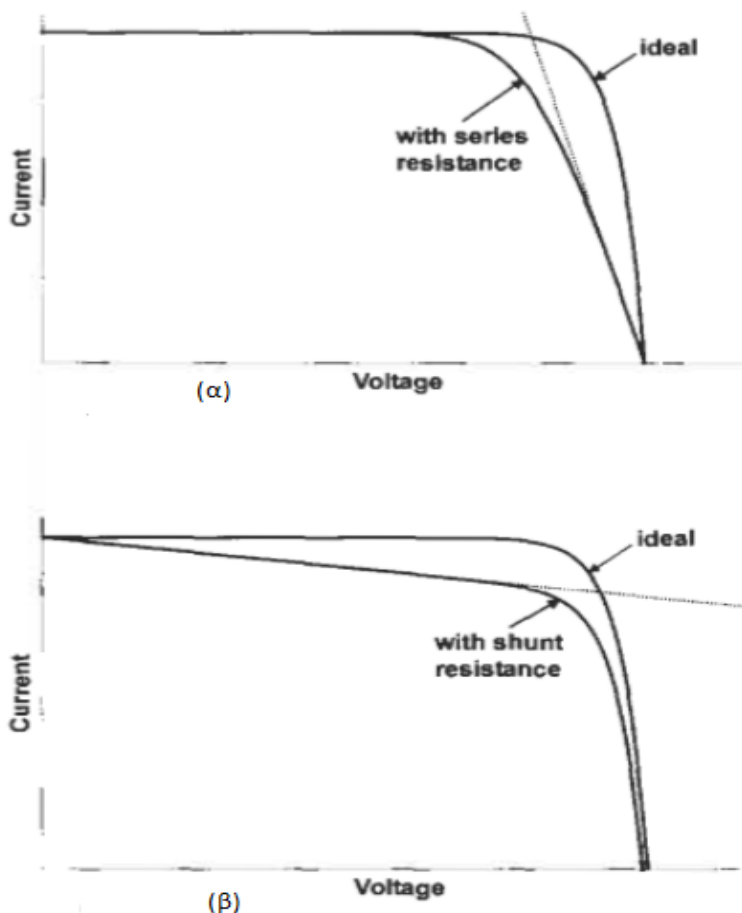
Εικόνα 3.3 : Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ πλαισίου.

Στην ιδανική περίπτωση η χαρακτηριστική ρεύματος- τάσης(I-V χαρακτηριστική) του ηλιακού στοιχείου παρουσιάζει τη μορφή του διαγράμματος που ακολουθεί.



[Πηγή : Markvart & Castaner, 2003]

Εικόνα 3.4 : $I - V$ χαρακτηριστική ενός ιδανικού στοιχείου (α) και η παραγόμενη ισχύς του (β). Η ενέργεια που παράγεται στο σημείο μέγιστης ισχύος ισούται με το εμβαδό του ορθογωνίου που σχηματίζεται στο διάγραμμα (α).



[Πηγή : Markvart & Castaner, 2003]

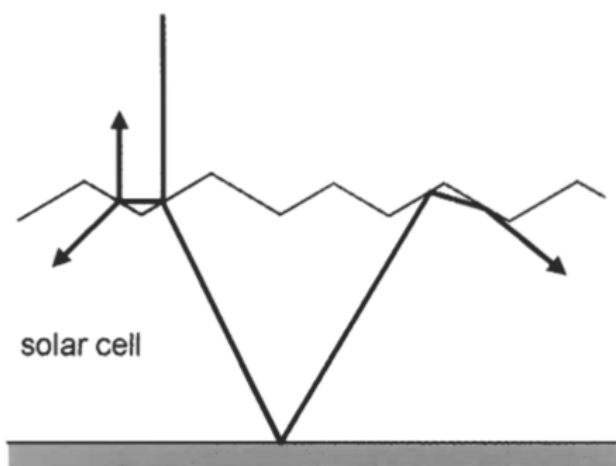
Εικόνα 3.5 : Επίδραση παράλληλης (α) και σε σειρά (β) αντίστασης στην $I - V$ χαρακτηριστική ιδανικού ΦΒ κελιού.

3.3.2 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά ΦΒ Στοιχείου

Το κελί, συνήθως, είναι ένα λεπτό κομμάτι ημιαγωγού επιφάνειας περίπου 100 cm^2 . Η επιφάνεια, που δέχεται την ακτινοβολία, είναι τέτοια ώστε να αντανακλά σε ελάχιστο βαθμό και να απορροφά σε μέγιστο την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Το χρώμα που επιλέγεται για να επιτυγχάνεται αυτό είναι σκούρο μπλε ή μαύρο. Μείωση της αντανάκλασης επιτυγχάνεται και με ένα (ή και περισσότερα) στρώμα διηλεκτρικού στη μπροστινή επιφάνεια του κελιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Για την παγίδευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μείωση του ποσοστού που απομακρύνεται από την πίσω επιφάνεια του στοιχείου, συνηθέστερη τεχνική αποτελεί ο συνδυασμός μη λείας επιφάνειας στο πάνω μέρος και μιας επιφάνειας με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης στο κάτω μέρος (**Εικόνα 3.6**). Ο συνδυασμός αυτός αποσκοπεί στη επιμήκυνση του χρόνου παραμονής της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κελιού. Στα φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου, η επιμήκυνση αυτή συμβάλλει στη μείωση του πάχους των στοιχείων, χωρίς να επηρεάζεται η απορρόφηση ακτινοβολίας.



[Πηγή : Markvart & Castaner, 2005]

Εικόνα 3.6 : Συνδυασμός πάνω επιφάνειας με καμπύλες και κάτω επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης για τον εγκλωβισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο ΦΒ κελί.

3.3.2.1 Δομές Ηλιακών Στοιχείων

1. Επαφής p-n : το ΦΒ κελί επίπεδης p-n επαφής, με χαμηλή έγχυση ξεχωρίζει ως προς την ανάλυση αφού οι ρεαλιστικές προσεγγίσεις που το διέπουν επιτρέπουν την ανάπτυξη αναλυτικών λύσεων οι οποίες χρησιμοποιούνται επιτυχώς για την περιγραφή πρακτικών συσκευών. Η επιτυχία του μοντέλου αυτού έγκειται, σε μεγάλο βαθμό, στο γεγονός ότι το κελί μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές – τον εκπομπό (emitter), την περιοχή επαφής (junction region) και τη βάση (base) - όπου το καθένα εξυπηρετεί έναν ξεχωριστό σκοπό στη λειτουργία του φωτοβολταϊκού κελιού. Ο εκπομπός και η βάση, τα οποία παραμένουν ως ένα μεγάλο βαθμό ουδέτερα καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου, απορροφούν το κύριο μέρος του τυχαίου φωτός και μεταφέρουν τους φορείς μειονότητας στην επαφή. Η p-n επαφή, η οποία περιέχει ένα ισχυρό ηλεκτρικό φορτίο και ένα καθορισμένο όριο φόρτισης, διαχωρίζει τους φορείς μειονότητας που συλλέγονται από τη βάση και τον εκπομπό. Από την

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

επαφή αποβάλλονται αποτελεσματικά οι φορείς φορτίων και γι' αυτό πολλές φορές καλείται 'περιοχή εκκένωσης'.

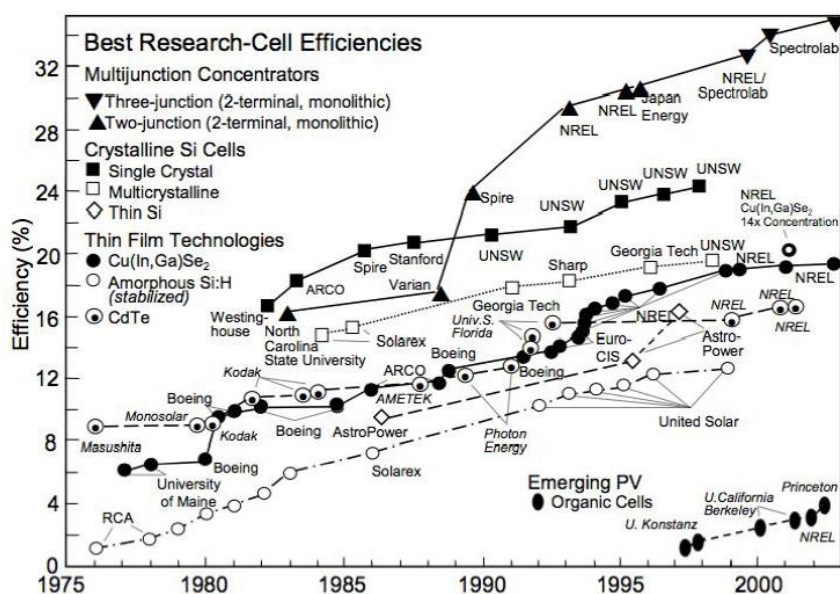
2. Στοιχείο ετεροεπαφής (Heterojunction Cells) : Οι ετεροδομές αντιπροσωπεύουν μια ευκαιρία για την κατασκευή αποτελεσματικών ΦΒ στοιχείων από υψηλής απορροφητικότητας υλικά λεπτού υμενίου (thin-film material) χωρίς ουσιαστικές απώλειες από την επανασύνδεση ηλεκτρονίων-οπών στην μπροστινή επιφάνεια.
3. Δομή p-i-n : Η ανάλυση των ΦΒ κελιών p-i-n επαφής είναι εξαιρετικής σημασίας για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των κελιών από άμορφο πυρίτιο. Ακόμη, παρόμοιες αρχές διέπουν και την περιγραφή άλλων ΦΒ στοιχείων λεπτού-υμενίου όπου η διάχυση των φορέων είναι μη αποτελεσματική και γι' αυτό χρησιμοποιείται ηλεκτρικό πεδίο για την ενίσχυση της μεταφορά και την συλλογή των φορτίων-φορέων. Παρά τη σημασία τους, όμως, η θεωρητική κατανόηση αυτών των δομών είναι περιορισμένη λόγω της θεμελιώδους τους πολυπλοκότητας [11].

Τα ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται έχοντας ως δομική μονάδα το ΦΒ κελί. Ένα κελί, όταν ακτινοβολείται από τον ήλιο, παράγει συνεχή τάση 0.5 έως 1 Volt και όταν πρόκειται για κλειστό κύκλωμα μερικές δεκάδες mA/cm² πυκνότητα ρεύματος. Η παραγόμενη αυτή τάση είναι πολύ μικρή στις περισσότερες εφαρμογές. Για να παραχθούν επίπεδα τάσης που θα μπορούσαν να ανταποκρίνονται σε πραγματικές ανάγκες, τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά, δημιουργώντας το πλαίσιο. Για παράδειγμα, για να επιτευχθεί συνεχής τάση τιμής 12V στο πλαίσιο απαιτείται η σύνδεση 28 έως 36 στοιχείων σε σειρά ([13],[10]).

3.4 Απόδοση ΦΒ

Η αποδοτικότητα των ΦΒ κυψελών εξαρτάται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας και από τον τρόπο διασύνδεσης με το εξωτερικό κύκλωμα. Η μεταβολή της απόδοσης των ΦΒ διαφόρων τεχνολογιών στο πέρασμα του χρόνου φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 3.7**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



[Πηγή: Bertolli Michael, 2008]

Εικόνα 3.7 :Απόδοση ΦΒ διαφόρων τεχνολογιών και κατασκευαστικών υλικών στο πέρασμα του χρόνου.

3.4.1 Γήρανση

Βασικός παράγοντας που μειώνει την απόδοση των ΦΒ με το πέρασμα του χρόνου είναι η γήρανση αυτών.

Η γήρανση των φωτοβολταϊκών στοιχείων και πλαισίων είναι απόρροια τόσο των φυσικών καιρικών συνθηκών όσο και άλλων εξωτερικών παραγόντων. Στην πρώτη περίπτωση συγκαταλέγονται παράγοντες όπως οι υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες, η υψηλή ηλιακή ακτινοβολία, τα χαμηλότερα μήκη κύματος της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας, καθώς η βροχή και ο άνεμος που έχουν ως αποτέλεσμα τον αποχρωματισμό του ΦΒ, την εισχώρηση υγρασίας και μακροπρόθεσμα οπτική και φυσική υποβάθμιση του συστήματος. Όσον αφορά τη δεύτερη περίπτωση, εξωτερικοί παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν η κοντινή βλάστηση ή άλλα αντικείμενα που είναι τοποθετημένα κοντά στο ΦΒ σύστημα, η σκόνη και άλλες ακαθαρσίες που προκαλούν σκίαση και τελικά βραχυπρόθεσμη ή/και μακροπρόθεσμη υποβάθμιση. Ακόμη, η γήρανση των ΦΒ μπορεί να προκληθεί και από εσωτερικούς παράγοντες των ΦΒ, όπως για παράδειγμα κρυσταλλικές ατέλειες ή ακαθαρσίες καθώς και πιθανές ρωγμές και ελαττώματα κατά την κατασκευή αυτών που έχουν ως αποτέλεσμα τη φυσική και ηλεκτρική υποβάθμιση του ΦΒ.

Αποτέλεσμα της γήρανσης των ΦΒ αποτελεί η υποβάθμιση του UV stabilizer που έχει ως αποτέλεσμα τον αποχρωματισμό της επικάλυψης EVA (Ethylene Vinyl Acetate) ή αποκόλληση αυτής και την παραγωγή οξικού οξέος, η οξείδωση, η εισροή υγρασίας, η

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

δημιουργία θερμών κηλίδων/περιοχών, οι ρωγμές, η δημιουργία φυσαλίδων (Bubbles) οι διαβρώσεις σε bus bars και σε επαφές [8].

Τα στάδια της γήρανσης μπορεί να συνοψιστούν ως εξής : α) Αρχική αποικοδόμηση, β) Πρώτα σημάδια γήρανσης και γ) σταδιακή ή/και επιταχυνόμενη γήρανση.



Εικόνα 3.8 : Αλλοίωση στο χρώμα της επικάλυψης EVA.



Εικόνα 3.9 : Αποκόλληση της επικάλυψης.

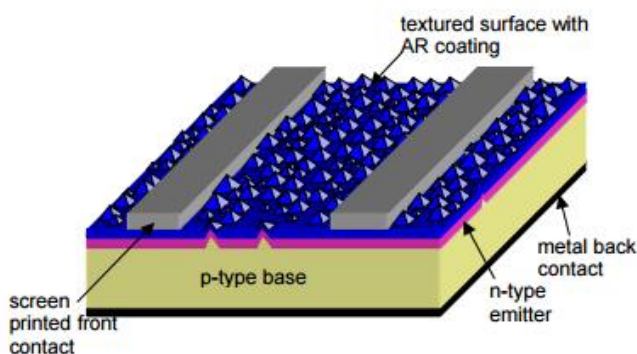
3.5 Γενιές Φωτοβολταϊκών

Τα ΦΒ πλαίσια ανάλογα με την τεχνολογική και κατασκευαστική τους υπόσταση μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες : τα πρώτης γενιάς, τα δεύτερης γενιάς και τα τρίτης γενιάς.

- ✓ **Πρώτης Γενιάς ΦΒ : Κρυσταλλικό πυρίτιο** (Crystalline Si). Για τα περισσότερα κατασκευασμένα ηλιακά στοιχεία έχει χρησιμοποιηθεί κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si). Για την ακρίβεια, αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών [22]. Το υλικό αυτό είναι ημιαγωγός, δηλαδή η ηλεκτρική του αγωγιμότητα κυμαίνεται ανάμεσα σε εκείνη των μετάλλων και των μονωτών. Το πυρίτιο ανήκει στην IV ομάδα του περιοδικού πίνακα, γεγονός που υποδεικνύει ότι κάθε άτομο του έχει τέσσερα χημικά-ενεργά ηλεκτρόνια που αναφέρονται ως ηλεκτρόνια σθένους. Στο σκοτάδι, τα τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου του πυριτίου είναι ισχυρά συνδεδεμένα με τα αντίστοιχα άτομά τους καθιστώντας δύσκολη τη μετακίνησή τους στον κρύσταλλο. Όταν, όμως, φωτόνια προσπέσουν στο πυρίτιο, η ενέργειά τους μπορεί να απορροφηθεί από τα ηλεκτρόνια σθένους τα οποία απελευθερώνονται και καθίστανται ελεύθερα κινούμενα φορτία αφήνοντας κενή τη 'θέση' τους. Αυτές οι κενές θέσεις, δρουν ως θετικά φορτία ή θετικά σωματίδια και καλούνται οπές (holes). Έτσι, το πυρίτιο μπορεί να απορροφήσει φωτόνια δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ζεύγη οπών-ηλεκτρονίων (electron-hole pairs EHPs). Όσον αφορά το διαχωρισμό των κινούμενων φορτίων, το πυρίτιο χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει μια δίοδο. Σημαντική ιδιότητα των ημιαγωγών είναι ότι οι αγωγιμότητές τους μπορούν να ελέγχονται με προσμίξεις άλλων υλικών. Στην

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

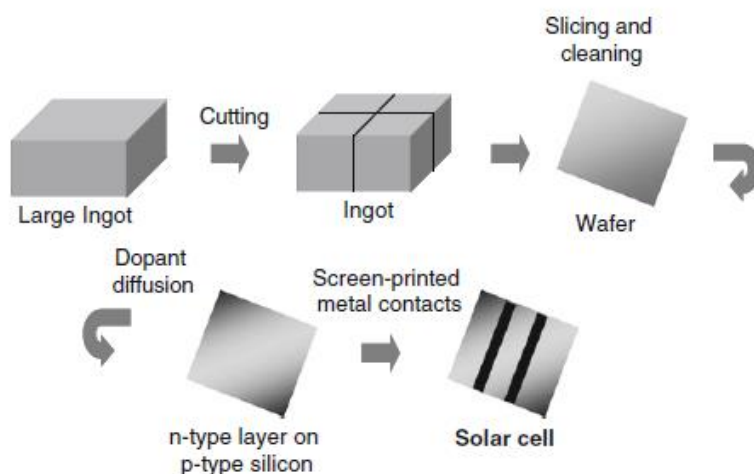
περίπτωση του Si υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες προσμίξεων : α) στοιχεία από την V στήλη του περιοδικού πίνακα τα οποία διαθέτουν ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο και β) στοιχεία από την III στήλη τα οποία έχουν έλλειψη ενός ηλεκτρονίου, ή ισοδύναμα διαθέτουν μία οπή. Όταν, λοιπόν προστίθενται οι προσμίξεις της πρώτης κατηγορίας στο πυρίτιο, τα επιπλέον ηλεκτρόνια κινούνται στον κρύσταλλο, με αποτέλεσμα να προκύπτει πληθώρα κινούμενων ηλεκτρονίων. Στη δεύτερη περίπτωση, αντίστοιχα, τα άτομα της τρίτης στήλης του περιοδικού πίνακα με την επιπλέον οπή προσδίδουν στο πυρίτιο περίσσεια κινούμενων οπών. Γενικά, οι προσμίξεις της τέταρτης στήλης αναφέρονται ως n-type (negative) επειδή η αγωγιμότητά τους ελέγχεται από τα αρνητικά ηλεκτρόνια, και τις προσμίξεις της τρίτης στήλης ως p-type (positive) [3].



[Πηγή : Boreland & Bagnall, 2008]

Εικόνα 3.10 : Σχηματική αναπαράσταση ενός τυπικού μονοκρυσταλλικού ηλιακού στοιχείου.

Ουσιαστικά τα τυπικά φωτοβολταϊκά της πρώτης γενιάς είναι συνδεόμενες (sandwich) περιοχές τύπου n και p (**Εικόνα 3.10**). Η διεπαφή μεταξύ των δύο αυτών περιοχών καλείται p-n επαφή. Εξαιτίας της φύσης της, η επαφή λειτουργεί στην ουσία ως ηλεκτρική βαλβίδα, τα ηλεκτρόνια μπορούν να διέλθουν από την p- πλευρά στην n-, αλλά η ροή αυτή δεν είναι αμφίδρομη. Αντίστοιχα, οι 'θετικές οπές' μπορούν να ρέουν από την n-πλευρά προς την p-, αλλά και πάλι η ροή αυτή είναι μονόδρομη. Κατά την απορρόφηση φωτονίου, μόνο ένα από τα δύο φορτισμένα μέρη (ηλεκτρόνιο σθένος, θετική οπή) μπορεί να μεταφερθεί από τη μία πλευρά στην άλλη. Έτσι διαχωρίζονται τα φορτία δημιουργώντας δυναμικό στη συσκευή (photovoltage). Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα θετικό και αρνητικό άκρο στο ηλιακό κελί, όπως σε μια μπαταρία, και αν τοποθετηθεί μια ηλεκτρική επαφή στα άκρα, η διαφορά δυναμικού μπορεί να προκαλέσει ροή ρεύματος.



[Πηγή: X. Wang & Z. Wang, 2014]

Εικόνα 3.11 Ακολουθία βημάτων της διαδικασίας κατασκευής φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου με ιδιότητες ημιαγωγού.

Ωστόσο, τα πρώτης γενιάς ΦΒ υπόκεινται σε βασικούς περιορισμούς, βασικότερος εκ των οποίων είναι το υψηλό κόστος τους ίδιου του υλικού κατασκευής, δηλαδή του πυριτίου, το οποίο σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες διατηρούν το ενεργειακό κόστος των φωτοβολταϊκών πρώτης γενιάς αρκετά υψηλό.

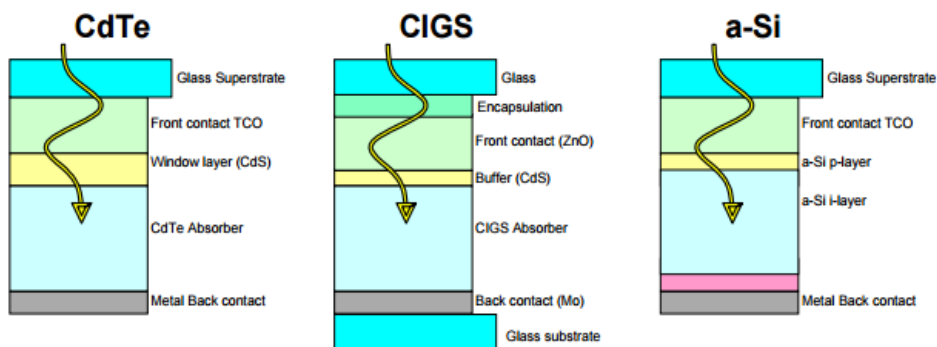
Τα ΦΒ πλαίσια πυριτίου διαχωρίζονται με τη σειρά τους σε :

- **πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (single Crystalline silicon, sc - Si):** Τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνεια ή 'ενεργειακής πυκνότητας'. Παρουσιάζουν πάχος γύρω στα 0,3 χιλιοστά και η απόδοσή τους κυμαίνεται από 15% - 18%. Σε εργαστηριακό επίπεδο έχουν επιτευχθεί επιδόσεις έως και 24,7%. Χαρακτηριστικό μειονέκτημα των στοιχείων αυτών αποτελεί το υψηλό κόστος κατασκευής.
- **πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου (multi crystalline silicon, mc - Si) :** Το πάχος και σε αυτά τα στοιχεία είναι περίπου 0,3 χιλιοστά και οι αποδόσεις τους σε επίπεδο εμπορίου κυμαίνονται από 13% – 15%. Σε εργαστηριακό επίπεδο η μέγιστη απόδοση αγγίζει το 20%. Η μέθοδος παρασκευής είναι πιο οικονομική από αυτή των μονοκρυσταλλικών, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στις τιμές πώλησης. Οπτικά είναι δυνατή η παρατήρηση των επιμέρους μονοκρυσταλλικών περιοχών. Όσο μεγαλύτερες σε έκταση είναι οι περιοχές αυτές, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση του στοιχείου.
- **πλαίσια ταινίας πυριτίου (ribbon silicon) :** Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία, η οποία προσφέρει έως και 50% μείωση στη χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών κυψελών. Η απόδοση τους αγγίζει το

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

12% – 13%, ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Σε εργαστηριακό επίπεδο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18% [22].

- ✓ **Δεύτερης Γενιάς ΦΒ : Λεπτού Υμενίου (Thin Films)** : Το προφανές βήμα στην εξέλιξη των ΦΒ ήταν να απομακρυνθεί το μη απαραίτητο υλικό από την εξίσωση κόστους χρησιμοποιώντας συσκευές λεπτού υμενίου. Η βασική δομή των φωτοβολταϊκών συσκευών δεύτερης γενιάς είναι κατ' ουσία παρόμοια με εκείνη από τα πρώτης γενιάς φωτοβολταϊκά [13]. Η βασική διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι τα δεύτερης γενιάς δεν κατασκευάζονται από ογκώδη κρυσταλλικά υλικά, αλλά από λεπτό φιλμ, χρησιμοποιώντας λιγότερα υλικά ενώ ταυτόχρονα διατηρούν την αποτελεσματικότητα των ΦΒ πρώτης γενιάς. Για τα ηλιακά στοιχεία των ΦΒ 2^{ης} γενιάς χρησιμοποιούνται άμορφο-πυρίτιο (a-Si), CuIn(Ga)Se₂ (CIS), CdTe (CdS) ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (p-Si) που εναποτίθεται σε χαμηλού κόστους υποστρώματα όπως το γυαλί (**Εικόνα 3.12**). Οι τεχνολογίες αυτές οδηγούν σε επιθυμητά αποτέλεσμα λόγω της βελτιωμένης ικανότητας των υλικών αυτών να απορροφούν το ηλιακό φάσμα πιο αποτελεσματικά από το c-Si ή το mc-Si και του γεγονότος ότι χρησιμοποιούν μόνο 1-10μm ενεργού υλικού [1]. Ωστόσο, μέχρι στιγμής, τα ΦΒ αυτά παρουσιάζουν μικρές αποδόσεις σε σύγκριση με τα πυριτίου. Επίσης οι γνώσεις και οι τεχνολογία πάνω στα οποία βασίζονται είναι περιορισμένες. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι δεν είχαν γίνει έρευνες πριν από αυτές για τα ΦΒ, όπως συνέβη με το πυρίτιο το οποίο χρησιμοποιούνταν ευρέως στην βιομηχανία των ηλεκτρονικών [9].



[Πηγή: Bagnall & Boreland, 2008]

Εικόνα 3.12 : Σχηματική απεικόνιση ΦΒ διατάξεων λεπτού υμενίου κατασκευασμένων από CdTe, CIGS και a-Si.

Τα ΦΒ λεπτών υμενίων μπορούν να παρουσιαστούν επιγραμματικά ως εξής :

- **Στοιχεία δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)** : Ο χαλκός αυτός παρουσιάζει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του πλαισίου με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Εργαστηριακά η μέγιστη απόδοση είναι στο 18,8%, η μεγαλύτερη εφικτή όσον αφορά τις ΦΒ τεχνολογίες λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

απόδοση μπορεί να αυξηθεί ακόμη περισσότερο. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί το ίδιο, καθώς οι ποσότητες του στη φύση είναι περιορισμένες.

- **Στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous - Thin-film silicon, a-Si)** : Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις από όλα τα προηγούμενα πλαίσια και κυμαίνονται στο 6%-8%, ενώ στο εργαστήριο η απόδοση αγγίζει το 14%. Ο όρος 'άμορφο' προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Βασικό πλεονέκτημα των στοιχείων αυτών είναι η ανθεκτικότητα στις υψηλές θερμοκρασίες και η καλύτερη απόδοση στην ύπαρξη διάχυτης ακτινοβολίας (για παράδειγμα λόγω ύπαρξης συννεφιάς). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, δηλαδή η απαίτηση διπλάσιας επιφάνειας, σε σχέση με τα κρυσταλλικά στοιχεία, για την παραγωγή ίδιας ποσότητας ενέργειας. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά, ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.
 - **Στοιχεία τελουριούχου καδμίου (CdTe)** : Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1 eV, το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα. Αυτό σημαίνει πως η δυνατότητα του να απορροφά την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ποσοστό 99%. Ωστόσο οι σημερινές αποδόσεις σε βιομηχανική κλίμακα είναι 6% - 8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα ΦΒ στοιχεία έχει φτάσει το 16%.
 - **Στοιχεία αρσενικούχου γαλλίου (GaAs)** : Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο και από τον χρυσό. Το αρσενικό από την άλλη αν και υπάρχει σε αφθονία, είναι δηλητηριώδες. Το GaAs έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση των πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το **29%**. Επίσης τα ΦΒ στοιχεία αυτά είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που σχεδόν επιβάλλει τη χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators).
- ✓ **Τρίτης Γενιάς ΦΒ** : Καθώς η τεχνολογία των 2^{ης} γενιάς ΦΒ διατάξεων μειώνει προοδευτικά το κόστος με τη χρήση λεπτών υμενίων, σταδιακά ακόμη και τα χαμηλού κόστους υποστρώματα θα γίνουν οικονομικός περιορισμός καθώς θα απαιτείται υψηλότερη απόδοση ώστε να διατηρηθεί η τάση μείωσης του κόστους. Η λύση σε αυτό δίδεται από τα ΦΒ 3^{ης} γενιάς, τα οποία υπερβαίνουν τα όρια διατάξεων μονής επαφής (single junction devices) και οδηγούν σε εξαιρετικά υψηλή απόδοση για το ίδιο παραγωγικό κόστος με τις ΦΒ διατάξεις πρώτης και τρίτης γενιάς, γεγονός που οδηγεί σε μείωση του συνολικού κόστους (\$/W) [7].

3.6 Στόχοι στην Έρευνα και στην Κατασκευή ΦΒ

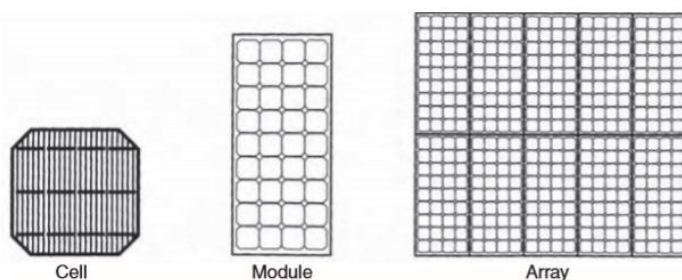
Κατασκευαστικά αλλά και ερευνητικά γίνονται προσπάθειες προκειμένου να επιτευχθεί μείωση του κόστους αλλά με παράλληλη αύξηση της απόδοσης των ΦΒ. Πιο συγκεκριμένα οι στόχοι στη βιομηχανία των ΦΒ είναι οι εξής :

- Χρήση λιγότερων ημιαγωγικών υλικών για την κατασκευή λεπτότερων κελιών.
- Χρήση φθηνότερων ημιαγωγικών υλικών (για παράδειγμα υλικά με μικρότερο ποσοστό καθαρότητας).
- Βελτίωση της απόδοσης παρά τη χρήση φθηνότερων ημιαγωγών.
- Μείωση των στοιχείων που απορρίπτονται λόγω μειωμένης ποιότητας και αύξηση της χρησιμότητας των υλικών.
- Αύξηση της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται αποτελεσματικά από το ΦΒ κελί.
- Αύξηση της ταχύτητας κατασκευής τους.
- Μείωση του κατασκευαστικού κόστους και αύξηση της αξιοπιστίας τους [9].

3.7 Το ΦΒ Σύστημα

3.7.1 Εισαγωγή

Τα ΦΒ στοιχεία συνδέονται προς δημιουργία ΦΒ πλαισίων, τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται προς δημιουργία συστοιχιών. Παραλληλισμός των συστοιχιών οδηγεί στη δημιουργία υποπεδίων, το σύνολο των οποίων αποτελεί το ΦΒ πεδίο. Το πεδίο αυτό είναι ένα τμήμα του ΦΒ συστήματος. Χαρακτηριστικά τμήματα του συστήματος είναι οι αναστροφείς, οι καλωδιώσεις και μια σειρά άλλων συσκευών, όπως παρουσιάζονται αναλυτικά στις παραγράφους που ακολουθούν.



[Πηγή: Patel, 1999]

Εικόνα 3.13 : Πολλά ΦΒ κελιά δημιουργούν ένα πλαίσιο, και πολλά πλαίσια μία συστοιχία.

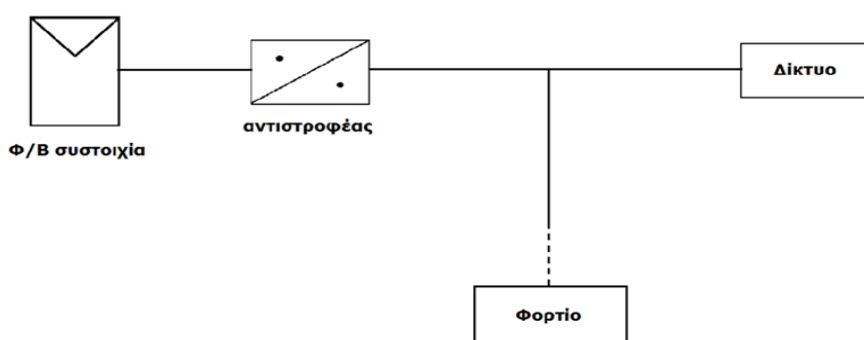
Εφόσον τα ΦΒ παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν ακτινοβολούνται, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαραίτητη και η ύπαρξη ενός μέσου αποθήκευσης για τη μετέπειτα χρήση της ενέργειας. Οι συνηθέστεροι μηχανισμοί αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ευρέως σήμερα είναι οι συσσωρευτές (μπαταρίες) και το ηλεκτρικό δίκτυο. Η χρήση συσσωρευτών υποδεικνύει αυτόνομα συστήματα, ενώ το δίκτυο διασυνδεδεμένα.

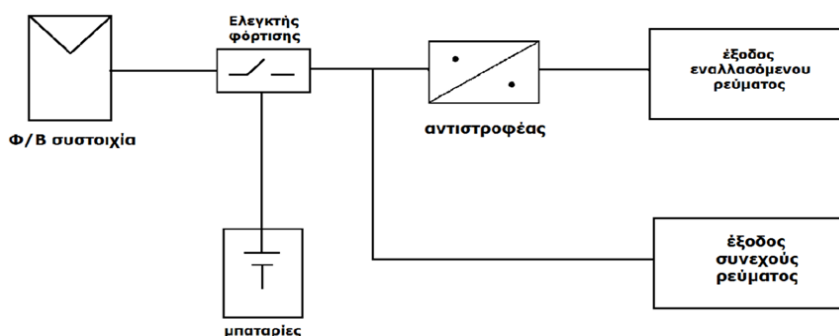
Μπορεί να γίνει διάκριση δυο βασικών τύπων ΦΒ συστημάτων:

1. Τα **διασυνδεδεμένα ΦΒ συστήματα**, είτε παρέχουν εξολοκλήρου την παραγόμενη ενέργεια στο δίκτυο, είτε 'αποθηκεύουν' την περίσσεια ενέργειας σε αυτό και την αντλούν όταν δεν υπάρχει αρκετή παραγωγή. Η αποθήκευση γίνεται είτε με πώληση της περίσσειας και στη συνέχεια αγορά της συμπληρωματικής ενέργειας, είτε με συμψηφισμό στην τελική τιμή της συμπληρωματικής. Ο τρόπος χρηματικών συναλλαγών εξαρτάται από το εκάστοτε νομοθετικό πλαίσιο.



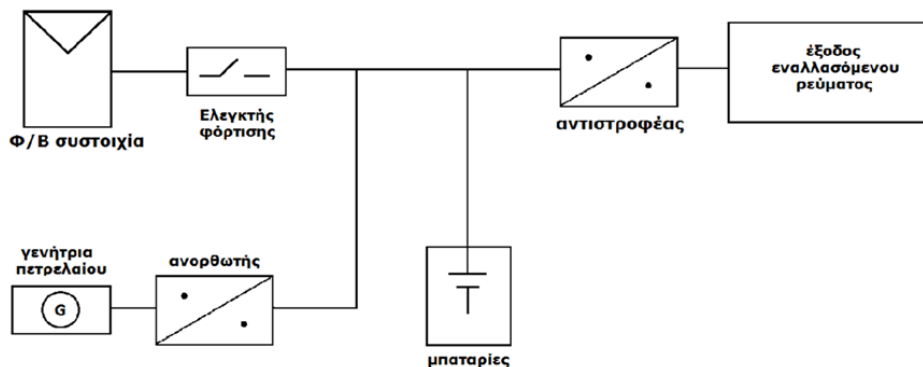
Εικόνα 3.14 : Τοπολογία διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος.

2. Τα **αυτόνομα ΦΒ συστήματα** λειτουργούν με την λογική της αποθήκευσης της περίσσειας ενέργειας σε συστοιχίες συσσωρευτών και χρήση αυτής όταν δεν ικανοποιείται η ζήτηση από την παραγωγή. Όταν αυτού του είδους τα συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας τότε χαρακτηρίζονται ως **υβριδικά ΦΒ συστήματα**. Τέτοιες πηγές είναι για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες και οι ηλεκτρογεννήτριες πετρελαίου.



Εικόνα 3.15 : Τοπολογία αυτόνομου ΦΒ συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



Εικόνα 3.16 : Τοπολογία υβριδικού ΦΒ συστήματος.

Σημειώνεται πως είναι εφικτός ο συνδυασμός αυτόνομου και διασυνδεδεμένου ΦΒ συστήματος. Στην περίπτωση αυτή, η παραγόμενη από τα ΦΒ ενέργεια, αφού καλυφθούν οι απαιτούμενες ανάγκες και φορτιστούν οι συσσωρευτές, διοχετεύεται στο δίκτυο.

3.7.2 Μέρη ΦΒ συστήματος

Ο όρος 'ΦΒ σύστημα' αναφέρεται σε μια σειρά από συσκευές και αντικείμενα που απαιτούνται για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, κατάλληλη για άμεση χρήση αλλά και για άλλες λειτουργίες, όπως είναι οι διάφορες συνδέσεις. Κάποια από τα βασικά μέρη που αποτελούν τα δυο είδη συστημάτων είναι κοινά, ενώ κάποια άλλα διαφέρουν .

Τα βασικά στοιχεία που συναντώνται τόσο στα **διασυνδεδεμένα** όσο και στα **αυτόνομα** συστήματα είναι :

- Τα ΦΒ πλαίσια.
- Οι βάσεις στήριξης.
- Οι καλωδιώσεις.
- Ο αναστροφείας (στα αυτόνομα απαιτείται μόνο αν υπάρχουν φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος AC).
- Κουτί παραλληλισμού/Κυτίο διασύνδεσης (όπου απαιτείται).
- Ασφάλειες.
- Συσκευές προστασίας από υπερτάσεις.
- Διακόπτες.
- Συνδέσεις.

Επιπλέον στοιχεία ενός **διασυνδεδεμένου** ΦΒ συστήματος είναι :

- Ο αμφίδρομος μετρητής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ενώ ενός αυτόνομου είναι :

- Ο ρυθμιστής φόρτισης
- Οι συσσωρευτές (μπαταρίες)
- Σημειώνεται πως ο αναστροφέας απαιτείται μόνο αν υπάρχουν φορτία εναλλασσομένου ρεύματος (AC) που τροφοδοτούνται από το σύστημα.

Κατά κύριο λόγο, η διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος βασίζεται στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, γεγονός που δε συμβαίνει στην περίπτωση ενός διασυνδεδεμένου.

1) Τα ΦΒ πλαίσια :

Τα πλαίσια αναλαμβάνουν να μετατρέψουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό, αλλά και τα διάφορα είδη πλαισίων παρουσιάζονται στις αντίστοιχες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου.

Οι 10 καλύτεροι κατασκευαστές ΦΒ πλαισίων για το 2015 είναι :

1. Trina Solar.
2. Canadian Solar.
3. JinkoSolar.
4. JA Solar.
5. Hanwha Q CELLS.
6. First Solar.
- 7. Yingli Green.**
8. SFCE.
9. ReneSola.
10. SunPower Corp [23].

2) Βάσεις στήριξης :

Τα ΦΒ πάνελ ρυθμίζονται σε τέτοια γωνία ώστε να αποδίδουν το μέγιστο δυνατό. Συνεπώς απαιτούνται κάποιες βάσεις οι οποίες τα συγκρατούν στην επιθυμητή κλίση. Οι βάσεις μπορεί να είναι είτε σταθερές σε μια συγκεκριμένη θέση, είτε να περιστρέφονται σύμφωνα με το ύψος του ηλίου για να εκμεταλλεύονται πλήρως την ακτινοβολία του. Οι τελευταίες αναφέρονται ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ηλίου, ή trackers. Υπάρχουν διάφορα είδη βάσεων, καθένα από τα οποία εξυπηρετεί την εκάστοτε εγκατάσταση. Διαφέρουν ανάλογα με το χώρο και το υλικό στο οποίο ενσωματώνονται (κεραμοσκεπή, βιομηχανική στέγη με τραπεζοειδές μεταλλικό πάνελ, επίπεδο έδαφος και άλλα), την κλίση του επιπέδου και μια σειρά από άλλες παραμέτρους που πρέπει να λάβει υπόψη ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

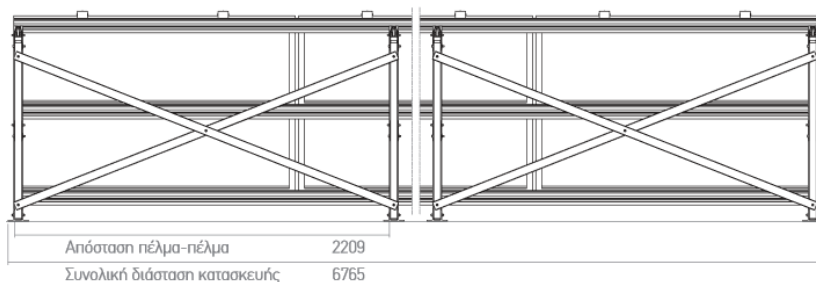
μελετητής. Οι διαστάσεις είναι κατά κύριο λόγο τυποποιημένες. Για παράδειγμα η βάση που φαίνεται στην **Εικόνα 3.17**, διατίθεται σε τέσσερις διαφορετικές βάσεις, οι οποίες χωράνε αντίστοιχα 4, 8, 6 και 12 πάνελ η καθεμία

- Σταθερές βάσεις : Η αρχή σχεδιασμού τους είναι η κάθετη πτώση των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια των πλαισίων κατά το μεσημέρι. Συνηθέστερα υλικά κατασκευής είναι το αλουμίνιο και ο ανοξείδωτος χάλυβας. Οι σταθερές βάσεις προορίζονται τόσο για στέγες κτιρίων (κεκλιμένες οροφές), όσο και για επίπεδες επιφάνειες.



[Πηγή : <http://www.aluminco.com>]

Εικόνα 3.17 : Αλουμινένιο εξάρτημα στήριξης ΦΒ πλαισίων σε κεκλιμένες οροφές μεταλλικού τραπεζοειδούς πάνελ της εταιρείας Aluminco.



[Πηγή : <http://www.aluminco.com>]

Εικόνα 3.18 : Πίσω όψη συστήματος στήριξης ΦΒ πλαισίων σε επίπεδες οροφές της εταιρείας Aluminco.

- Σύστημα ιχνηλάτησης της πορείας του ηλίου : Η τεχνική αυτή στοχεύει στη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της επίτευξης κάθετης πτώσης της ηλιακής ακτινοβολίας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται με τη σειρά τους σε συστήματα μονού άξονα (single axis) και σε συστήματα διπλού άξονα (dual axis). Ο άξονας των πρώτων αναφέρεται σε αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Τα διπλού άξονα, είναι συστήματα που προσφέρουν επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης των πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αύξηση της απόδοσης κατά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Τα συστήματα αυτά έχουν μικρές ιδιοκαταναλώσεις που σχετίζονται με την περιοδική κίνησή τους. Τέλος η ανίχνευση της πορείας του ηλίου γίνεται συνήθως με δύο τρόπου : 1) Με ηλιακούς αισθητήρες , οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ηλίου και 2) Μέσω λογισμικού από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και η πορεία του ηλίου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα ε τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής [21].



Εικόνα 3.19 : Σύστημα ιχνηλάτισης της πορείας του ηλίου.

3) Καλωδιώσεις :

Όσον αφορά τις καλωδιώσεις, γίνεται διαχωρισμός ως προς την πλευρά που βρίσκονται. Έτσι υπάρχουν οι καλωδιώσεις στην πλευρά συνεχούς ρεύματος και αυτές στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος.

Πλευρά Συνεχούς ρεύματος(DC) : Η καλωδίωση περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ των ΦΒ πλαισίων, τις συνδέσεις από τα άκρα κάθε εν σειρά κλάδου μέχρι το κουτί παραλληλισμού αν χρησιμοποιείται και εν συνεχεία στον αναστροφέα, αλλιώς από τα άκρα της ΦΒ συστοιχίας μέχρι τον αναστροφέα. Η υλοποίηση της καλωδίωσης πρέπει να εξασφαλίζει προστασία ισοδύναμη με μόνωση Class II. Τα καλώδια που είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία. Μια άλλη παράμετρος που πρέπει να πληρούν είναι ο περιορισμός της απώλειας ισχύος τους να μην υπερβαίνει το 1% της ονομαστικής ισχύος του ΦΒ συστήματος. Το κριτήριο αυτό συνδέεται με την επιλογή της διατομής. Η διατομή των καλωδίων που χρησιμοποιούνται για την εν σειρά σύνδεση των ΦΒ πλαισίων είναι συνήθως 4 mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και 1,5 mm² για πλαίσια άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματός τους. Οι διατομές των καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των πλαισίων και των αναστροφέων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

κυμαίνονται από 4 έως 16 mm². Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές [21].

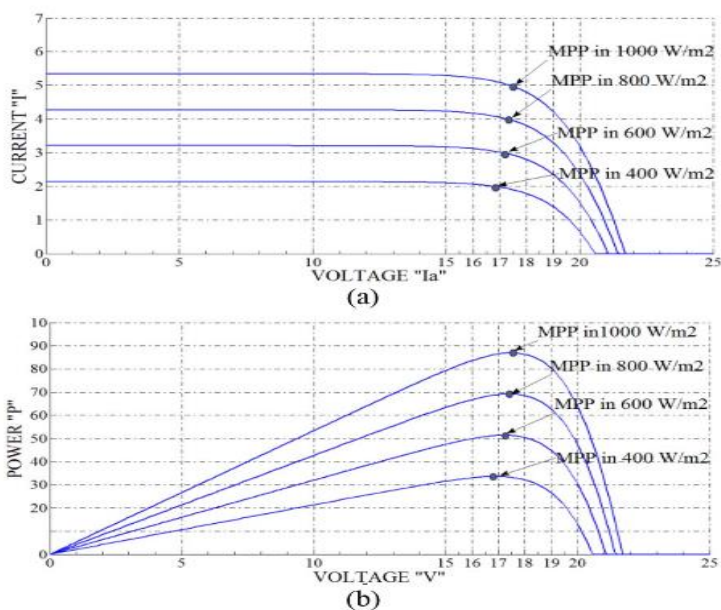
Πλευρά Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC) : Η πλευρά αναφέρεται στη σύνδεση από τον αναστροφέα ως τη σύνδεση με το δίκτυο(230 V, 50 Hz). Στην πλευρά αυτή πρέπει να ακολουθούνται οι συνθήκες πρακτικές που απορρέουν από το πρότυπο HD384.

4) Αναστροφέας DC/AC :

Οι αναστροφείς (DC/AC inverters) αναλαμβάνουν τη μετατροπή της ενέργειας από συνεχή σε εναλλασσόμενη. Η ενέργεια που παράγεται από τα ΦΒ πλαίσια είναι συνεχής, ενώ τα περισσότερα φορτία απαιτούν εναλλασσόμενη. Συνεπώς οι αναστροφείς αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος που τροφοδοτεί τέτοια φορτία αλλά και ενός διασυνδεδεμένου στο δίκτυο σύστημα. Η διαφορά των αναστροφέων που χρησιμοποιούνται σε ΦΒ εγκαταστάσεις από τους αναστροφείς άλλων ηλεκτρονικών εφαρμογών έγκειται στο γεγονός ότι μπορούν να ελέγχουν την έξοδο των ΦΒ υποπεδίων, προκειμένου να δημιουργούν συνθήκες μέγιστης απόδοσης , και σε ορισμένες περιπτώσεις να ελέγχουν ακόμη και τη φόρτιση των συσσωρευτών [18]. Οι αναστροφείς μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί, είτε τριφασικοί.

Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποδιδόμενη από το σύστημα ηλεκτρική ισχύς μέσω αναπροσαρμογής της αντίστασης φορτίου, εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι **MPPT** (Maximum Power Point Tracking) από τους ρυθμιστές φόρτισης. Αν ωστόσο στο σύστημα δεν υπάρχουν συσσωρευτές, άρα και ρυθμιστές φόρτισης, οι αλγόριθμοι αυτοί εφαρμόζονται από τους αναστροφείς. Συνοπτικά, ο αλγόριθμος βασίζει τη λειτουργία του στον εντοπισμό του μέγιστου σημείου λειτουργίας του ΦΒ συστήματος (ή συστοιχιών, ανάλογα που εφαρμόζεται) για δεδομένη ακτινοβολία και συνθήκες περιβάλλοντος. Δηλαδή στο σημείο αυτό η παρεχόμενη ισχύς προς την είσοδο του αναστροφέα μεγιστοποιείται. Η παρατήρηση την οποία εκμεταλλεύεται ο αλγόριθμος είναι η εξής : για τάσεις λειτουργίας μικρότερες της τάσεως μέγιστης ισχύος, καθώς αυξάνει το ρεύμα, μειώνεται η ισχύς και αντιστρόφως. Αντίθετα για τάσεις λειτουργίας μεγαλύτερες της τάσεως μέγιστης ισχύος , καθώς αυξάνεται το ρεύμα, αυξάνεται και η ισχύς και αντιστρόφως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



[Πηγή : IEEE,2015]

Εικόνα 3.20 : Χαρακτηριστικά εξόδου ΦΒ πλαισίου το οποίο εκτίθεται σε κανονικές συνθήκες : (α) Χαρακτηριστικές ρεύματος-τάσης I-V και (β) χαρακτηριστικές ισχύος-τάσης P-V.

Ανάλογα με το μέρος του συστήματος του οποίου ελέγχουν την παραγόμενη ισχύ, οι αναστροφείς μπορούν να χωριστούν στις εξής τρεις κατηγορίες :

- 1) *Κεντρικός αναστροφέας (central inverter)* : Ολόκληρη η ισχύς της ΦΒ εγκατάστασης οδηγείται σε έναν (κεντρικό) αναστροφέα. Αυτό το είδος αναστροφέα προτιμάται για μεγάλες εγκαταστάσεις, δηλαδή άνω το 100 kW.



Εικόνα 3.21 : Κεντρικός αναστροφέας της εταιρείας SMA.

- 2) *Αναστροφέας συστοιχιών (string inverter)* : Στον αναστροφέα αυτόν οδηγείται η ισχύς από μερικές παράλληλες ΦΒ συστοιχίες (ή από μια συστοιχία). Συνεπώς ίσως χρειαστεί η χρήση παραπάνω από έναν αναστροφέα αυτού του είδους σε μια ΦΒ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

εγκατάσταση. Είναι το είδος του αναστροφέα που προτιμάται για μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 3.22 : Αναστροφέας συστοιχιών.

3) *Μικρο-αναστροφέας πλαισίου (microinverter)* : Ο κάθε αναστροφέας αυτού του είδους ελέγχει ένα μόνο ΦΒ πλαίσιο. Προς το παρόν, συνίστανται για αξιόπιστες ΦΒ εγκαταστάσεις μικρής ισχύος λόγω της μειωμένης απόδοσης σε σχέση με τους άλλους αναστροφείς αλλά και το αυξημένο κόστος τους.



Εικόνα 3.23 : Μικροαναστροφείς.

Σε ένα αυτόνομο ΦΒ σύστημα, γενικά, χρησιμοποιούνται αναστροφείς που δουλεύουν σε συνεχή τάση στα 12, 24, 48, 96, 120, ή 240 V ανάλογα με το επίπεδο της ισχύος. Κάποια από τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένας τέτοιος αναστροφέας είναι:

- Ημιτονοειδή (ή τετραγωνική) τάση εξόδου, ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου.
- Τάση και συχνότητα εντός των επιθυμητών ορίων.
- Ικανότητα να διαχειριστεί μεταβολές της τάσης εισόδου.
- Ρύθμιση της τάσης εξόδου.
- Υψηλή απόδοση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- Ελαχιστοποίηση των δημιουργούμενων αρμονικών από τον αναστροφέα προκειμένου να αποφευχθούν βλάβες των ηλεκτρονικών συσκευών, απώλειες και υπερθέρμανση του εξοπλισμού.
- Αντοχή σε βραχυπρόθεσμες υπερφορτώσεις, για την αντιμετώπιση των υψηλών ρευμάτων εκκίνησης από αντλίες, ψυγεία και άλλα.
- Επαρκή προστασία από βραχυκυκλώματα, υπερτάσεις, βύθιση τάσης και άλλα.
- Δυνατότητα ταχείας κινητοποίησης.
- Μη ύπαρξη απωλειών υπό κενό.
- Χαμηλά ποσοστά θορύβου [15].

Σε ένα διασυνδεδεμένο ΦΒ σύστημα, οι αναστροφείς που χρησιμοποιούνται πρέπει να παράγουν καλής ποιότητας ημιτονική κυματομορφή τάσης. Απαιτείται τα μεγέθη εξόδου να παρακολουθούν αυτά του δικτύου στο οποίο συνδέεται (τάση και συχνότητα). Για τα Ελληνικά πρότυπα δηλαδή η τάση εξόδου πρέπει να περιορίζεται στα 230 V_{rms} (με απόκλιση $\pm 5\%$), ενώ η συχνότητα στα 50Hz με απόκλιση $\pm 1\%$ (αφού πρόκειται για ημιτονική μορφή). Κάποιες από τις απαιτήσεις που καλούνται να ικανοποιήσουν οι αναστροφείς αυτοί είναι:

- Εντοπισμός των λειτουργικών ασταθειών του δικτύου και άμεση αποκοπή του ΦΒ πεδίου από το δίκτυο (της ΔΕΗ).
- Προστασία από βραχυκυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος, υπερτάσεις και κάθε μορφής διαταραχές του δικτύου.
- Απομόνωση μεταξύ αυτών και του δικτύου, προκειμένου να αποκλειστεί η έγχυση DC ρεύματος προς το δίκτυο.
- Έλεγχος της αποδιδόμενης ισχύος από το ΦΒ πεδίο (MPPT) [18].

5) Κουτί παραλληλισμού :

Τα κουτία διασύνδεσης προστατεύονται έναντι των καιρικών συνθηκών (υπεριώδης ακτινοβολία, υγρασία, θερμοκρασία) μηχανικών καταπονήσεων και έναντι τρωκτικών. Παρέχουν μόνωση τουλάχιστον αντίστοιχη με αυτήν της εγκατάστασης, η οποία αντιστοιχεί σε κατηγορία μόνωσης IP 65. Οι συνδέσεις των καλωδίων στους ακροδέκτες των κουτιών διασύνδεσης, γίνονται με κατάλληλους συνδέσμους ταχείας σύνδεσης. Σε κάθε περίπτωση η σύνδεση πρέπει να διασφαλίζει σταθερή και μόνιμη επαφή μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων ώστε να εξαλείφεται ο κίνδυνος δημιουργίας σπινθηρισμών ή αποσύνδεσή τους. Σε περίπτωση που τα κουτία είναι ενιαία, υπάρχουν διαφορετικές περιοχές για τα θετικά και τα αρνητικά καλώδια με ενδιάμεσο μονωτικό διαχωριστικό [19].

6) Αμφίδρομος μετρητής :

Σα βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου συστήματος συμψηφισμού εκτός από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τον αντιστροφέα συμπεριλαμβάνεται και ο αμφίδρομος μετρητής. Ο αμφίδρομος μετρητής μετρά την ενέργεια που εισέρχεται στην εγκατάσταση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

από το δίκτυο ηλεκτρισμού και την ενέργεια που διοχετεύεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Έτσι, υπολογίζει το καθαρό υπόλοιπο που προκύπτει από την αφαίρεση της ηλεκτρικής ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο από την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται στην εγκατάσταση από το δίκτυο ηλεκτρισμού. Στην περίπτωση που το αποτέλεσμα είναι θετικό, ο ιδιοκτήτης καταβάλλει στον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας ποσό που αντιστοιχεί στην καθαρή αυτή μέτρηση [4].

7)Ρυθμιστής φόρτισης :

Οι ρυθμιστές τάσεως ελέγχουν τη διαδικασία φόρτισης των συσσωρευτών και χρησιμοποιούνται σε εκείνες τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που προβλέπουν για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ρυθμιστές στοχεύουν στην προστασία των συσσωρευτών από α) τις υπερφορτίσεις και β) τις βαθείες εκφορτίσεις, οι οποίες αποτελούν τις δύο πιο σημαντικές λειτουργικές καταπονήσεις των συσσωρευτών και μειώνουν το χρόνο ζωής τους [18].

8)Συσσωρευτές :

Ο συσσωρευτής είναι μία διάταξη η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να ηλεκτροδοτηθεί ένα κύκλωμα. Τα βασικά χαρακτηριστικά-μεγέθη των συσσωρευτών είναι το δυναμικό μεταξύ των πόλων του συσσωρευτή, το ρεύμα (ένταση ρεύματος), η χωρητικότητά του δηλαδή το φορτίο που μπορεί να αποδοθεί από ένα συσσωρευτή, η πυκνότητα αποθήκευσης ηλεκτρικού φορτίου, η πυκνότητα ενέργειας, η πυκνότητα ισχύος, ο ρυθμός εκφόρτισης του συσσωρευτή, ο κύκλος ζωής του, η απόδοση ενέργειας, η συμπεριφορά του κατά την εκφόρτιση, η ικανότητα αποθήκευσης των, η αξιοπιστία τους και βασικές προδιαγραφές τους [18].

9)Σύνδεσμοι :

Οι σύνδεσμοι οφείλουν να παρέχουν στεγανότητα, ευκολία σύνδεσης μεταξύ των γειτονικών πλασίων και καλωδίων και ασφάλεια για τον εγκαταστάτη ή το συντηρητή, η οποία εξασφαλίζεται με την απουσία ακάλυπτων τμημάτων μετάλλου, ώστε να αποφεύγεται η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας. Για παράδειγμα, τα πλαίσια φέρουν συνήθως μικρό τμήμα καλωδίωσης, που καταλήγει σε κατάλληλο ηλεκτρικό σύνδεσμο, όπως ακροδέκτης τύπου Tyco, MC, MC3, MC.

Βιβλιογραφία

- [1] Bagnall M. Darren, Boreland Matt, **Photovoltaic Technologies**, Elsevier, Energy Policy 36, pp. 4390-4396, 2008.
- [2] Bertolli Michael, **Solar Cell Materials**, Departement of Physics University of Tennessee 2008.
- [3] Capehart L. Barney, **Encyclopedia of Energy Engineering and Technology**, 1st Volume, CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2007.
- [4] Cyprus Energy Agency, **Φωτοβολταϊκά συστήματα και σύστημα συμψηφισμού μετρήσεων (Net metering) στην Κύπρο**.
- [5] Dincer I., **Environmental impacts of energy**, Energy Policy 27, pp. 845–854, 1999.
- [6] Dincer I., Rosen A. M., **Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development**, Renewable Sustainable Energy Rev., 9, pp. 169–189, 2005.
- [7] Green M., **Third-Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion**, Springer, Berlin, 2006.
- [8] Kaplani E. **Ageing effects in PV cells and modules**, Patra 2012.
- [9] Luque Antonio; Hegedus Steven ,**Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**, John Wiley & Sons Ltd, England 2003.
- [10] Markvart Tom, Louis Castañer, **PRACTICAL HANDBOOK OF PHOTOVOLTAICS : Fundamentals and Applications**, Elsevier Science Ltd, UK 2003.
- [11] Markvart Tom, Luis Castañer, **Solar Cells : Materials, Manufacture and Operation**, Oxford U.K 2005.
- [12] Messenger A. Roger, Ventre Jerry, **Photovoltaic Systems Engineering**, 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis e-Library, 2005.
- [13] Nelson J., **The Physics of Solar Cells**, Imperial College Press : London, pp. 221-222, 2003.
- [14] Patel R. Mukund, **Wind and Solar Power Systems**, CRC Press LLC, 1999.
- [15] Rashid H. Muhammad, **Alternative Energy in Power Electronics**, Elsevier Inc., Oxford 2015.
- [16] Workbook, **Statistical Review Full Report of World Energy**, Available at <http://www.bp.com/centres/energy>, 2005.
- [17] Xiaodong Wng & Zhiming M. Wang, **High Efficiency Solar Cells : Physics, Materials, and Device**, Springer International Publishing Switzerland, volume 190, 2014.
- [18] Δέρβος Θ. Κωνσταντίνος, **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ : από τη Θεωρία στην Πράξη**, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π, 2013.
- [19] Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών, **Προμήθεια, εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία 3 Φ/Β διασυνδεδεμένων συστημάτων σε κτίρια και εγκαταστάσεις του δήμου Αλεξανδρούπολης**, Αριθμός μελέτης 84/2012, Οκτώβριος 2012.

Μορφοποιήθηκε: Χρώμα
γραμματοσειράς: Κείμενο 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- [20] IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL_6,NO.3, **Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method**, JULY 2015.
- [21] ΤΕΕ/ΤΚΜ-Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, **Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων: Τεχνικό Εγχειρίδιο για τη Μελέτη και Υλοποίηση Φ/Β Συστημάτων**, Θεσσαλονίκη 2011.

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

- [22] www.salesenergy.gr
- [23] www.pv-tech.org
- [24] www.aluminco.com

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Προστασία ΦΒ
Εγκατάστασης

4.1 Εισαγωγή

Τα μέσα ζεύξεως και προστασίας επιλέγονται έτσι ώστε να επιτυγχάνουν την έγκαιρη απόζευξη της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας από το δίκτυο αλλά και να έχουν την ικανότητα διακοπής εντάσεων φορτίου και βραχυκυκλωμάτων. Καθορισμός μικρών τιμών της χρονικής καθυστέρησης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα ανεπιθύμητων αποζεύξεων , ενώ στην περίπτωση των μεγάλων χρονικών καθυστερήσεων προκύπτουν βλάβες τόσο στην εγκατάσταση όσο και στα τροφοδοτούμενα φορτία και ακόμη και στο ίδιο το δίκτυο. Καθώς το σύστημα που μελετάται στην παρούσα εργασία είναι διασυνδεδεμένο στο δίκτυο, πρέπει να πληρούνται οι περιορισμοί που ορίζει ο διαχειριστής του δικτύου. Οι περιορισμοί αυτοί συνοψίζονται στον **Πίνακα 4.1**.

Παράμετρος	Απαίτηση
Τάση	Η τιμή της εναλλασσόμενης τάσης στα άκρα του αναστροφέα πρέπει να κυμαίνεται από -20% της ονομαστικής τιμής του δικτύου(184V) έως +15%της τάσης αυτής (264,5).
Συχνότητα	Η συχνότητα των ηλεκτρικών μεγεθών εξόδου του αναστροφέα πρέπει να περιορίζεται στα $\pm 0,5$ Hz της ονομαστικής τιμής της συχνότητας του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0,5 δευτερολέπτων.
Αυτόματη Επανάζευξη	Η επανάζευξη πρέπει να πραγματοποιείται μετά από τουλάχιστον 3 λεπτά.
Αρμονικές	Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
Έγχυση Συνεχούς Ρεύματος	Η μέγιστη τιμή εγχόμενου συνεχούς(dc) ρεύματος πρέπει να είναι το πολύ ίση με το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος εγκατάστασης.

[Πηγή : Τρυφωνίδης, 2015]

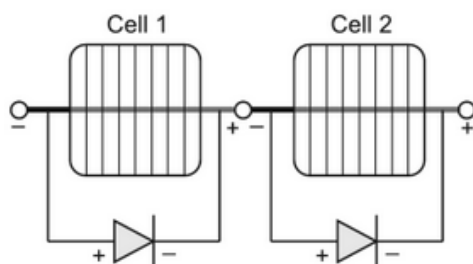
Πίνακας 4.1 : Περιορισμοί που ορίζει ο διαχειριστής του δικτύου και απαιτείται να ικανοποιούνται από τους παραγωγούς.

4.2 Προστασία από μερική σκίαση του ΦΒ πλαισίου

4.2.1 Δίοδος παράκαμψης

Στα ΦΒ πλαίσια, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, τα όμοια ΦΒ στοιχεία συνδέονται σε σειρά. Όταν το φως προσπίπτει σε ένα πλαίσιο, ένα κοινό ρεύμα για όλα τα κελιά, παράγεται από αυτά και διαρρέει το πλαίσιο. Σε περίπτωση που κάποιο από τα κελιά σκιαστεί (για παράδειγμα λόγω σκόνης), δηλαδή δεν δέχεται αρκετό φως για την παραγωγή του αναμενόμενου ρεύματος, παράγεται ρεύμα μικρότερο (ή και καθόλου) από αυτό που παράγουν τα υπόλοιπα κελιά του πλαισίου. Αφού τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά, το σκιασμένο ανθίσταται στο ρεύμα των άλλων και ουσιαστικά μετατρέπεται σε φορτίο το οποίο καταναλώνει την παραγόμενη από τα άλλα στοιχεία ενέργεια. Λόγω των παραπάνω, στο σκιασμένο κελί μπορεί να αναπτυχθούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες, τα λεγόμενα **hot spots** (θερμές κηλίδες) του ΦΒ πλαισίου. Τα σημεία αυτά είναι ικανά να προκαλέσουν σπάσιμο του γυαλιού του πλαισίου ή σε δυσμενέστερη περίπτωση, έναρξη πυρκαγιάς.

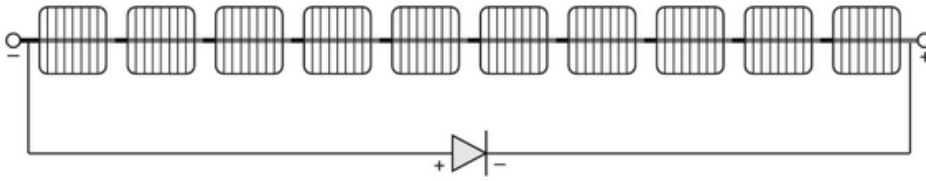
Η δίοδος παράκαμψης (bypass diode) χρησιμοποιείται για να αποφευχθούν τα προαναφερθέντα αποτελέσματα των θερμών σημείων ή οποιασδήποτε άλλης υπερθέρμανσης από τη εν σειρά σύνδεση των στοιχείων. Η δίοδος αυτή συνδέεται παράλληλα και με αντίθετη πολικότητα με το ΦΒ κελί, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.1**. Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας (χωρίς σκίαση) η δίοδος είναι πολωμένη ανάστροφα, δημιουργώντας έτσι ανοιχτούκλωμα. Στην αντίθετη περίπτωση, το ρεύμα θα διατρέξει την ορθά πολωμένη δίοδο που τώρα λειτουργεί ως βραχυκύκλωμα και όχι το σκιασμένο κελί(παράκαμψη). Με αυτόν τον τρόπο το κελί προστατεύεται από υπερθερμάνσεις που προκαλούν μόνιμες βλάβες στο πλαίσιο[5].



[Πηγή : Chetan Singh Solanki, 2013]

Εικόνα 4.1 : Δίοδος αντεπιστροφής συνδεόμενη παράλληλα και με αντίστροφη πολικότητα με το ΦΒ κελί.

Ιδανικά, αντιστοιχεί μια δίοδος για κάθε κελί. Ωστόσο στην πράξη, υπάρχουν λίγες διόδους για κάθε ΦΒ πλαίσιο. Συνιστάται να χρησιμοποιείται τουλάχιστον μια δίοδος παράκαμψης για τον εν σειρά συνδυασμό 10 – 15 κελιών, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4.2**.

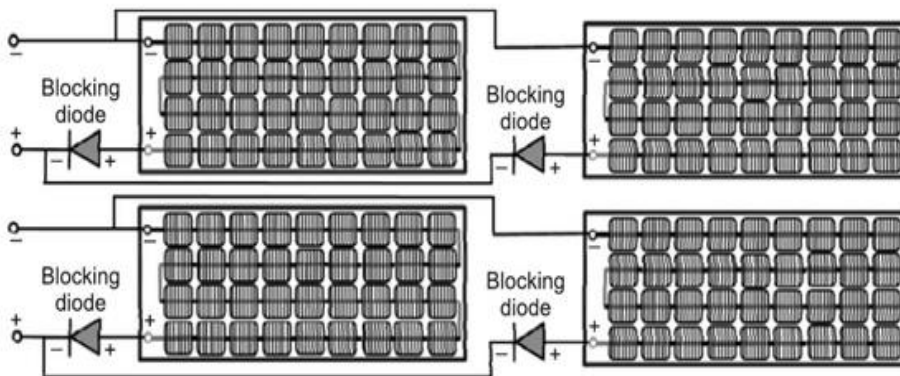


[Πηγή : Chetan Singh Solanki, 2013]

Εικόνα 4.2 : 10 ΦΒ κελιά συνδεδεμένα σε σειρά με μια δίοδο παράκαμψης.

4.3 Προστασία από ανάστροφο ρεύμα

Στα αυτόνομα ΦΒ συστήματα στα οποία χρησιμοποιούνται συσσωρευτές ,τα φορτία τροφοδοτούνται την ημέρα από την παραγόμενη από τα πλαίσια ηλεκτρική ενέργεια , ενώ τη νύχτα τροφοδοτούνται από τους συσσωρευτές στους οποίους έχει αποθηκευτεί η περίσσεια της ενέργειας. Όταν δεν υπάρχει ακτινοβολία για να ‘ενεργοποιηθούν’ τα πλαίσια, οι μπαταρίες τροφοδοτούν τα αδρανή αυτά πλαίσια με ενέργεια. Αυτό ισοδυναμεί με ανεπιθύμητη απώλεια ενέργειας. Προκειμένου να αποφευχθεί αυτού του είδους η απώλεια ενέργειας, χρησιμοποιούνται οι **δίοδοι αποκλεισμού (blocking diode/ string diode)**. Οι δίοδοι που χρησιμοποιούνται έχουν τάση αποκοπής τη διπλάσια τάση ανοιχτοκύκλωσης της στοιχειοσειράς (σύμφωνα με το γερμανικό πρότυπο VDE 0100 μέρος 712) [3]. Η συνδεσμολογία συστήματος με τη χρήση διόδων αποκλεισμού φαίνεται στην **Εικόνα 4.3**.



[Πηγή : Chetan Singh Solanki, 2013]

Εικόνα 4.3 : Δίοδοι αποκλεισμού σε αυτόνομο σύστημα για την αποτροπή της ανάστροφης ροής ρεύματος.

Ένας εναλλακτικός τρόπος για την προστασία από ανάστροφα ρεύματα αποτελούν οι **ασφάλειες (PV fuses)**. Οι ασφάλειες τοποθετούνται όπως και οι δίοδοι αποκλεισμού, δηλαδή σε σειρά με τη στοιχειοσειρά που καλούνται να προστατέψουν. Οι ασφάλειες

παρουσιάζουν μικρότερες απώλειες από τις διόδους αποκλεισμού και άλλες συσκευές προστασίας και μεγαλύτερο βαθμό προστασίας από τις πρώτες [11].

4.3.1 Ασφάλειες τήξης DC

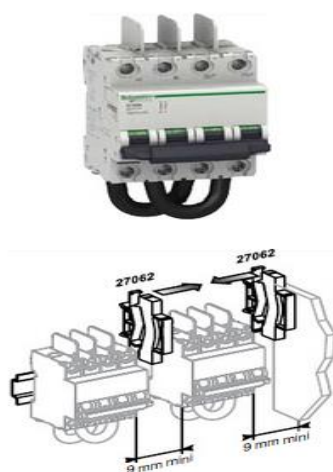
Στις ασφάλειες τήξης η διακοπή του κυκλώματος προκαλείται από την τήξη ενός χάλκινου ή αργυρού σύρματος ή ταινίας, τα οποία βρίσκονται μέσα σε ζώνη χαλαζία για την απαγωγή της θερμότητας. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των ασφαλειών τήξης, με βάση των οποίων επιλέγονται είναι :

1. Η ονομαστική τάση λειτουργίας.
2. Η ονομαστική ισχύς διακοπής ή ρεύμα διακοπής.
3. Οι χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος

4.3.2 Μικροαυτόματοι

Οι μικροαυτόματοι στη dc πλευρά του συστήματος προστατεύουν κάθε στοιχειοσειρά από ρεύματα ανάστροφης φοράς. Επίσης παρέχει προστασία από έγχυση εναλλασσόμενου ρεύματος στο κύκλωμα συνεχούς, δυσλειτουργία που οφείλεται σε πιθανή βλάβη του αναστροφέα.

Ο C60PV-DC φαίνεται στην **Εικόνα 4.4** είναι ένας μικροαυτόματος διακόπτης ειδικά σχεδιασμένος για εγκαταστάσεις ΦΒ συστημάτων πολλαπλών συστοιχειοσειρών. Εγκαθίσταται στο τέρμα κάθε στοιχειοσειράς σε συνδυασμό με διακόπτη απομόνωσης στο κουτί διακλάδωσης. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την επιλογή των μικροαυτόματων είναι : η τάση λειτουργίας, η τάση απομόνωσης, η ικανότητα διακοπής σε λειτουργία, η αφόπλιση μαγνητικού, η ονομαστική τάση κρουστικής αντοχής, ο αριθμός των πόλων και οι διαστάσεις.

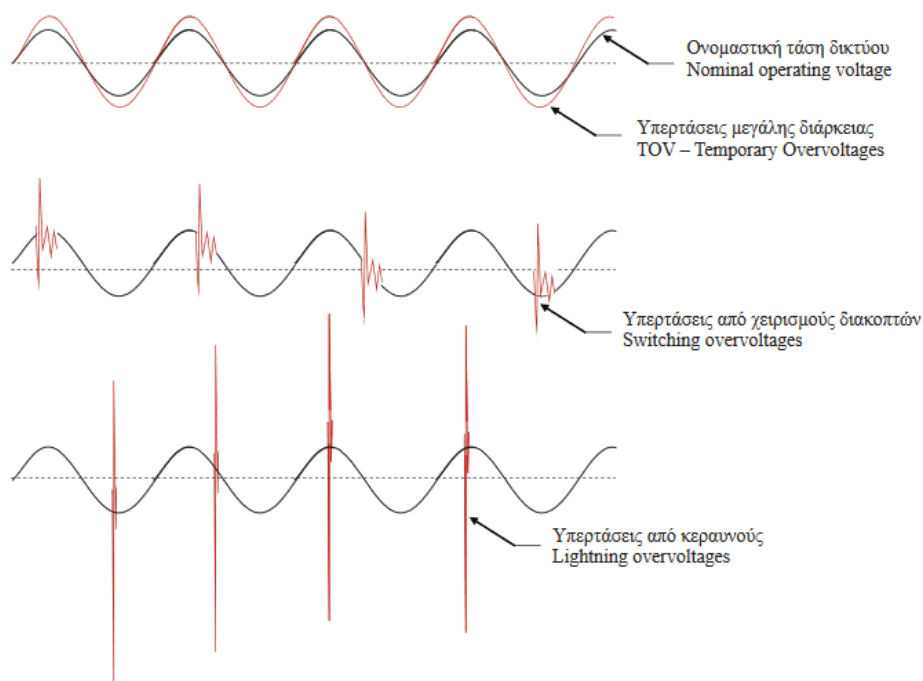


[Πηγή : www.scribd.com]

Εικόνα 5.4 : Μικροαυτόματος διακόπτης(C60PV-DC) για τη dc πλευρά του ΦΒ συστήματος.

4.4 Προστασία από υπερτάσεις

Οι υπερτάσεις ανάλογα με την τιμή που τις προκαλεί μπορούν να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, γεγονός που απαιτεί διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης. Η **Εικόνα 4.5** παρουσιάζει τις πλέον συνηθισμένες μορφές υπερτάσεων. Οι υπερτάσεις που οφείλονται σε χειρισμούς και σε κεραυνούς ονομάζονται κρουστικές υπερτάσεις καθώς έχουν μικρή διάρκεια (μs) αλλά μεγάλη απόλυτη τιμή (kV) και αντιμετωπίζονται με τους απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων. Οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας (ms...s) οφείλονται στην ποιότητα παροχής του δικτύου και αντιμετωπίζονται με σταθεροποιητές τάσεως, UPS και άλλα.



[Πηγή: elemko]

Εικόνα 4.5 : Μορφές υπερτάσεων.

Μεταβατικές υπερτάσεις από χειρισμό : Οι υπερτάσεις χειρισμού, οι οποίες είναι λιγότερο ισχυρές και καταστροφικές από τις μεταβατικές υπερτάσεις που προκαλούνται από κεραυνικά πλήγματα, οφείλονται στο χειρισμό διακοπτικών μέσων στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και συμβαίνουν πολύ πιο συχνά, προκαλώντας πρόωρη γήρανση του εξοπλισμού και καταπόνηση των μονώσεων.

Άμεσο πλήγμα από κεραυνό : όταν ένας κεραυνός πλήξει ένα κτίριο εξοπλισμένο με εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, το ρεύμα του κεραυνού οδεύει προς το

έδαφος μέσω των αγωγών καθόδου. Ωστόσο, η μεταβατική υπέρταση μπορεί να επιστρέψει στο κτίριο μέσω του αγωγού γείωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Μεταβατικές υπερτάσεις από έμμεσα πλήγματα κεραυνών : Η εμφάνιση μεταβατικών υπερτάσεων μπορεί επίσης να είναι το αποτέλεσμα έμμεσου χτυπήματος κεραυνού κοντά στο κτίριο ή τις εξωτερικές γραμμές που συνδέονται με το κτίριο. Σε μια τέτοια περίπτωση, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ρεύμα εκκένωσης του κεραυνού προκαλεί ωμικές και επαγωγικές ζεύξεις.

4.4.1 Αντικεραυνική προστασία

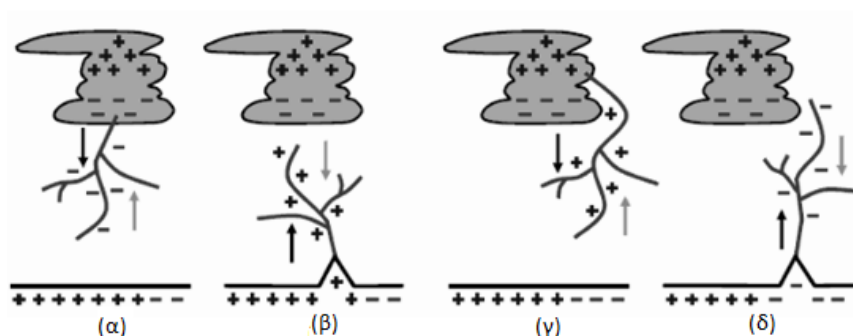
4.4.1.1 Κεραυνός

Ο κεραυνός είναι μια ηλεκτρική εκκένωση ατμοσφαιρικής προέλευσης απλά ή πολλαπλή και μπορεί να συμβεί εντός του νέφους, μεταξύ δυο νεφών, μεταξύ ενός νέφους και του αέρα και μεταξύ νέφους και γης [Τσοβίλης , 2010]. Η τελευταία κατηγορία κεραυνών είναι αυτή που επιβάλλει την αντικεραυνική προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται κατά την εκδήλωση ενός κεραυνού είναι της τάξης των εκατομμυρίων Volt , ενώ η ένταση του ρεύματος της τάξης των δεκάδων χιλιάδων Amperes. Η διάρκεια του είναι μικρότερη του ενός δευτερολέπτου αλλά η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία αγγίζει τους 10.000 έως 30.000°C . Ως τελευταίο χαρακτηριστικό του κεραυνού αναφέρεται το μήκος αυτού, το οποίο μπορεί να φθάσει έως αρκετά χιλιόμετρα και έχει τεθλασμένη ή κυματοειδή μορφή ενώ το πλάτος του σπινθήρα είναι μικρό και φτάνει το πολύ μερικές δεκάδες εκατοστά.

Υπάρχουν τέσσερις κατηγορίες κεραυνών, οι οποίες είναι :

1. Κατερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης. Οι κεραυνοί αυτοί, που είναι και οι συνηθέστεροι, ξεκινούν από αρνητικό σύννεφο.
2. Κατερχόμενος θετικός οχετός προεκκένωσης που από ένα θετικό σύννεφο. Αυτοί οι κεραυνοί παρατηρούνται κατά κύριο λόγο στα ψυχρά κλίματα και είναι αυτοί στους οποίους έχουν παρατηρηθεί τα ισχυρότερα ρεύματα.
3. Ανερχόμενος αρνητικός οχετός προεκκένωσης. Οι κεραυνοί αυτοί εκκινούν από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα θετικό νέφος και δεν είναι συνήθεις.
4. Ανερχόμενος θετικός οχετός προεκκένωσης . Οι κεραυνοί αυτοί εκκινούν από μια προεξοχή του εδάφους κάτω από ένα αρνητικό νέφος και είναι οι δεύτεροι συνηθέστερα εμφανιζόμενοι.

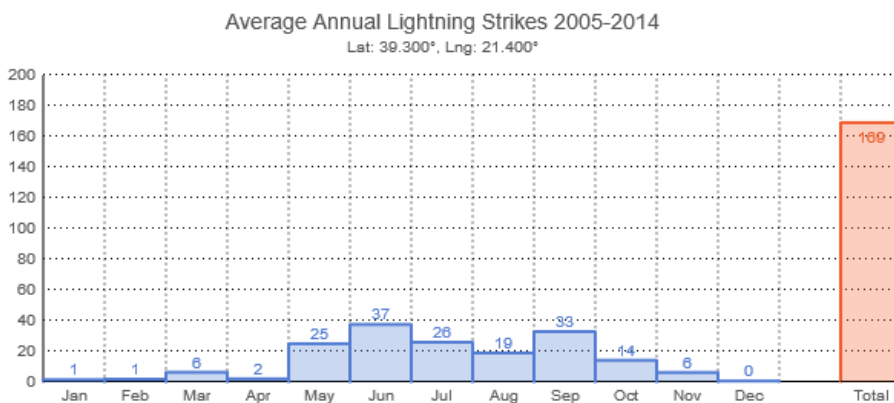
Οι παραπάνω κατηγορίες απεικονίζονται στην **Εικόνα 4.6**.



[Πυργιώτη, 2009]

Εικόνα 4.6 : Είδη κεραυνών. (α) Κατερχόμενος αρνητικός οχετός. (β) Ανερχόμενος θετικός οχετός. (γ) Κατερχόμενος θετικός οχετός. (δ) Ανερχόμενος αρνητικός κεραυνός.

Όσον αφορά την περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή την περιοχή εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος που μελετάται στην παρούσα εργασία, στην **Εικόνα 4.7** παρουσιάζεται η συχνότητα πτώσης κεραυνών σε αυτή.



[Πηγή : meteo]

Εικόνα 4.7 : Μέση ετήσια πτώση κεραυνών κατά το χρονικό διάστημα 2005-2014.

4.4.1.2 Αντικεραυνική προστασία

Η τοποθέτηση των ΦΒ σε οροφές δεν αυξάνει επιπλέον τον ήδη υψηλό κίνδυνο κεραυνοπληξίας λόγω του ύψους των οροφών και της έκτασης που αυτά καλύπτουν. Ωστόσο η εφαρμογή προστασίας από υπερτάσεις κρίνεται απαραίτητη σύμφωνα με το ΦΕΚ470 (5 Μαρτίου 2004) Άρθρα 3 έως 6 , όπου τα φαινόμενα εκδήλωσης υπερτάσεων θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα. Η

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

εγκατάσταση του εξωτερικού Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) των ΦΒ συλλεκτών και του οικισμού σχεδιάζεται σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62305-3, η απαιτούμενη στάθμη προστασίας υπολογίζεται σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-2 και τα εξαρτήματα της εγκατάστασης του ΣΑΠ επιβάλλεται να έχουν δοκιμαστεί επιτυχώς σύμφωνα με τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 50164 [6].

- Κτίρια με ήδη υπάρχον σύστημα αντικεραυνικής προστασίας

Στην περίπτωση αυτή τα ΦΒ τοποθετούνται στην εντός της ζώνης προστασίας του συστήματος της εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται και η δική του προστασία. Σημαντικό παράγοντα αποτελεί και η απόσταση ασφαλείας ανάμεσα στα ΦΒ πλαίσια και στα μεταλλικά μέρη, όπως είναι αυτά του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Σε περίπτωση που αυτό κριθεί απαραίτητο από το μελετητή, μπορούν να τοποθετηθούν επιπρόσθετες ακίδες, να γίνει εφαρμογή ισοδυναμικών συνδέσεων και ηλεκτροδίων γείωσης. Τα μέρη μιας ΦΒ εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένου και το σύστημα κατά των κρουστικών υπερτάσεων παρουσιάζονται στην **Εικόνα 4.8**.

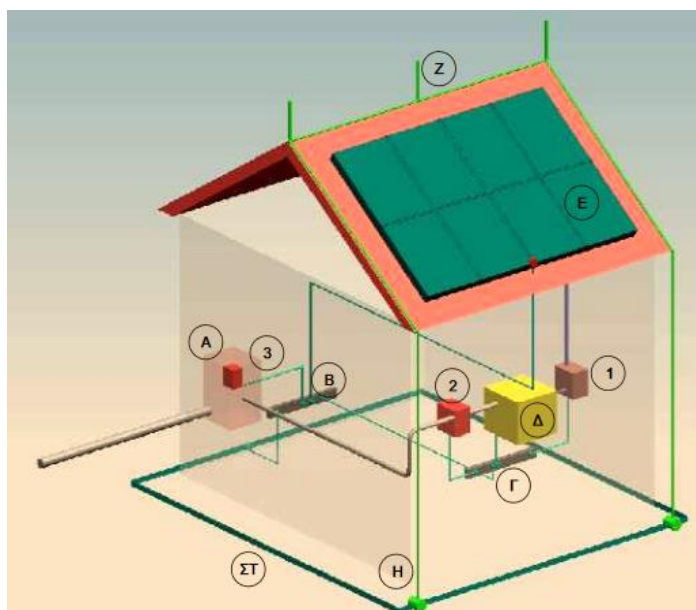
Το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από

1. Συλλεκτήριο Σύστημα που δέχεται τους κεραυνούς.
2. Σύστημα αγωγών καθόδου για την όδευση του κεραυνικού ρεύματος.
3. Σύστημα Γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα στο έδαφος.

Για τον προσδιορισμό της θέσης του συλλεκτήριου συστήματος χρησιμοποιούνται γενικώς οι εξής μέθοδοι:

1. Μέθοδος της γωνίας προστασίας .
2. Μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας.
3. Μέθοδος του πλέγματος.

Το εσωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από τις διατάξεις με τις οποίες επιτυγχάνεται η μείωση των ηλεκτρομαγνητικών επιδράσεων του ρεύματος του κεραυνού στο εσωτερικό του προστατευμένου χώρου. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην εξίσωση των δυναμικών όλων των μεταλλικών στοιχείων του χώρου, ώστε να αποφευχθούν τυχόν διαφορές δυναμικού μεταξύ τους. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται με άμεση γεφύρωση του μεταλλικού εξοπλισμού με άμεση γεφύρωση του μεταλλικού εξοπλισμού με τη γείωση μέσω αγωγών ακολουθώντας την πλέον σύντομη οδό. Οι ισοδυναμικές συνδέσεις των ηλεκτρικά μονωμένων δικτύων και συσκευών πραγματοποιούνται μέσω *απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων*, οι οποίοι επιλέγονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου, του αναμενόμενου κεραυνικού ή κρουστικού ρεύματος στη θέση εγκατάστασής τους και της στάθμης μόνωσης των δικτύων και των συσκευών [11].



- A) Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας AC
 B) Κύριος ζυγός γείωσης
 Γ) Ζυγός γείωσης συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων
 Δ) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
 Ε) Φ/Β συλλέκτες / πλαίσια
 ΣΤ) Σύστημα γείωσης κατασκευής
 Ζ) Συλλεκτήριο σύστημα - Εξωτερικό ΣΑΠ
 Η) Σύστημα αγωγών καθόδου - Εξωτερικό ΣΑΠ

1. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εισόδου DC του Inverter. Απαιτούμενος απαγωγός T2 κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 68 10 304
2. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εξόδου AC του Inverter. Απαιτούμενος απαγωγός T2 κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 68 44 143 (L-N) + 68 44 146 (N-PE)
3. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία του γενικού πίνακα της κατασκευής. Απαιτούμενος απαγωγός T1 + T2 κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 68 54 200

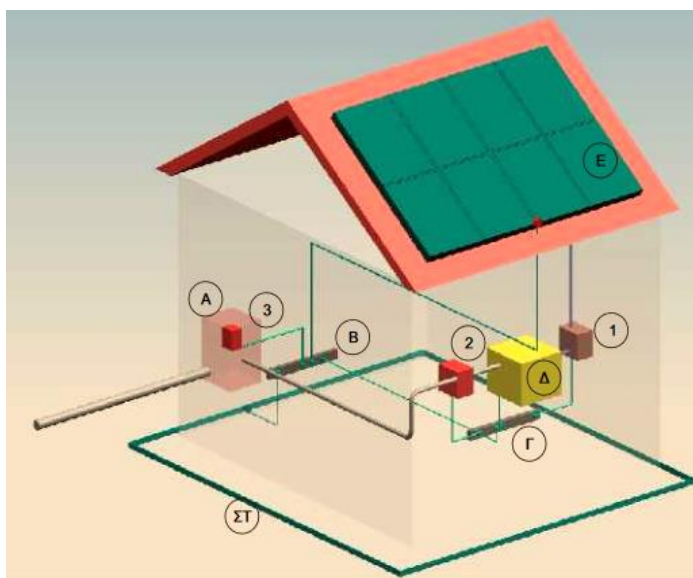
[Πηγή : elemko]

Εικόνα 4.8 : Σύστημα προστασίας από υπερτάσεις σε ΦΒ σύστημα επί οροφής με εξωτερικό Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ) τηρώντας την απόσταση ασφαλείας μεταξύ μεταλλικών μερών των ΦΒ και του ΣΑΠ.

Σε περίπτωση που δεν τηρούνται οι αποστάσεις ασφαλείας, το σύστημα παίρνει τη μορφή που φαίνεται στην **Εικόνα 4.8** με τη διαφορά ότι υπάρχει και άμεση ισοδυναμική σύνδεση των μεταλλικών μερών των φωτοβολταϊκών πλαισίων με το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

• Κτίρια χωρίς Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας

Η δομή ενός ΦΒ συστήματος (συμπεριλαμβανομένου και της προστασίας από υπερτάσεις) σε οροφή κτιρίου χωρίς σύστημα αντικεραυνικής προστασίας παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.10**.



- A) Κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας AC
- B) Κύριος ζυγός γείωσης
- Γ) Ζυγός γείωσης συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων
- Δ) Μετατροπέας (Inverter DC/AC)
- Ε) Φ/Β συλλέκτες / πλαίσια
- ΣΤ) Σύστημα γείωσης κατασκευής

1. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εισόδου DC του Inverter. Απαιτούμενος απαγωγός T2 κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 68 10 304
2. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία της εξόδου AC του Inverter. Απαιτούμενος απαγωγός T2 κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 68 44 143 (L-N) + 68 44 146 (N-PE)
3. Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων για την προστασία του γενικού πίνακα της κατασκευής. Απαιτούμενος απαγωγός T2 κωδικού ΕΛΕΜΚΟ 68 44 445

[Πηγή : elemko]

Εικόνα 4.10 : Σύστημα προστασίας από υπερτάσεις σε ΦΒ σύστημα επί οροφής κτιρίου χωρίς ΣΑΠ.

Απαγωγέας κρουστικών τάσεων : Ο απαγωγέας κρουστικών υπερτάσεων χαρακτηρίζεται σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας από μια υψηλή αντίσταση μεταξύ των άκρων του. Όταν στο δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένος εφαρμοστεί μια κρουστική τάση με τιμή μεγαλύτερη από την τάση διάσπασης του, βραχυκυκλώνει τα άκρα του σε χρόνο ο οποίος είναι της τάξης των nsec, με αποτέλεσμα τη μείωση των διαφορών δυναμικού μεταξύ των ηλεκτρικά μονωμένων αγωγών και μεταξύ των γειωμένων μερών, σε στάθμη η οποία πρέπει να είναι χαμηλότερη της διηλεκτρικής αντοχής των μονωτικών της εγκατάστασης, όπως αυτή ορίζεται από το Διεθνές Πρότυπο IEC 60664. Όταν η τάση του δικτύου επανέλθει στα φυσιολογικά της επίπεδα , ο απαγωγός κρουστικών κρουστικών υπερτάσεων, αυτόματα επανέρχεται στην αρχική του θέση, χωρίς την ανάγκη διακοπής της παροχής του ηλεκτρικού δικτύου.

4.4.1.3 Γείωση

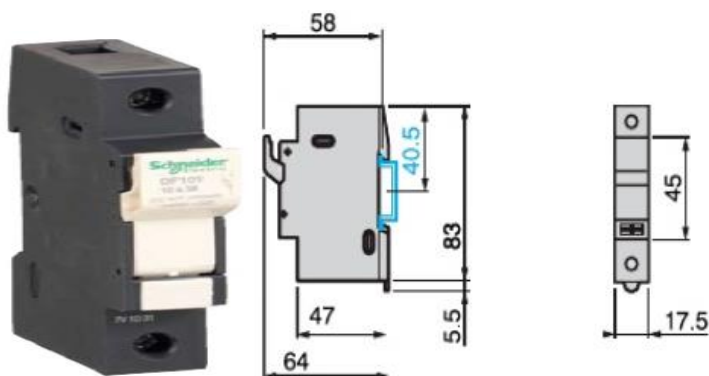
Σκοπός της γείωσης ενός ΦΒ συστήματος είναι να προστατεύει τις συστοιχίες από τον κίνδυνο του άμεσου κεραυνικού πλήγματος , διαχέοντας το ρεύμα του αγωγού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης. Επιπλέον, το σύστημα αυτό προστατεύει τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά μέρη της ΦΒ εγκατάστασης (αναστροφείς, μετατροπείς και άλλα) από την εμφάνιση υπερτάσεων. Τέλος συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου και αναχαιτίζει τον κεραυνό σε περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους [2].

Υπάρχουν τα εξής είδη γειώσεων :

- Γείωση λειτουργίας : στην περίπτωση αυτή γειώνεται ένα ενεργό σημείο του κυκλώματος καθώς και ο ουδέτερος αγωγός (άμεση και έμμεση)
- Γείωση προστασίας : πρόκειται για τη γείωση ενός μεταλλικού μέρους, το οποίο δεν αποτελεί στοιχείο του ενεργού κυκλώματος (όπως οι μεταλλικές βάσεις στήριξης των ΦΒ πλαισίων)
- Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας : είναι η ανοιχτή συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Οι ανοιχτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση [7].

4.5 Προστασία από Βραχυκυκλώματα (DC πλευρά)

Η προστασία από βραχυκυκλώματα, που επιδιώκεται στη DC πλευρά της εγκατάστασης, επιτυγχάνεται με ασφάλειες . Η ασφαλειοθήκη Tesys DF101PV δέχεται ασφάλειες 10x38 και είναι κατάλληλη για προστασία στοιχειοσειρών σε ένα ΦΒ σύστημα με όριο τα 1000V_{dc} και έχει ονομαστικό ρεύμα τα 32A. Στην **Εικόνα 4.11** φαίνεται η ασφάλεια αυτή.



Εικόνα 4.11 : Ασφάλεια Tesys DF101PV.

Σα γενικός διακόπτης ελέγχου χρησιμοποιείται ο Διακόπτης Φορτίου DC. Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτός ο έλεγχος και η απομόνωση με ασφάλεια ολόκληρου του κυκλώματος συνεχούς τάσης. Στην **Εικόνα 4.12** φαίνεται ένας τέτοιος διακόπτης.



Εικόνα 4.12 : Διακόπτης φορτίου DC με χαρακτηριστικά ρεύματος και τάσης 32A και 1000V αντίστοιχα.

4.6 Προστασία της πλευράς εναλλασσόμενου ρεύματος (AC)

Και σε αυτή την πλευρά θα χρειαστεί η χρήση μικροαυτόματων, διακόπτη διαρροής ρεύματος, Διακόπτη φορτίου και ένας επιπλέον μικροαυτόματος.

Οι μικροαυτόματοι προστατεύουν την ηλεκτρική εγκατάσταση από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα, εξασφαλίζοντας έτσι την ομαλή λειτουργία τους. Για την επιλογή τους λαμβάνεται υπόψη η πρόταση του κατασκευαστή του αναστροφέα.

Ο διακόπτης διαρροής ρεύματος διασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων και του εξοπλισμού μιας εγκατάστασης από ατυχήματα που οφείλονται στη διαρροή του ηλεκτρικού ρεύματος προς τη γη.

Ο διακόπτης φορτίου, έχει την ίδια χρήση όπως και στην dc πλευρά της εγκατάστασης, δηλαδή λειτουργεί σα γενικός διακόπτης, απομονώνοντας με ασφάλεια το κύκλωμα υπό πλήρες φορτίο.

Ο τελευταίος μικροαυτόματος αποσκοπεί στην προστασία του καλωδίου μεταξύ του πίνακα AC και του μετρητή της Δ.Ε.Η [9].

4.7 Φαινόμενο Νησιδοποίησης

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης αναφέρεται στην κατάσταση κατά την οποία η ΦΒ μονάδα συνεχίζει να παράγει και να τροφοδοτεί το δίκτυο με ενέργεια, χωρίς ωστόσο να υπάρχει άλλη ενέργεια στο τμήμα του δικτύου στο οποίο συμπεριλαμβάνεται η μονάδα αυτή (blackout). Η ΦΒ εγκατάσταση δηλαδή είναι ένα 'νησί' που τροφοδοτεί το 'άδειο' δίκτυο (ανενεργό) [4]. Αιτίες εμφάνισης του φαινομένου αυτού είναι η ηθελημένη αποσύνδεση ενός μέρους του δικτύου από τα μέσα προστασίας λόγω ανίχνευσης κάποιου σφάλματος, η προγραμματισμένη διακοπή του δικτύου για τη συντήρησή του, η διακοπή της ηλεκτροδότησης λόγω εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, η πιθανή αστοχία ενός μέρους του εξοπλισμού του Σ.Η.Ε αλλά και το ανθρώπινο λάθος.

Η ανίχνευση τέτοιων εγχύσεων είναι σημαντική για όλα τα συστήματα διεσπαρμένων παραγωγών. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι για το σκοπό αυτό τα τελευταία χρόνια. Όλες οι μέθοδοι μπορούν να χωριστούν στις εξής τέσσερις κατηγορίες :

- Παθητικές μέθοδοι (ενσωμάτωση στον αναστροφέα).
- Ενεργητικές μέθοδοι (ενσωμάτωση στον αναστροφέα).
- Ενεργητικές μέθοδοι (χωρίς ενσωμάτωση στον αναστροφέα).
- Μέθοδοι που βασίζονται στη χρήση της επικοινωνίας μεταξύ του δικτύου και του αναστροφέα [1].

Οι παθητικές μέθοδοι προσπαθούν να ανιχνεύσουν το φαινόμενο της νησιδοποίησης με τη βοήθεια της παρατήρησης της εξέλιξης των εξόδων των ηλεκτρικών μεταβλητών των αναστροφέων. Από την άλλη, οι ενεργητικές μέθοδοι διαταράσσουν αυτές τις μεταβλητές με σκοπό να ανιχνεύσουν το φαινόμενο σε σχέση με την αντίδραση του συστήματος.

Συνοπτικά, στον **Πίνακα 4.2** παρουσιάζονται κάποιες παθητικές και οι ενεργητικές μέθοδοι που συναντώνται .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Μέθοδοι	Χαρακτηριστικά
Παθητικές Μέθοδοι	
Πάνω από καθορισμένη τάση (Over Voltage)	Σβήσιμο όταν η τάση ξεπερνά προς τα πάνω, ένα καθορισμένο άνω όριο τάσης- Πολύ κοινός τρόπος
Κάτω από καθορισμένη τάση (Under Voltage)	Σβήσιμο όταν η τάση γίνεται μικρότερη από ένα καθορισμένο κάτω όριο τάσης- Πολύ κοινός τρόπος
Πάνω από καθορισμένη συχνότητα (Over Frequency)	Σβήσιμο όταν η συχνότητα ξεπερνά ένα καθορισμένο άνω όριο- Πολύ κοινός τρόπος
Κάτω από καθορισμένη συχνότητα (Under Frequency)	Σβήσιμο όταν η συχνότητα γίνεται μικρότερη από ένα μικρότερο όριο – Πολύ κοινός τρόπος
Ρυθμός μεταβολής συχνότητας (Frequency Variation Rate)	Πιο περίπλοκη μέθοδος που προκαλείται από ασυνήθιστες μεταβολές στη συχνότητα – Κοινός τρόπος
Άλμα φάσης τάσης(Voltage Pulse Jump)	Γνωστή επίσης και ως ανίχνευση συντελεστή ισχύος. Ελέγχει τη διαφορά φάσης μεταξύ της τάσης και του ρεύματος εξόδου αναστροφέα για κάποια ξαφνική αλλαγή
Ανίχνευση 3^{ης} αρμονικής τάσης (Third Harmonic Voltage Detection)	Οι αρμονικές θα αυξηθούν αν η χαμηλή σύνθετη αντίσταση του δικτύου μηδενιστεί
Ενεργητικές Μέθοδοι	
Μετατόπιση συχνότητας (Frequency Shift)	Όταν μια αλλαγή στη συχνότητα ανιχνεύεται, η μέθοδος τροποποιεί τη συχνότητα των ρευμάτων εξόδου στην ίδια κατεύθυνση
Μέτρηση σύνθετης αντίστασης (Impedance Measurement)	Εγχέει έναν παλμό στο δίκτυο για να διαπιστώσει αν υφίσταται πρόβλημα
Μέτρηση αρμονικής σύνθετης αντίστασης (Harmonic Impedance Measurement)	Αρμονικές εγχέονται σκόπιμα για να ανιχνευθεί η αντίδραση
Μέθοδοι δικτύου	
Επικοινωνίες δικτύου (Utility Communications)	Απαιτείται συνεχές σήμα από το δίκτυο για να ελέγχει την παραγωγή

[Πηγή: ehe-greece]

Πίνακας 4.2 : Μέθοδοι για την ανίχνευση του φαινομένου της νησιδοποίησης

Η προστασία αντινησιδοποίησης κατά VDE 0126-1-1 είναι υποχρεωτική για ΦΒ συστήματα ισχύος έως 30 kV μόνο όταν το σημείο σύνδεσης της πηγής με το δίκτυο δεν είναι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

προσβάσιμο από το διαχειριστή. Η συμμόρφωση με το πρότυπο VDE 0126-1-1 αποδεικνύεται με πιστοποιητικό από ανεξάρτητο εργαστήριο.

Βιβλιογραφία

- [1] CITCEA-UPS : Skořil Tomáš, Gomis-Bellmut Oriol , Montesinos-Miracle Daniel, Galceran-Arellano Samuel and Rull-Duran Joan, **Passive and Active Methods of Islanding for PV systems**, Barcelona Spain.
- [2] Dehn-ru ,**Lightning Protection Guide**, 3rd updated edition, 2014.
- [3] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, **Planning and installing photovoltaic systems : a guide for installers, architects and engineers**, 2nd edition , UK and USA 2008.
- [4] Shertukde Hemchandra Madhusudan, **Distributed Photovoltaic Grid Transformers**, CRC Press, 2014
- [5] Solanki Chetan Singh,**SOLAR PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND SYSTEM: A Manual for Technicians, Trainers and Engineers**, PHI Learning Private Limited , Delhi 2013.
- [6] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), **Οδηγίες για την Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος σε Κτιριακές Εγκαταστάσεις**, Αύγουστος 2009.
- [7] Ντοκόπουλος Πέτρος, **Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών**, Εκδόσεις Ζήτη, Ιανουάριος 2005.
- [8] Πυργιώτη Ελευθερία , **Προστασία κατασκευών από κεραυνούς**, Πάτρα 2009.
- [9] Τρυφονίδης Τηλέμαχος Α., Διπλωματική Εργασία : **ΑΡΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΜΑΤΩΝ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΒ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΣΤΕΓΕΣ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**, Αθήνα 2015.
- [10] Τσοβίλης Ε. Θωμάς , **Διδακτορική Διατριβή : Μοντέλο σύλληψης κεραυνού και εφαρμογές σε συστήματα αντικεραυνικής προστασίας** , Θεσσαλονίκη 2010.
- [11] Τσοτσόλη Ε. ; Μυλωνάς Σ. , **ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΜΙΚΡΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ-ΦΩΤΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΙΣ ΣΤΕΓΕΣ** , 2003.

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

- [12] www.elemko.gr
- [13] <https://library.e.abb.com/public/5a85dc4a1eedb31048257d9b00432308/Lighting%20protection%20with%20overvoltage%20protectors%20in%20LV%20panelsGR.pdf>
- [14] <http://www.meteo.gr/talos/mean-lighting-activity-per-month.cfm>
- [15] www.dehn-ru.com
- [16] www.scribd.com
- [17] <http://ehe-greece.blogspot.gr/2011/11/blog-post.html>
- [18] www.hlektrologia.gr

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Μελέτη ΦΒ
Εγκατάστασης σε Τυροκομική
Μονάδα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

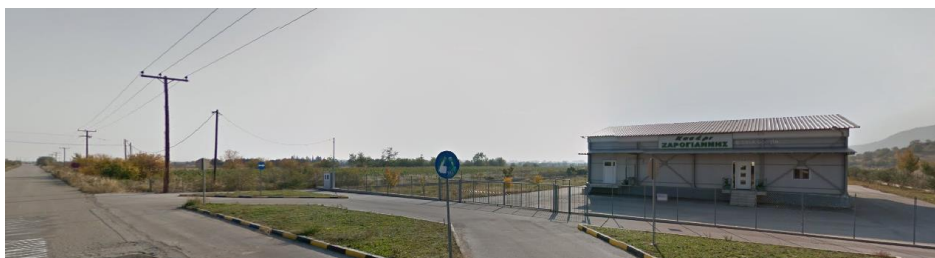
5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μελέτη για την κατασκευή διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας τυροκομικής μονάδας στην περιοχή της Βασιλικής του νομού Τρικάλων. Πρόκειται για κτίριο σε επίπεδη αγροτική περιοχή, όπως φαίνεται και παρακάτω.



[Πηγή: Google Maps]

Εικόνα 5.1 : Φωτογραφία Κάτοψης



(α)



(β)

[Πηγή: Google Maps]

Εικόνα 5.2 (α) και (β) : Πρόσοψη κτιρίου και πιθανοί λόγοι σκίασης.

5.2 Ανάλυση Παραγωγής

Η προαναφερθείσα μονάδα δραστηριοποιείται κυρίως στην παραγωγή κασεριού με δυνατότητα παραγωγής και άλλων τυροκομικών προϊόντων (σκληρά τυριά, Φέτα, Μυζήθρα, Ανθότυρο) προς τούτο χρησιμοποιείται ο παρακάτω εξοπλισμός:

- ✓ Ογκομετρική μηχανή κασεριού με Η/Κ.
- ✓ Οριζόντια μηχανή κασεριού, τύπου Caprit 2196211, με Η/Κ.
- ✓ Κόφτης μπασκιού με Η/Κ.
- ✓ Κορυφολόγος γάλακτος-τυρόγαλου 1,000lt με Η/Κ.
- ✓ Δυο Βραστήρες 1,100lt με καύσιμο υγραερίου.
- ✓ Βραστήρας 400lt με καύσιμο υγραερίου
- ✓ Δυο αναδευτήρες βραστήρα με Η/Κ.
- ✓ Αντλία γάλακτος με Η/Κ.
- ✓ Αντλία τυρόγαλου με Η/Κ.
- ✓ Παγολεκάνη 300lt με Η/Κ.
- ✓ Ψυκτικό μηχάνημα Coperland με Η/Κ και ανεμιστήρα με Η/Κ.
- ✓ Καυστήρας υγραερίου με Η/Κ.
- ✓ Δεξαμενή υγραερίου χωρητικότητας 5,00 m³.
- ✓ Μηχάνημα συσκευασίας κενού, τύπου M.P TEC V80 με Η/Κ.

5.2.1 Παραγωγική Διαδικασία

Προς κατανόηση της λειτουργίας των παραπάνω μηχανημάτων θεωρείται σκόπιμη η παρουσίαση της παραγωγικής διαδικασίας που ακολουθείται για την παραγωγή κασεριού.

Αρχικά συγκεντρώνεται η πρώτη ύλη (νωπό γάλα), στη μονάδα, από τους παραγωγούς με βυτιοφόρα. Το νωπό γάλα φιλτράρεται στο φίλτρο καθαρισμού προκειμένου να απομακρυνθούν ξένα σώματα (όπως για παράδειγμα σκόνη) που πιθανώς εμπεριέχονται στο γάλα και στη συνέχεια αποθηκεύεται προσωρινώς στην παγολεκάνη έως ότου χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τυριού.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια της αντλίας γάλακτος οδηγείται προς παστερίωση και στη συνέχεια προς πήξη. Η παστερίωση επιτυγχάνεται στα καζάνια διπλών τοιχωμάτων με θέρμανση του, στους 63°C για μισή ώρα, με ατμό που παραλαμβάνεται από το βραστήρα.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της πήξης, η σχηματισθείσα τυρομάζα διαχωρίζεται με στράγγιση από το τυρόγαλο και οδηγείται στην πρέσα όπου παράγεται το μπασκί, το οποίο κατόπιν ωρίμανσης (3 ημερών) και θέρμανσης οδηγείται στις κασερομηχανές. Η μεταφορά γάλακτος και τυρογάλακτος γίνεται με τις αντίστοιχες αντλίες.

Τα τελευταία στάδια της παραγωγής είναι η συσκευασία των παραγόμενων τεμαχίων στο μαχάνημα συσκευασίας κενού και η αποθήκευση αυτών στο ψυγείο έως ότου γίνει η μεταφορά τους στα διάφορα σημεία πώλησης.

5.3 Δεδομένα Προκαταρκτικής Μελέτης

Τα δεδομένα της υπό μελέτη μονάδας φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 5.1):

Περιοχή Μελέτης	Βασιλική-Νομός Τρικάλων Γεωγραφικό πλάτος: 39° 33' Β Γεωγραφικό μήκος: 21° 46' Α
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	7 ημέρες
Επίπεδο εγκατάστασης	Κεκλιμένη οροφή σιδηροκατασκευής με πάνελ
Τύπος ηλεκτρικών καταναλώσεων	AC Καταναλώσεις 220/230 V

Πίνακας 5.1 : Δεδομένα προκαταρκτικής μελέτης.

5.4 Ενεργειακές Ανάγκες

Η καταγραφή των ενεργειακών αναγκών που επιθυμούμε να καλύψουμε με χρήση ΦΒ πλαισίων αποτελεί το βασικότερο βήμα της μελέτης καθώς καθορίζει τον αριθμό των πλαισίων, την παρεχόμενη από τα ΦΒ ενέργεια και γενικά τον απαιτούμενο εξοπλισμό, είτε αναφερόμαστε σε αυτόνομο είτε σε διασυνδεδεμένο στο δίκτυο σύστημα.

Οι ενεργειακές καταναλώσεις της μονάδας αφορούν τον εξοπλισμό της βιοτεχνίας, το φωτισμό, έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και έναν εκτυπωτή, ενώ δεν υπάρχουν άλλες ηλεκτρικές συσκευές. Επισημαίνεται πως οι ενεργειακές ανάγκες διαφοροποιούνται ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας. Πιο συγκεκριμένα τις ημέρες Δευτέρα, Πέμπτη και Κυριακή οι ανάγκες είναι μεγαλύτερες από αυτές των τεσσάρων άλλων ημερών της εβδομάδας. Αναλυτικά οι εκτιμώμενες ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες συνοψίζονται στους πίνακες 5.2 (α) και 5.2 (β) που ακολουθούν.

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΕΣ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(h/ημέρα)	ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ (kWh/ημέρα)
Μηχανή Κασεριού	5	3	15
Κόφτης μπασκίου	1,5	3	4,5
Κορυφολόγος	1,47	3	4,41
Αναδευτήρας 1	0,74	1	0,74
Αναδευτήρας 2	0,74	1	0,74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Αντλία γάλακτος	0,88	1	0,88
Αντλία τυρόγαλου	0,44	1	0,44
Παγολεκάνη	0,35	24	8,4
Ψυκτικό Μηχάνημα	9	24	216
Καυστήρας υγραερίου	2,2	7	15,4
Οριζόντια μηχανή κασεριού	2	3	6
Μηχανή συσκευασίας κενού	5	3	15
Φωτισμός Εσωτερικών Χώρων	0,48	7	3,36
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων	0,42	10	4,2
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	0,2	2	0,4
Εκτυπωτής	0,05	0,05	0,025
30,47			
ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ(kWh/ημέρα)			295,4725

Πίνακας 5.2 (α) : Εκτιμώμενες ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες για τις ημέρες ΔΕΥΤΕΡΑ-ΠΕΜΠΤΗ -ΚΥΡΙΑΚΗ

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΓΚΕΣ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (h/ημέρα)	ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ (kWh/ημέρα)
Κορυφολόγος	1,47	3	4,41
Αναδευτήρας 1	0,74	1	0,74
Αναδευτήρας 2	0,74	1	0,74
Αντλία γάλακτος	0,88	1	0,88
Αντλία τυρόγαλου	0,44	1	0,44
Παγολεκάνη	0,35	24	8,4
Ψυκτικό Μηχάνημα	9	24	216

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Καυστήρας υγραερίου	2,2	7	15,4
Φωτισμός Εσωτερικών Χώρων	0,48	7	3,36
Φωτισμός Εξωτερικών Χώρων	0,42	10	4,2
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	0,2	2	0,4
Εκτυπωτής	0,05	0,05	0,025
	16,97	ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ(kWh/ημέρα)	254,9725

Πίνακας 5.2 (β) : Εκτιμώμενες ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες για τις ημέρες ΤΡΙΤΗ – ΤΕΤΑΡΤΗ – ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ – ΣΑΒΒΑΤΟ.

5.5 Περίοδος Λειτουργίας του Συστήματος και Βέλτιστη Κλίση των Συλλεκτών

Η περίοδος λειτουργίας μιας τυροκομικής μονάδας, συνεπώς και της ΦΒ εγκατάστασης, αποτελεί επιλογή της διεύθυνσης. Ωστόσο υπάρχει ο περιορισμός της ύπαρξης πρώτης ύλης (γάλα). Μια τυπική περίοδος προσφοράς από τους παραγωγούς και των τριών ειδών γάλακτος (κατσικίσιο, πρόβειο και αγελαδινό) είναι από τα μέσα Δεκεμβρίου έως τα τέλη Σεπτεμβρίου(15/12 - 30/9).

Προκειμένου να λειτουργεί το ΦΒ σύστημα στο μέγιστο δυνατό βαθμό και να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια εκμεταλλεύσιμης ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να προσδιοριστεί η βέλτιστη κλίση των συλλεκτών. Ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση τους, ωστόσο, είναι η οροφή του κτιρίου, συνεπώς η κλίση τους ταυτίζεται με αυτή της στέγης (25,2°), γεγονός που δεν επιτρέπει την υλοποίηση της λογικής βέλτιστης κλίσης. Η ελαχιστοποίηση των απωλειών ακτινοβολίας θα επιτευχθεί με άλλους τρόπους, όπως για παράδειγμα τη σωστή χωροθέτηση των πλαισίων προς εκμετάλλευση ολόκληρου του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης.

5.6 Φυσικό Περιβάλλον και Υφιστάμενη Τροφοδοσία

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ηπειρωτικές κλιματικές συνθήκες. Η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντικές διαφορές μεταξύ μεγίστου και ελαχίστου που υπερβαίνουν τους 10°C. Γενικά παρατηρείται μια ξηρή-θερμή περίοδος από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο και μια υγρή-ψυχρή από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι : 10,0°C κυμαινόμενη από 5°C τον Ιανουάριο μέχρι 27°C περίπου τον Ιούλιο και τον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Αύγουστο. Η μέση ανώτατη θερμοκρασία είναι 34°C, ενώ η μέση ελάχιστη θερμοκρασία είναι 1,4°C.

Στην περιοχή επικρατούν Βορειοδυτικοί άνεμοι ιδίως το χειμώνα και το καλοκαίρι με ένταση που κυμαίνεται μεταξύ 1,5-2 Beaufort, ενώ μερικές φορές ξεπερνά τα 8 Beaufort. Πιο συγκεκριμένα στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η μέση ταχύτητα του ανέμου (σε m/s) για κάθε μήνα του έτους.

ΜΗΝΑΣ	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	7ος	8ος	9ος	10ος	11ος	12ος
ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (m/s)	1,4	1,6	1,8	2,3	2,4	2,5	2,0	1,8	1,7	1,4	1,3	1,5

Πίνακας 5.3 : Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου σε m/s.

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε 1067 mm για την περιοχή της Καλαμπάκας. Η σχετική υγρασία του αέρα εμφανίζεται αυξημένη τις βραδινές και πρωινές ώρες, με μέσες τιμές που κυμαίνονται από 46% τον Ιούλιο – Αύγουστο μέχρι 80% το Δεκέμβριο.

Τα παραπάνω μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής αφορούν μια περίοδο 30 ετών και έχουν συγκεντρωθεί από το Σταθμό Τρικάλων Θεσσαλίας.

Επισημαίνεται ότι από την ευρύτερη περιοχή διέρχεται η γραμμή μεταφοράς Ταυρωπού – Πτολεμαΐδας υψηλής τάσης 150 kV . Επίσης υπάρχουν γραμμές μεταφοράς μέσης τάσης 20 kV που οδεύουν εναέρια, ενώ η διανομή γίνεται με εναέριο δίκτυο χαμηλής τάσης 380/220V.

- 5.7 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Για τον υπολογισμό της διάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος, θα βρεθούν πρώτα οι συντελεστές απωλειών :

- Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης :

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(\theta_{\mu} + 30) - 25] * 0,004 \quad (\text{Σχέση 5.1})$$

Με βάση τον **πίνακα 5.4** που ακολουθεί και συνοψίζει τη μέση τιμή της θερμοκρασίας για κάθε μήνα του έτους, υπολογίζεται ο συντελεστής αυτός για το μήνα Δεκέμβριο. Οι μέσες μηνιαίες τιμές του πίνακα προκύπτουν από μετρήσεις διάρκειας τριάντα ετών στην περιοχή της Καλαμπάκας και προέρχονται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Μορφοποιήθηκε: Όχι Επισήμανση

ΜΗΝΑΣ	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	7ος	8ος	9ος	10ος	11ος	12ος
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	5,94	7,08	10,45	14,58	19,81	25,18	27,55	26,62	22,43	16,79	10,64	6,62

Πίνακας 5.4 : Μέση μηνιαία θερμοκρασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Συνεπώς από τη **Σχέση (5.1)** για $\theta_{\mu} = 6,62$ προκύπτει $\sigma_{\theta} = 0,95352 \approx 0,95^*$.

- Συντελεστής ρύπανσης $\sigma_{\rho} = 0,95$

Η επικάθιση ρύπων στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων επιφέρει μείωση στην απόδοσή τους. Ουσιαστικά πρόκειται για το λόγο της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει ένα ρυπασμένο πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που θα παρήγαγε το ίδιο καθαρό πλαίσιο υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού.

Επιλέγεται η μέγιστη δυνατή τιμή (ίση με 0,95) καθώς πρόκειται για αγροτική περιοχή, χωρίς ιδιαίτερη ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης θεωρείται δεδομένος ο συχνός καθαρισμός των επιφανειών των πλαισίων*.

- Συντελεστής γήρανσης $\sigma_{\gamma} = 0,9$

Η πάροδος του χρόνου λειτουργίας επιφέρει γήρανση στα υλικά κατασκευής των ΦΒ πλαισίων. Θεωρώντας περίοδο είκοσι ετών και λαμβάνοντας υπόψη τη σταδιακή μείωση της φωτοβολταϊκής μετατροπής (1% ανά έτος), λαμβάνεται ο μέσος συντελεστής γήρανσης (0,9)*.

- Συντελεστής απωλειών διόδου σ_{δ}

Ο συντελεστής αυτός συνυπολογίζεται μόνο σε αυτόνομες εγκαταστάσεις και αφορά τη δίοδο αντεπιστροφής που χρησιμοποιείται ώστε να εμποδίσει την εκφόρτιση των συσσωρευτών διαμέσου των ΦΒ πλαισίων κατά τη διάρκεια της νύχτας. Μια τυπική τιμή του συντελεστή αυτού είναι : $\sigma_{\delta} = 0,99^*$. Η παρούσα μελέτη αφορά διασυνδεδεμένο στο δίκτυο σύστημα, άρα δε χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς.

- Συντελεστής ανομοιογένειας $\sigma_{\alpha} = 0,98$

Η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών I-V των ΦΒ πλαισίων, μπορεί να αποδοθεί σε κατασκευαστικούς παράγοντες, ή και σε εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες (παραδείγματος χάρη επιλεκτική σκίαση λόγω εμποδίων). Μια τυπική τιμή του συντελεστή που εκφράζει τη μείωση της ισχύος εξόδου δεδομένων αυτών των συνθηκών είναι : $\sigma_{\alpha} = 0,98^*$.

- Συντελεστής καλωδιώσεων $\sigma_{\kappa} = 0,98$

Ο συντελεστής καλωδιώσεων εκφράζει τις απώλειες Joule στα καλώδια σύνδεσης των κλάδων των ΦΒ πλαισίων (και της κάθε συστοιχίας)*.

- Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας $\sigma_{\text{ΜΗΕ}} = 0,97$,

αφού πρόκειται για διασυνδεδεμένο σύστημα το οποίο περιέχει μόνο DC /AC μετατροπέα (inverter) *[1].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για την κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων ,συνυπολογίζοντας και τις διάφορες απώλειες δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$P_a (Wp) = \sigma_{YM} * (\text{Σχέση 5.2})$$

Όπου τα μεγέθη που εμφανίζονται είναι τα εξής:

- ❖ P_a → απαιτούμενη ισχύς αιχμής της ΦΒ εγκατάστασης
- ❖ σ_{YM} → συντελεστής υπερεκτίμησης μελέτης
- ❖ E_T → απαιτούμενη συνολική ημερήσια ενέργεια
- ❖ Π → διαθέσιμη ημερήσια ηλιακή πυκνότητα ενέργειας για την επιλεγόμενη γωνία εγκατάστασης του συλλέκτη
- ❖ P_{STC} → ηλιακή ακτινοβολία επί οριζόντιου εδάφους σε συνθήκες STC
Ισχύει $P_{STC}=1Kw/m^2$
- ❖ $\sigma_{\Sigma\Delta\Phi\Gamma}$ → συντελεστής απωλειών ΦΒ πεδίου. Ορίζεται ως το γινόμενο : $\sigma_{\Sigma\Delta\Phi\Gamma} = \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa}$
- ❖ σ_{MHE} → συντελεστής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας(προς τους συσσωρευτές)
- ❖ n → ημέρες αυτοδυναμίας του ΦΒ συστήματος για τη δεδομένη περίοδο αναφοράς
- ❖ N → ημέρες της περιόδου αναφοράς

Για την εφαρμογή της **Σχέσης 5.2** χρειάζονται οι τιμές των E_T , Π και $\sigma_{\Sigma\Delta\Phi\Gamma}$.

Το σύνολο της ημερήσιας ενέργειας που απαιτείται κάθε Δευτέρα, Πέμπτη και Κυριακή είναι 295,4725 KWh/ημέρα, όπως βρέθηκε στον **Πίνακα 5.2 (α)**. Το αντίστοιχο των υπολοίπων ημερών της εβδομάδας φαίνεται στον **Πίνακα 5.2 (β)** και είναι 254,9725 KWh/ημέρα. Επειδή στόχος είναι η κάλυψη της μέγιστης κατανάλωσης, θεωρείται $E_T \equiv 295,4725 \approx 295.472,5 \text{ Wh /ημέρα}$.

Ο συντελεστής απωλειών του ΦΒ πεδίου προκύπτει από το γινόμενο των ήδη γνωστών συντελεστών απωλειών και είναι :

$$\sigma_{\Sigma\Delta\Phi\Gamma} = 0,95*0,95*0,9*0,98*0,98*0,97 \rightarrow \underline{\sigma_{\Sigma\Delta\Phi\Gamma} = 0,7595 \approx 0,76}$$

Για να βρεθεί η ημερήσια ηλιακή πυκνότητα ενέργειας για την επιλεγόμενη γωνία εγκατάστασης του συλλέκτη στην υπό μελέτη περιοχή, αξιοποιούνται τα διαθέσιμα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο της πλησιέστερης περιοχής με παρόμοια μορφολογία εδάφους. Η τελευταία είναι η Λάρισα, και οι τιμές αυτές συνοψίζονται στον **Πίνακα 5.5**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

ΜΗΝΑΣ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}	9 ^{ος}	10 ^{ος}	11 ^{ος}	12 ^{ος}
kWh/(m ² .month)	55,1	71,4	112,1	151,1	190,9	210,8	215,8	194,3	145,9	97,8	61,2	47,8

Πίνακας 5.5 : Μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kWh/(m²)] στην περιοχή της Λάρισας.

Καθώς η εγκατάσταση δε θα γίνει στο οριζόντιο επίπεδο, αλλά στην κεκλιμένη επιφάνεια της στέγης, η κλίση των πλαισίων είναι 25,2° (Αναλυτικός υπολογισμός γωνίας στην **Παράγραφο 5.8**). Συνεπώς είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η ηλιακή ακτινοβολία στη γωνία ενδιαφέροντος. Ο υπολογισμός αυτός επιτυγχάνεται με την εφαρμογή θεωρητικών και εμπειρικών μοντέλων, συνυπολογίζοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, και γεωμετρικούς παράγοντες που σχετίζονται με την τροχιά του ήλιου, την περιοχή και την εποχή του χρόνου.

Η προσπίπτουσα, σε μια επιφάνεια, ηλιακή ακτινοβολία ουσιαστικά είναι συνάρτηση :

- Της κλίσης της επιφάνειας.
- Του προσανατολισμού.
- Της περιοχής εγκατάστασης (γεωγραφικό μήκος και πλάτος).
- Της καθαρότητας του ορίζοντα.
- Των φυσικών ή τεχνητών εμποδίων που ενδεχομένως επηρεάζουν την επιφάνεια πρόσπτωσης.

Οι μηνιαίες τιμές της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 5.6**) :

ΜΗΝΑΣ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}	9 ^{ος}	10 ^{ος}	11 ^{ος}	12 ^{ος}
kWh/(m ² .month)	22,9	30,3	48,8	65,1	82,2	86,3	85,8	73,4	54,4	38,1	24,3	19,7

Πίνακας 5.6 : Μέση μηνιαία διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο [kWh/(m² .month)] στην περιοχή της Λάρισας.

Ο λόγος της μέσης μηνιαίας ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς τη μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στο όριο της ατμόσφαιρας ισοδυναμεί με το μέσο μηνιαίο συντελεστή αιθριότητας. Ο συντελεστής αυτός διαφέρει ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή .Στον επόμενο πίνακα (**Πίνακας 5.7**) φαίνονται οι μηνιαίες τιμές αυτού του συντελεστή για την περιοχή της Λάρισας, την πλησιέστερη με διαθέσιμα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία.

ΜΗΝΑΣ	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	6 ^{ος}	7 ^{ος}	8 ^{ος}	9 ^{ος}	10 ^{ος}	11 ^{ος}	12 ^{ος}
k _t	0,41	0,44	0,47	0,52	0,56	0,61	0,62	0,62	0,58	0,50	0,45	0,40

Πίνακας 5.7 : Μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας k_t.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Στον **Πίνακα 5.8**, δίνονται τιμές της προσπίπτουσας μηνιαίας ολικής ηλιακής ενέργειας (kWh/(m².mo)) σε κεκλιμένες επιφάνειες για τις βέλτιστες κλίσεις εγκατάστασης ηλιακού συστήματος στην περιοχή της Λάρισας (γεωγραφικό πλάτος → 39,63°, γεωγραφικό μήκος → 22,42°). Οι τιμές της βέλτιστης κλίσης δίνονται σε ετήσια (Ε) βάση, σε χειμερινή (Χ) βάση και θερινή (Θ) βάση. Πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές βέλτιστης κλίσης είναι σχεδόν ίδιες για περιοχές με ίδιο γεωγραφικό πλάτος.

Κλίση(°)	1ος	2ος	3ος	4ος	5ος	6ος	7ος	8ος	9ος	10ος	11ος	12ος	Ε	Χ	Θ
9-16	59	78	121	160	203	210	218	202	160	114	79	57	1662	555	1154
24-34	75	92	131	160	193	194	203	198	170	132	101	76	1726	636	1118
44-54	83	96	131	151	175	173	182	184	167	138	112	85	1676	658	1032

Πίνακας 5.8 : Μηνιαία Ηλιακή Ενέργεια για τις βέλτιστες γωνίες κλίσης των φωτοβολταϊκών (kWh/m².mo) και βέλτιστη κλίση σε ετήσια βάση(Ε), χειμερινή (Χ) και θερινή(Θ) περίοδο για την περιοχή της Λάρισας.

Στην υπό μελέτη εγκατάσταση η κλίση των συλλεκτών είναι 25,2°, τιμή η οποία βρίσκεται στο εύρος 24° - 34°. Επίσης η σχεδίαση του συστήματος βασίζεται στο κριτήριο του «λιγότερου ευνοϊκού μήνα», ο οποίος σύμφωνα με τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα είναι ο Ιανουάριος (1^{ος}) με μηνιαία ηλιακή ενέργεια τις 75 kWh/m².mo. Για να βρεθεί η τιμή της ζητούμενης ημερήσιας ακτινοβολίας αρκεί να διαιρεθεί η μηνιαία τιμή με το πλήθος των ημερών του εκάστοτε μήνα. Συνεπώς για το μήνα Ιανουάριο είναι :

$$Π = \Rightarrow \underline{Π \approx 2,42 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day} \approx 2419,4 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{day}}$$

Τελικά η **απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης** προκύπτει :

$$P_{\alpha} = \approx 256713,12 \text{ W}_p \approx 256,71 \text{ kW}_p$$

5.8 Επιλογή ΦΒ Πλαισίου

Για το σύστημα που μελετάται επιλέγεται το ΦΒ πλαίσιο της εταιρείας Yingli των 270 W τύπου YGE 60 CELL SERIES 2. Όπως παρουσιάστηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, η εταιρεία αυτή βρίσκεται στις δέκα εμπορικότερες για το έτος 2015. Τα χαρακτηριστικά του πλαισίου φαίνονται στους πίνακες που ακολουθούν :

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε συνθήκες STC			
Ισχύς εξόδου	P _{max}	W	270
Όρια μεταβολής ισχύος εξόδου	ΔP _{max}	W	0/+5
Απόδοση πλαισίου	η _m	%	16,6
Τάση στη μέγιστη Ισχύ	V _{mpp}	V	30,7
Ρεύμα στη μέγιστη Ισχύ	I _{mpp}	A	8,80
Τάση	V _{oc}	V	37,9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Ανοιχτοκύκλωσης			
Ρεύμα Βραχυκυκλώματος	I_{sc}	A	9,27

Πίνακας 5.9 : ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2 σε πρότυπες συνθήκες (STC : 1.000 W/m² ακτινοβολία, 25°C θερμοκρασία πλαισίου, AM 1.5 g spectrum σύμφωνα με το πρότυπο EN 60904-3. Average relative efficiency reduction of 3,3% at 200 W/ m² according to EN 60904-1) σύμφωνα με το φυλλάδιο του κατασκευαστή (datasheet).

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε συνθήκες NOCT			
Ισχύς εξόδου	P_{max}	W	196,9
Τάση στη μέγιστη ισχύ εξόδου	V_{mpp}	V	28,0
Ρεύμα στη μέγιστη ισχύ εξόδου	I_{mpp}	A	7,04
Τάση Ανοιχτοκύκλωσης	V_{oc}	V	35,0
Ρεύμα Βραχυκυκλώματος	I_{sc}	A	7,49

Πίνακας 5.10 : ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2 υπό ονομαστικές συνθήκες θερμοκρασίας πλαισίου (nominal operating cell temperature) σύμφωνα με το φυλλάδιο του κατασκευαστή. NOCT: open-circuit module operation temperature at 800 W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

Σημειώνεται πως τα μεγέθη μελετώνται σε πρότυπες συνθήκες (STC).

Θερμικά χαρακτηριστικά			
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας στοιχείου	NOCT	°C	46+/-2
Θερμοκρασιακός συντελεστής της P_{max}	Γ	% / °C	-0,42
Θερμοκρασιακός συντελεστής της V_{oc}	β_{Voc}	% / °C	-0,32
Θερμοκρασιακός συντελεστής του I_{sc}	α_{Isc}	% / °C	0,05

Πίνακας 5.11 : Θερμικά χαρακτηριστικά πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Συνθήκες λειτουργίας	
Μέγιστη τάση συστήματος	1000 V _{DC}
Μέγιστη ασφάλεια σειράς	15A
Μέγιστο αντίστροφο ρεύμα	15A
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-40 °C έως 85 °C
Μέγιστο στατικό φορτίο, μπροστά (όπως χιόνι)	5400 Pa
Μέγιστο στατικό φορτίο, πίσω (όπως αέρας)	2400 Pa

Πίνακας 5.12 : Συνθήκες ομαλής λειτουργίας πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2.

Κατασκευαστικά υλικά	
Μπροστινό κάλυμμα (υλικό / πάχος)	Low iron tempered glass / 3,2 mm
Κελί (ποσότητα/υλικό/διαστάσεις/αριθμός ζυγών)	60/πολυκρυσταλλικό πυρίτιο / 156mm x 156mm / 3 ή 4
Πλαίσιο (υλικό/ χρώμα)	Κράμα ανοδιωμένου αλουμινίου/ασημί
Προστασία κουτιού συνδέσεων	≥IP65
Καλώδιο (μήκος, διατομή)	1000mm / 4mm ²
Βύσμα (τύπος / βαθμός προστασίας)	MC4/ IP68 ή YT08-1/ IP67 ή Amphenol H4/ IP68 ή Phoenix Contact SUNCLIX/IP67

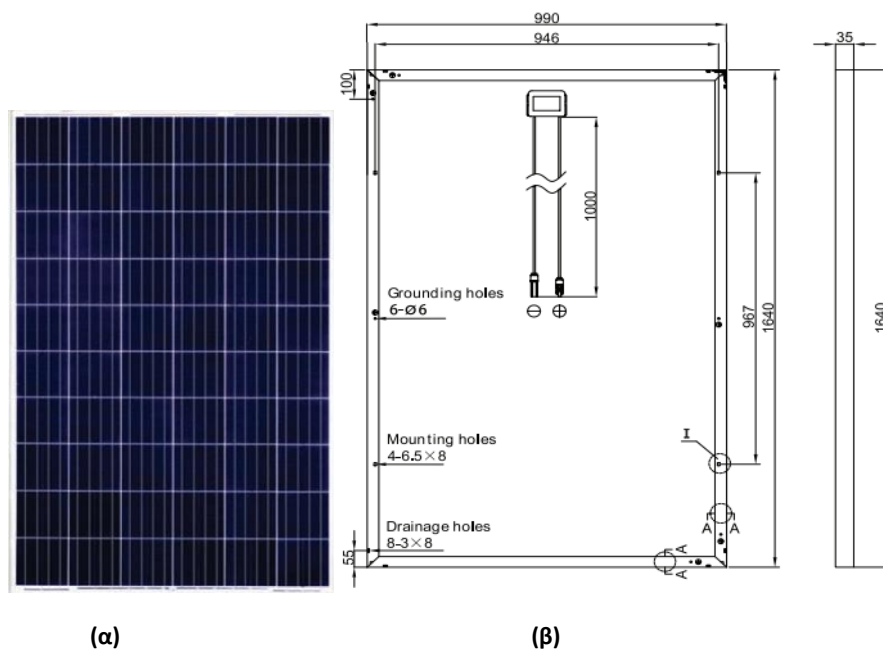
Πίνακας 5.13 : κατασκευαστικά υλικά πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2.

Γενικά χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις (μήκος / πλάτος/ ύψος)	1640mm/ 990mm / 35mm
Βάρος	18,5 kg

Πίνακας 5.14 : Γενικά χαρακτηριστικά πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2.

Το σχέδιο και η όψη του πλαισίου που επιλέχθηκε φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ



Εικόνα 5.3 : (α) Όψη και (β) σχέδιο πλαισίου YGE 60 CELL SERIES 2.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, CE, MCS, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000

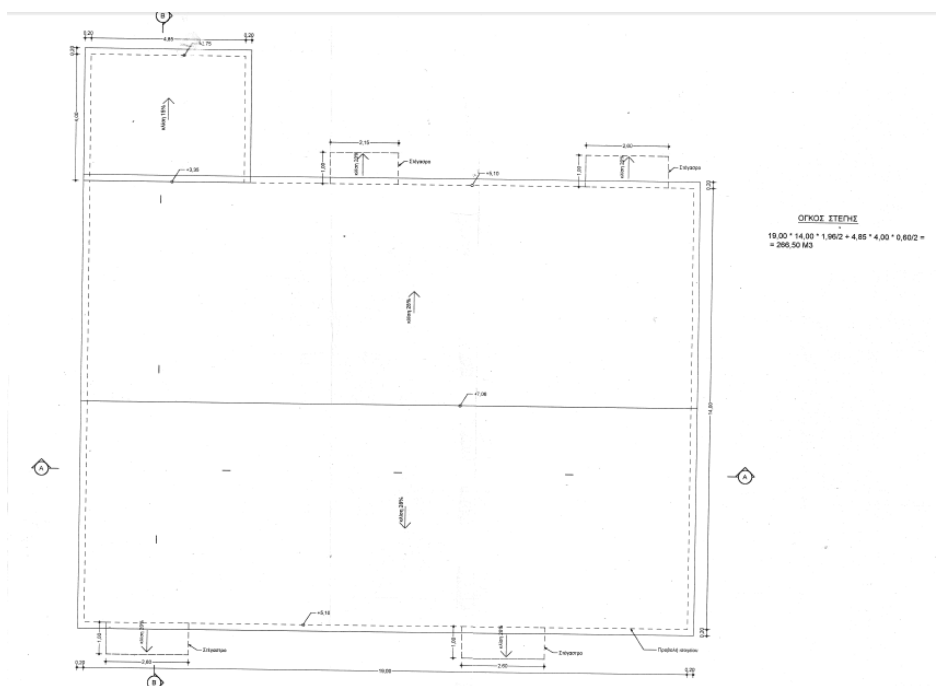


Εικόνα 5.4 : πιστοποιήσεις που ικανοποιεί το πλαίσιο YGE 60 CELL SERIES 2.

5.8.1 Χωροθέτηση ΦΒ Πεδίου

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού πεδίου είναι η στέγη του κτιρίου. Συνεπώς όλοι οι παραπάνω θεωρητικοί υπολογισμοί θα πρέπει να προσαρμοστούν στις πραγματικές διαστάσεις. Όπως φαίνεται στο τεχνικό σχέδιο στην **Εικόνα 5.5**, το πλάτος και το μήκος του κτιρίου είναι 14,4 και 19,4 μέτρα αντίστοιχα, ενώ περιμετρικά η προβολή του ισογείου απέχει 0,20 μέτρα από της άκρη της σκεπής. Επίσης φαίνεται η κλίση της στέγης, η οποία είναι 28%, δηλαδή 25,2° και τέσσερα μικρά στέγαστρα τα οποία θα μελετηθούν και θα αξιοποιηθούν σε περίπτωση που δεν επαρκεί ο χώρος της στέγης. Τέλος 0,00706 μέτρα είναι το πλάτος της οριζόντιας γραμμής όπου συναντώνται οι κεκλιμένες επιφάνειες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ



Εικόνα 5.5 : Σχέδιο κάτοψης κτιρίου, κλίμακα 1/100.

Επισημαίνεται πως ανά δυο πλαίσια αφήνεται διάδρομος για να είναι εφικτή η προσέγγιση των πλαισίων για συντήρηση και τυχόν επισκευή.

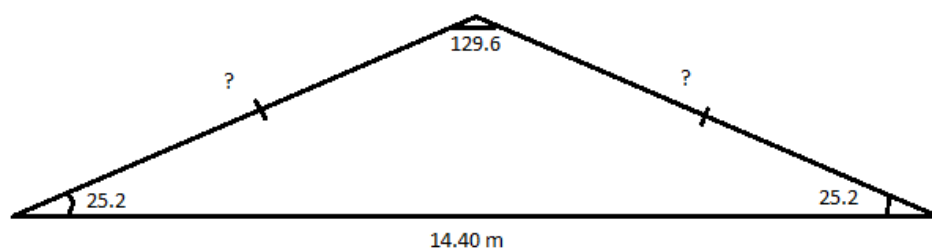
Για να βρεθεί το μήκος της κεκλιμένης επιφάνειας ακολουθούνται τα εξής βήματα :

- Σχεδιασμός της στέγης σε δυο διαστάσεις, δημιουργία τριγώνου.
- Το τρίγωνο που δημιουργείται είναι ισοσκελές.
- Η Γωνία κορυφής είναι $180 - (25,2 + 25,2) = 129,6^\circ$.
- Εφαρμογή του νόμου των συνημιτόνων για εύρεση των ίσων κεκλιμένων πλευρών.

Εάν αντιπροσωπευθούν οι άγνωστες πλευρές με τη μεταβλητή b και εφαρμοστεί ο νόμος στο τρίγωνο της **Εικόνας 5.6** προκύπτει :

$$(14,4)^2 = 2 * x^2 - 2 * x^2 * \cos(129,6^\circ) \rightarrow x = 7,9672 \text{ m}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ



Εικόνα 5.6 : Πλάγια όψη στέγης για υπολογισμό των κεκλιμένων επιφανειών.

Συνολικό μήκος = $(2 \cdot 7,9672) - 0,0706 = 15,8638 \approx 15,864$ m

Συνεπώς οι διαστάσεις της εκμεταλλεύσιμης επιφάνειας είναι : **(19,400x 15,864) m²**.

Οι διαστάσεις των πλαισίων όπως αναγράφονται στο datasheet του ΦΒ πλαισίου που επιλέχθηκε είναι 1640x992 (mm)² και άρα σε μέτρα **(1,640x0,992) m²**.

Συγκεντρωτικά, τα μεγέθη που απαιτούνται για τη σωστή χωροθέτηση των πλαισίων είναι αυτά φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Μήκος στέγης	19,400 m
Πλάτος στέγης	15,864 m
Μήκος πλαισίου	1,640 m
Πλάτος πλαισίου	0,990 m
Πλάτος διαδρόμου	0,400 m

Πίνακας 5.15 : Συγκεντρωτικά τα μεγέθη των πλαισίων και της στέγης.

• **Κάθετη Τοποθέτηση Πλαισίων**

Η καθετότητα ορίζεται ως προς το κεντρικό δοκάρι κατά μήκος της στέγης

Η εξίσωση που πρέπει να ικανοποιείται (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρόμων) είναι : $x \cdot 2 \cdot 0,99 + (x-1) \cdot 0,4 \leq 19,4 \rightarrow x \leq 8,31$ m, όπου x ο αριθμός των επαναλήψεων : πλαίσιο-πλαίσιο-διάδρομος.

Θεωρώντας τη μέγιστη τιμή του (8), προκύπτει ότι χρησιμοποιείται μήκος :

$$8 \cdot 1,98 + 7 \cdot 0,4 = 18,64 \text{ m}$$

Άρα $19,4 - 18,64 = 0,76$ m ανεκμετάλλευτα [Δε χωράει πλαίσιο, ούτε οριζόντια, ούτε κάθετα).

Ο αριθμός των πάνελ που χωράνε κατά πλάτος της στέγης είναι $x_1 \cdot 1,64 \leq 7,9672 \rightarrow x_1 \leq 4,85$.

Επιλέγοντας τον αμέσως μικρότερο ακέραιο αριθμό, αφού πρόκειται για πλαίσια είναι $x_1=4$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

$4 \cdot 1,64 = 6,56 \rightarrow 7,9672 - 6,56 = 1,4$ m ανεκμετάλλευτα [-0,4 m διάδρομος - θα μπορούσαν να μουν, οριζόντια πάνελ. ($19,4/1,64 = 11,8$ περίπου 11) χωρίς κενό ανάμεσά τους ή **8 ακολουθώντας τους παραπάνω διαδρόμους**

Λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή του(4) προκύπτουν

Συνολικά : $8 \cdot 2 \cdot 4 + 8 = 72$ ή $8 \cdot 2 \cdot 4 + 11 = 75$ Πλαίσια Στη Μια Πλευρά Της Στέγης

• Οριζόντια Τοποθέτηση Πλαισίων

Η εξίσωση που πρέπει να ικανοποιείται (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρόμων) είναι

$$x \cdot 2 \cdot 1,64 + (x-1) \cdot 0,4 \leq 19,4 \rightarrow x \leq 5,38 \text{ m.}$$

Θεωρώντας τη μέγιστη τιμή του (5) , προκύπτει ότι χρησιμοποιείται μήκος

$$5 \cdot 3,28 + 4 \cdot 0,4 = 18 \text{ m.}$$

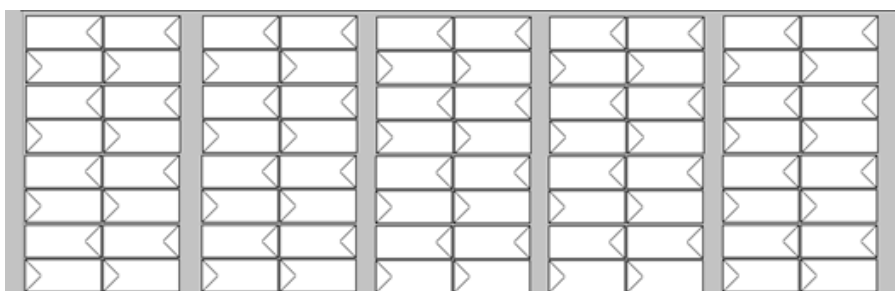
Άρα $19,4 - 18 = 1,4$ m ανεκμετάλλευτα (όπου αφήνοντας ακόμη έναν διάδρομο, (-0,4)) μπορεί να τοποθετηθεί άλλο ένα πλαίσιο κάθετα.

Άρα θα μπορούσε να υπάρχει μια συστοιχία από κάθετα τοποθετημένα πάνελ ($7,9672 / 1,64 = 4,85 \approx 4$ πλαίσια). Ωστόσο προκειμένου να μείνουν διάδρομοι και στα άκρα της στέγης, επιλέγεται να μην τοποθετηθούν τα τέσσερα επιπλέον πλαίσια.

Ο αριθμός των πάνελ που χωράνε κατά πλάτος της στέγης είναι $x_1 \cdot 0,99 \leq 7,9672 \rightarrow x_1 \leq 8,05$ m

Άρα Συνολικά $5 \cdot 2 \cdot 8 = 80$ Πλαίσια Στη Μια Πλευρά Της Στέγης

Συνεπώς, με κριτήριο τη μεγιστοποίηση του αριθμού των πλαισίων που θα εγκατασταθούν, επιλέγεται η **οριζόντια τοποθέτηση** τους. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η τοποθέτηση 160 (80+80) πλαισίων στο σύνολο της στέγης.







Εικόνα 5.7 : Κάτοψη της ανατολικής πλευράς της στέγης.

Αντίστοιχη είναι και η εικόνα της κάτοψης της δυτικής πλευράς της στέγης.

Θεωρητική Απόδοση της ΦΒ Εγκατάστασης

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμη μια συνοπτική παρουσίαση της απόδοσης των πλαισίων της εγκατάστασης, ανάλογα με την κλίση και τον προσανατολισμό τους. Η επίδραση των δυο τελευταίων στην απόδοση φαίνεται στην **Εικόνα 5.8**.

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο	Προσανατολισμός		
	Νότιος	Νοτιοανατολικός Νοτιοδυτικός	Ανατολικός Δυτικός
0° 	90%	90%	90%
15° 	98%	95%	88%
30° 	100%	95%	85%
90° 	60%	60%	50%

Εικόνα 5.8 : Ενδεικτική απόδοση φωτοβολταϊκών ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση.

Το υπό μελέτη κτίριο παρουσιάζει ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό και γωνία στέγης (δηλαδή κλίση πλαισίων) 25,2°, όπως βρέθηκε παραπάνω. Συνεπώς εφαρμόζοντας γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις 15° και στις 30°, προκύπτει η απόδοση στις 25,2° με ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό, 86% .

	Αριθμός πλαισίων	Ονομαστική Ισχύς στοιχείου(W)	Αναμενόμενη ισχύς στοιχείου(W)	Αναμενόμενη Αποδιδόμενη ισχύς εγκατάστασης(W)
Οριζόντια τοποθέτηση	160	270	232,2	37.152

Πίνακα 5.16 : Αποδιδόμενη ισχύς στοιχείου και ολόκληρης της εγκατάστασης για οριζόντια τοποθέτηση των στοιχείων.

5.9 Επιλογή Αναστροφέα

Ο αναστροφέας που επιλέχθηκε είναι ο Sunny Tripower 25000TL της SMA. Θα χρησιμοποιηθούν δυο όμοιοι αναστροφείς. Οι περιορισμοί στη συνδεσμολογία των ΦΒ αλλά και των διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών που πρέπει να τηρούνται από τους αναστροφείς παρουσιάζονται στη συνέχεια της παρούσας παραγράφου.



Εικόνα 5.9 Λογότυπο της SMA SOLAR TECHNOLOGY.

Τα ηλεκτρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του μοντέλου φαίνονται στον Πίνακα 5.17 και Πίνακας 5.18 αντίστοιχα, ενώ ο ίδιος φαίνεται στην Εικόνα 5.10.



Εικόνα 5.10 : Sunny Tripower 25000TL της εταιρείας SMA.

Type	Sunny Tripower 25000TL
Input Data (DC)	
Max. DC (@cosφ=1) power/DC rated power	25.550 W
Max. input voltage	1.000 V
MPP voltage range /rated input voltage	390 to 800 V / 600V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs	2
Strings per MPP input	A:3 ; B:3
Output Data(AC)	
Rated power (at 230 V , 50Hz)	25.000 W
Max. AC apparent power	25.000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

	3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
AC voltage range	160 V to 280 V
AC power frequency / range	50 Hz / 44 Hz....55 Hz 60 Hz / 54 Hz....65 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current / Rated output current	36,2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited
THD	≤3%
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / European efficiency	98,3% / 98,1%
Safety Equipment	
Input-side disconnection device	Integrated
Ground fault monitoring / grid monitoring	Integrated / Integrated
DC surge arrester type II	Optional
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	Integrated / Integrated / Not available
All-pole sensitive residual current monitoring unit	Integrated
Protection class (IEC 62103) / Overvoltage category (IEC 60664-1)	I / III

Πίνακας 5.17 : Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα Sunny Tripower 25000TL της SMA.

Weight	61 kg
Dimensions[WxHxD]	665 x 690 x 265 mm
Operating temperature range	-25 ~ +60 °C
Self -consumption (at night)	1 W
Topology	Transformless
Cooling concept	Opticoal
Noise level	51 dB(A)
Degree of protection (IEC 60529)	IP65
Climatic category (IEC 60721-3-4)	4K4H
Standard warranty	5 years

Πίνακας 5.18 : Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα Sunny Tripower 25000TL της SMA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Σύμφωνα με τον **Πίνακα 5.17**, ο κάθε αναστροφέας έχει δυο εισόδους, η κάθε μια από τις οποίες υποβάλλεται σε ξεχωριστό έλεγχο MPPT. Στην κάθε είσοδο μπορούν να οδηγηθούν 3 συστοιχίες. Ο συνολικός αριθμός πλαισίων που θα τοποθετηθούν στη στέγη, όπως έχει υπολογιστεί στην παράγραφο **5.8**, είναι 160. Τα μισά από αυτά (80 πλαίσια) θα έχουν ανατολικό προσανατολισμό, ενώ τα υπόλοιπα (80 πλαίσια) δυτικό.

[1]Είσοδος Α : 2 συστοιχίες – Κάθε συστοιχία 20 πλαίσια

$$V_{Amax} = 30,7 * 20 = 614 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$I_{Amax} = 2 * 8,8 \text{ A} = 17,60 \text{ A} < 33 \text{ A}$$

$$P_{Amax} = 20 * 2 * 270 = 10,80 \text{ kW} < 25,55 \text{ kW}$$

[2]Είσοδος Β : 2 συστοιχίες –Κάθε συστοιχία 20 πλαίσια

$$V_{Amax} = 30,7 * 20 = 614 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

$$I_{Amax} = 2 * 8,8 = 17,60 \text{ A} < 33 \text{ A}$$

$$P_{Amax} = 2 * 20 * 270 = 10,80 \text{ kW} < 25,55 \text{ Kw}$$

Όλα τα παραπάνω αναφέρονται στη μια πλευρά της στέγης. Για την άλλη πλευρά, τόσο τα δεδομένα όσο και η συνδεσμολογία είναι ακριβώς τα ίδια. Οι αναστροφείς θα τοποθετηθούν στη βόρεια πλευρά του κτιρίου και θα στηριχθούν στα κάθετα πάνελ του κτιρίου σε ύψος 1,5 m από το έδαφος για να εξασφαλίζεται εύκολη πρόσβαση.

5.10 Σύστημα Στήριξης ΦΒ Πλαισίων

Για το σύστημα στήριξης των ΦΒ πλαισίων επιλέχθηκε η εταιρεία Aluminco.



Εικόνα 5.11 : Λογότυπο της εταιρείας Aluminco.

Το σύστημα που επιλέχθηκε (ΕΣΤΙΑ) στοχεύει στη στήριξη ΦΒ πλαισίων σε κεκλιμένες οροφές μεταλλικού τραπεζοειδούς πάνελ, υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη και η οροφή του κτιρίου που μελετάται στην παρούσα εργασία. Η τοποθέτηση του συστήματος ΕΣΤΙΑ γίνεται με τη χρήση προφίλ αλουμινίου σε διπλή συστοιχία που εξασφαλίζει στα πάνελ επαρκή απόσταση από την επιφάνεια του τραπεζοειδούς πάνελ για το σωστό αερισμό τους. Η τοποθέτηση των πλαισίων, σύμφωνα με τον κατασκευαστή του συστήματος μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κάθετη. Στην **Παράγραφο** «Χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων» επιλέχθηκε η οριζόντια, ως προς το κεντρικό δοκάρη της οροφής, τοποθέτηση των πλαισίων. Συνεπώς οι βάσεις θα έχουν τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 5.12**).



Εικόνα 5.12 : Βάσεις στήριξης ΦΒ πλαισίων σε οροφή με τραπεζοειδές πάνελ-Οριζόντια τοποθέτηση των πάνελ.

Η στήριξη γίνεται (κατά κύριο λόγο) στις ήδη υπάρχουσες «σιδερόβεργες» στις οποίες στηρίζονται και τα τραπεζοειδή πάνελ της στέγης. Οι οριζόντιες ως προς την κεντρική, απέχουν 1,33 μέτρα μεταξύ τους.

5.11 Καλωδιώσεις

Σύνδεση με χρήση καλωδίων θα γίνει μεταξύ :

- ΦΒ πλαισίων.
- Φβ πλαισίων – Αναστροφέα.
- Αναστροφέα –Δικτύου.

Οι δυο πρώτες περιπτώσεις αφορούν DC ρεύμα, ενώ το τελευταίο AC.

- **DC Καλωδιώσεις Σύνδεση Πλαισίων και Πλαισίων – Αναστροφέα (Συνεχές Ρεύμα)**

Για τη διασύνδεση των ΦΒ πλαισίων χρησιμοποιούνται ειδικά καλώδια εξωτερικού χώρου, τα οποία πρέπει να είναι ανθεκτικά τόσο σε μηχανικές καταπονήσεις, όσο και σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και στην ηλιακή ακτινοβολία. Το υλικό του αγωγού θα είναι επικασσιτερωμένος ηλεκτρολυτικός χαλκός, με ειδική αγωγιμότητα $\sigma = 56 \cdot 10^6$ [$\Omega \cdot m^{-1}$]. Τα υλικά μόνωσης των αγωγών του καλωδίου συνήθως είναι PE (ethylene propylene) ή PVC και ο μανδύας του καλωδίου είναι EVA (ethylene vinyl acetate) ή Nylon. Ο ρόλος του μανδύα είναι η προστασία της μόνωσης του αγωγού από την UV ακτινοβολία. Η τελευταία προκαλεί τη φωτόλυση του υλικού της κύριας μόνωσης και επιταχύνεται η καταστροφή της (Δέρβος, 2013).

Το κάθε string αποτελείται από 20 πλαίσια σε σειρά. Τα πλαίσια αυτά είναι οι δυο διαδοχικές σειρές πλαισίων, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (**Εικόνα 4.13**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ



Εικόνα 5.13 : κάθε string αποτελείται από 20 πλαίσια σε σειρά.

20 (πλαίσια) * $1,64$ (μήκος πλαισίου) + $8 * 0,4$ (απόσταση διαδρόμων) = 36 μέτρα καλωδίου για σύνδεση των πλαισίων σε μια συστοιχία. Για τα καλώδια διασύνδεσης των πλαισίων προτιμάται το καλώδιο που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 5.14 : Καλώδιο μονού πυρήνα για τη σύνδεση των πλαισίων από την εταιρεία Sciechem.

Το καλώδιο αυτό είναι ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία, στο νερό, στο όζον, στο αλάτι σε ρευστά όπως το λάδι και σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Καίγεται βραδέως σύμφωνα με το IEC 607541-1/EN 50268-2. Μέγιστη θερμοκρασία του αγωγού είναι οι 120°C .

Cross Section (nom.)	Max. diameter of wires in Conductor Design	Conductor (ATC) DC res at 20°C (max.)	Cable Diameter (nom.)	Copper Weight (nom.)	Cable Weight (nom.)	Current Rating Two Cables adjacent on Surfaces
Sq.mm	mm	ohm/km	mm	Kg/Km	Kg/Km	Amps
1.5	0.26	13.7	4.5	13.0	32.0	24
2.5	0.26	8.21	5.0	21.0	43.0	33
4	0.31	5.09	5.5	33.6	60.0	44
6	0.31	3.39	6.5	51.6	87.0	57
10	0.41	1.95	7.8	85.5	134.0	79

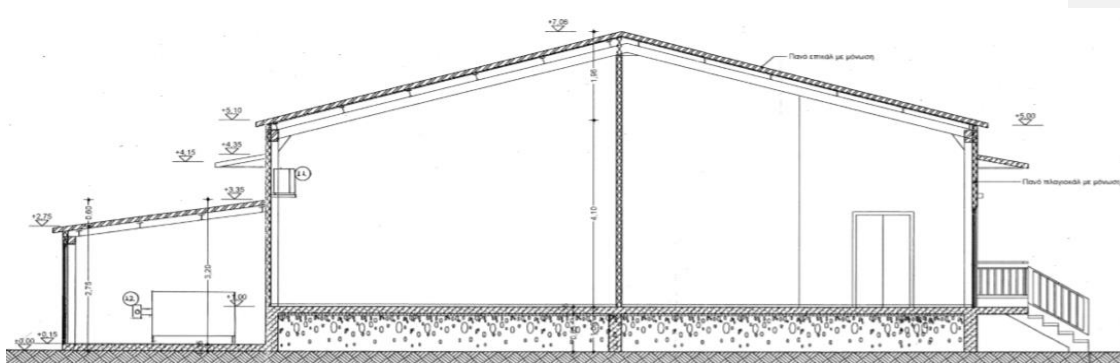
[Πηγή: www.sciechem.com]

Εικόνα 5.15 : Χαρακτηριστικά για διάφορες διατομές καλωδίου.

Διατομή – Πτώση Τάσης

Θεωρώντας ότι ο αναστροφέας απέχει 2 m από το ύψος της στέγης, αφού απέχει $1,5\text{ m}$ από το επίπεδο του εδάφους (οι διαστάσεις φαίνονται στην τομή του κτιρίου που ακολουθεί), το συνολικό μήκος του καλωδίου που απαιτείται για κάθε συστοιχία είναι περίπου **38 m** .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ



Εικόνα 5.16 : Σχέδιο τομής του υπό εξέταση κτιρίου σε κλίμακα 1/50.

Για να βρεθεί η διατομή του καλωδίου στην dc μεριά του συστήματος, εφαρμόζεται η σχέση:

$$S = (2 * L * I) 10^6 / \sigma * \Delta V \quad (\text{Σχέση 5.3})$$

Ένας βασικός περιορισμός που πρέπει να ικανοποιείται είναι πως η πτώση τάσης σε αυτό το τμήμα δεν πρέπει να ξεπερνάει το 3% της V_{max} (της κάθε συστοιχίας), δηλαδή στην περίπτωση αυτή τα 18,42 V (0,03*614). Λαμβάνοντας ως μέγιστη ένταση ρεύματος λόγω θερμοκρασιακού συντελεστή προσαύξησης(1,25) $I_{\text{συστοιχίας}} * 1,25 = 8,8 * 1,25 = 11$ A, η διατομή προκύπτει :

$$\rightarrow S = (38)m * 2 * 11A / 56 * 10^6 \Omega^{-1} m^{-1} * (0,03 * 614)V \approx 0,81 mm^2$$

Σημειώνεται, ωστόσο, πως δε θα πρέπει σε κανένα σημείο της εγκατάστασης DC (ακόμα και στο εσωτερικό των κιβωτίων συνδεσμολογίας- υποπίνακες DC) να χρησιμοποιούνται καλώδια μικρότερης διατομής από αυτή των εργοστασιακά ενσωματωμένων αγωγών σύνδεσης των ΦΒ πλαισίων (Δέρβος Κ., σελ 292). Από τον πίνακα των κατασκευαστικών υλικών των πλαισίων που επιλέχθηκαν διαπιστώνεται ότι οι αγωγοί αυτοί έχουν μήκος 1 m και διατομή $4 mm^2$. Επίσης, η μεγαλύτερη διατομή καλωδίου επιτυγχάνει μείωση των απωλειών ισχύος και της πτώσης τάσης αλλά αύξηση του κόστους. Επειδή οι συστοιχίες αποτελούνται από μεγάλο αριθμό πλαισίων (20), επιλέγεται διατομή αγωγών $6 mm^2$ προκειμένου να αποφεύγεται η υπερθέρμανση των αγωγών κατά τη λειτουργία του κάθε string (Δέρβος Κ. σελ.329).

Έλεγχος πτώσης τάσης για την επιλεγόμενη διατομή :

$\Delta V = 38 * 2 * 11 * 10^6 / 56 * 10^6 * 6 \approx 2,49$ V, το οποίο εκφρασμένο σε ποσοστό επί της μέγιστης τάσης προκύπτει 0,41%. Ισχύει $0,41\% < 3\%$, γεγονός που εξασφαλίζει την τήρηση του περιορισμού της πτώσης τάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

• AC Καλωδιώσεις Αναστροφείς – Υποπίνακας (Εναλλασσόμενο Ρεύμα)

[3] ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ - ΥΠΟΠΙΝΑΚΑΣ

Για να βρεθεί η διατομή των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν , εφαρμόζεται η **Σχέση 5.4** η οποία αφορά τριφασικό αναστροφέα.

$$S = (*L*I)*\cos\phi *10^6 / \sigma* \Delta V \quad (\text{Σχέση 5.4})$$

Ο υποπίνακας χρησιμοποιείται πριν τον κεντρικό πίνακα προκειμένου να συνδεθούν και οι δύο αναστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν. Θα τοποθετηθεί σε εξωτερικό χώρο, στην ανατολική πλευρά του κτιρίου, δίπλα από το σκέπαστρο του λέβητα.

Δεδομένα:

- ✓ Μήκος λέβητα 4,85 μέτρα.
- ✓ Ύψος λέβητα 1,68 m.
- ✓ Πρώτος αναστροφέας : μήκος καλωδίου = 5 μέτρα.
- ✓ Δεύτερος αναστροφέας : μήκος καλωδίου = 12 μέτρα.

Για μήκος 12 μέτρα (δυσμενέστερη περίπτωση) το μήκος του αγωγού για μέγιστη πτώση τάσης 1%

και στην έξοδο του αναστροφέα (από πίνακα) Μέγιστο ρεύμα= 33A και V =230V και $\cos\phi=1$.

$$I_{\max}=33*1,25 = 41,25A$$

$$\Delta V = 0,01*230 = 2,3V$$

$$(2) \rightarrow S \approx 6,66 \text{ mm}^2$$

Θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο με διατομή την αμέσως μεγαλύτερη διαθέσιμη στην αγορά, δηλαδή 10 mm².

καλώδιο H07RN-F.



[Πηγή: www.parpanelas.gr]

Εικόνα 5.17 : Καλώδιο H07RN-F με εξωτερικό μανδύα από νεοπρένιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

Τα καλώδια σύμφωνα με τον κατασκευαστή συνιστώνται βιομηχανικές και αγροτικές εφαρμογές, λόγω αντοχής τους σε υψηλές μηχανικές καταπονήσεις και σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΔΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
<p>Αγωγοί : πολύκλωνοι από χάλκινα σύρματα, σύμφωνα με DIN VDE 0295 c1.5 και HD 383</p> <p>Μόνωση αγωγών : Από λάστιχο E14, με πάχος μόνωσης κατά DIN VDE 0282 μέρος 4.</p> <p>Κωδικοποίηση : μέχρι 5 αγωγούς χρωματικός κώδικας σύμφωνα με DIN VDE 0293</p> <p>Εξωτερικός μανδύας : Από νεοπρένιο, χρώματος μαύρου, πάχος τοιχώματος κατά DIN VDE 0282 μέρος 4.</p>	<p>Προδιαγραφές : DIN VDE 0282 μέρος 4 κατά HD 22.4 S3, IEC 60245-4.</p> <p>Περιοχή θερμοκρασίας : από -30°C έως +60°C.</p> <p>Τάση λειτουργίας : U₀ /U 450/750 V</p> <p>Ελάχιστη ακτίνα κάμψης : 7,5 x Ø καλωδίου.</p> <p>Βάρος εφελευσμού : 15N/mm² μέγιστο.</p>

Πίνακας 5.19: Χαρακτηριστικά Καλωδίου H07RN-F.

Η εξωτερική διάμετρος, το βάρος του χαλκού και το βάρος του καλωδίου φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.

ΑΓΩΓΟΙ x ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ mm ²	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΑ		
	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ Ø mm	ΒΑΡΟΣ ΧΑΛΚΟΥ Kg/Km	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ Kg/Km
1x185	27.6 - 34.4	1776.0	2160
1x240	30.6 - 38.3	2304.0	2730
1x300	33.5 - 41.9	2880.0	3480
1x400	37.4 - 46.8	3840.0	4510
1x500	41.3 - 52.0	4800.0	5700
2x1	7.7 - 10.0	19.0	99
2x1.5	8.5 - 11.0	29.0	111
2x2.5	10.2 - 13.1	48.0	161
2x4	11.8 - 15.1	77.0	238
➔ 2x6	13.1 - 16.8	115.0	279
2x10	17.7 - 22.6	192.0	538
2x16	20.2 - 25.7	307.0	744

Εικόνα 5.18: χαρακτηριστικά καλωδίου που επιλέχθηκε.

Έλεγχος πτώσης τάσης για την επιλεγόμενη διατομή:

Θεωρώντας τη διατομή των 10 mm², η πτώση τάσης προκύπτει από τη **Σχέση 5.4** :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

$$\rightarrow \Delta V = 1,531V$$

Η πτώση τάσης αυτή εκφρασμένη σε ποσοστό επί της μέγιστης τάσης, δηλαδή τα 230 V είναι 0,67% (<1%), αποδεκτή τιμή για αυτή την περιοχή του συστήματος.

[4] Υποπίνακας-κεντρικός πινάκας

Ο κεντρικός πίνακας βρίσκεται εντός του κτιρίου σε απόσταση 2 m από το τον υποπίνακα. Οι περιορισμοί είναι όπως και στην περίπτωση των αναστροφένων με τον υποπίνακα και χρησιμοποιούνται οι ίδιοι αγωγοί.

[5] Κεντρικός πινάκας – Σημείο σύνδεσης με τη Δ.Ε.Η (μετρητής)

Για τη μεταφορά της ισχύος από τον κεντρικό πίνακα στο σημείο σύνδεσης με τη ΔΕΗ επιλέγεται το καλώδιο που φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί



[Πηγή : www.parpanelas.gr]

Εικόνα 5.19 : Καλώδιο XLPE PVC/SWA/PVC 0,6/1kV σπλισμένο με γαλβανισμένα ατσάλινα σύρματα.

Τα χαρακτηριστικά του καλωδίου που επιλέχτηκε φαίνονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 5.20).

ΔΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
Αγωγοί : πολύκλωνοι από σύρματα καθαρού χαλκού	Τάση λειτουργίας : U_0/U 0,6/1 Kv
Μόνωση αγωγών : από XLPE	Περιοχή θερμοκρασίας : από -15°C έως +90 °C
Κωδικοποίηση : χρωματιστοί αγωγοί	Ακτίνα κάμψης : 6 x \emptyset καλωδίου
2 αγωγοί καφέ, μπλε	$\geq 2 \times 25 \text{mm}^2$ 8 x \emptyset καλωδίου
3 αγωγοί καφέ, μαύρο, γκρι	
4 αγωγοί καφέ, μαύρο γκρι, μπλε	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

<p>Εσωτερική μόνωση : από PVC, χρώματος μαύρο</p> <p>Οπλισμός : από γαλβανισμένα ατσάλινα σύρματα</p> <p>Εξωτερικός μανδύας : από PVC, χρώματος μαύρο</p>	<p>Κατά την εγκατάσταση η θερμοκρασία δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 0 °C</p>
--	--

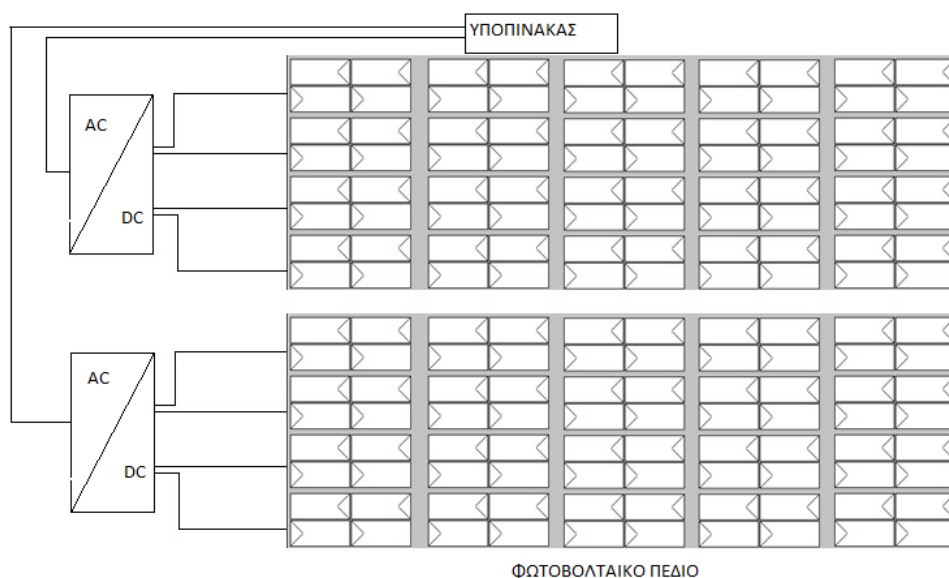
Πίνακας 5.20 : Χαρακτηριστικά καλωδίου XLPE/PVC/SWA/PVC που επιλέχτηκε.

ΑΓΩΓΟΙ x ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ mm ²	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΑ		
	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ Ø mm	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ Kg/Km	ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΤΥΠ/ΠΤΗ ΣΕ mm
12x4	25	1400	25
19x4	28.1	1852	32
27x4	35.2	2630	40
2x6	15.4	498	20S
3x6	17.4	639	20
4x6	18.3	795	20
5x6	20.5	970	25
7x6	21.9	1180	25
2x10	17.9	764	20
➔ 3x10	18.9	908	25
4x10	20.3	1064	25
5x10	22	1150	25
7x10	25	1560	25

Εικόνα 5.20 : Μεγέθη καλωδίου XLPE/PVC/SWA/PVC που επιλέχτηκε.

Μια προσεγγιστική εικόνα της τοπολογίας του ΦΒ συστήματος φαίνεται στη συνέχεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΛΕΤΗ ΦΒ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ ΤΥΡΟΚΟΜΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ



Εικόνα 5.21 : Προσεγγιστική τοπολογία του ΦΒ συστήματος της παρούσας μελέτης.

Σημειώνεται πως μέρος του συστήματος αυτού αποτελούν και διάφορα μέσα προστασίας της εγκατάστασης, όπως για παράδειγμα αντικεραυνική προστασία, ασφάλειες και γειώσεις. Τα μέσα αυτά αποτελούν αντικείμενο μελέτης του επόμενου κεφαλαίου.

Βιβλιογραφία

- [1] Δέρβος Θ. Κωνσταντίνος, **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ : από τη Θεωρία στην Πράξη**, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π, 2013.
- [2] Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών, **Προμήθεια εγκατάσταση και θέση σε λειτουργία 3 Φ/Β διασυνδεδεμένων συστημάτων σε κτίρια και εγκαταστάσεις του δήμου Αλεξανδρούπολης**, Αριθμός μελέτης 84/2012, Οκτώβριος 2012.
- [3] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, **Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών**, Α' έκδοση, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010, Ιούλιος 2010.

Διαδικτυακοί ιστότοποι

- [4] <http://www.meteo.gr>
- [5] www.sciechem.com
- [6] <http://www.parpanelas.gr>
- [7] <http://www.solar-wind.co.uk/cable-sizing-DC-cables.html>
- [8] <http://www.noratex.gr/newpdfgr/SolarCatalogue2013>
- [9] Googlemaps

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά:
Όχι Έντονα

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά:
Όχι Έντονα

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά:
Όχι Έντονα

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά:
Όχι Έντονα

Μορφοποιήθηκε: Γραμματοσειρά:
Όχι Έντονα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Οικονομική Αξιολόγηση
Επένδυσης

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που μελετήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η πληρότητα αυτής της οικονομικής ανάλυσης, ελέγχεται η ικανοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας. Κρίνεται σκόπιμο στο σημείο αυτό, να τονιστεί το γεγονός ότι η αξιολόγηση επένδυσης ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ γίνεται για χρονικό διάστημα ίσο με τη διάρκεια της σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ίσο με τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, δηλαδή 25 έτη.

Το αρχικό κόστος για τη εγκατάσταση της ΦΒ μονάδας που μελετάται στην παρούσα εργασία συνυπολογίζεται από το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, το κόστος εγκατάστασης και τα κόστη έκδοσης των αδειών. Η συντήρηση της εγκατάστασης και η παρακολούθηση αυτής διαμορφώνουν τα σταθερά έξοδα της μονάδας για τα επόμενα 25 χρόνια.

6.2 Αρχικό Κόστος Επένδυσης

Τα στοιχεία που συμπεριλαμβάνονται στον εξοπλισμό, το πλήθος αυτών που χρησιμοποιήθηκαν και οι τιμές τους παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.1**. Επισημαίνεται πως οι τιμές των παρακάτω προϊόντων αποτελούν δείγμα των τιμών που επικρατούν στην τωρινή αγορά. Στην τιμή πρέπει να συμπεριληφθεί και ο ΦΠΑ ο οποίος είναι της τάξεως του 23 %.

- 1) **Φωτοβολταϊκά Πλαίσια** : Μια αντιπροσωπευτική τιμή για τα πλαίσια της εταιρείας Yingli τύπου YGE 60 CELL SERIES 2 είναι τα 0,79 €/W. Η ισχύς του κάθε πάνελ ανέρχεται στα 270 W. Συνεπώς το κάθε πλαίσιο θα στοιχίζει $0,79 \times 270 = 213,3 \text{ € ανά πλαίσιο}$.
Σε κάθε παλέτα των 25 τεμαχίων απαιτούνται επιπλέον 270 € για τη μεταφορά, δηλαδή $6 (\text{€/W}) \times 270 (\text{W}) = 1.620 \text{ € για μεταφορικά}$.
- 2) **Τριφασικός Αναστροφέας** : Υπενθυμίζεται πως ο αναστροφέας που επιλέχθηκε είναι ο Sunny Tripower 25000TL της SMA. Η τιμή του αναστροφέα αυτού ανέρχεται στα 2.900 €.
Συνεπώς : $2 \times 2.900 = 5.800 \text{ €}$.
- 3) **Βάσεις Στήριξης** : Η τιμή των βάσεων στήριξης (αλουμινίου και χάλυβα) είναι 0,20 €/W.
Η παρούσα εγκατάσταση είναι των 43.200 W. Συνεπώς το συνολικό κόστος των βάσεων στήριξης ανέρχεται στα $0,20(\text{€/W}) \times 43.200 (\text{W}) = 8.640 \text{ €}$.
- 4) **Καλώδια**: Τα καλώδια που προτιμήθηκαν στην πλευρά συνεχούς ρεύματος παρουσιάζουν τιμή 2,6 €/m ενώ η αντίστοιχη τιμή των καλωδίων στην πλευρά εναλλασσομένου ρεύματος είναι 1,28 €/m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για το μήκος του καλωδίου που απαιτείται στην πρώτη περίπτωση είναι :

$$36(\text{m}/\text{συστοιχία}) * 16 (\text{συστοιχίες}) * 2,6 (\text{€/m}) \approx \mathbf{1.498 \text{ €}}$$

Ενώ στη δεύτερη υπολογίζεται ως :

$$20\text{m} * 1,28 \text{ €/m} = \mathbf{25,6 \text{ €}}$$

- 5) **Επιπλέον εξαρτήματα** : Στα εξαρτήματα αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα βύσματα και υλικά για τη στήριξη των καλωδίων. Το κόστος των υλικών αυτών ανέρχεται στα **700 €**.
- 6) **Αδειοδοτήσεις - Μελέτη – Έξοδα σύνδεσης - Εγκατάσταση** : Προσεγγιστικά το συγκεκριμένο κόστος υπολογίζεται στα **16.000 €**.

Προϊόν - Υπηρεσία	Τεμάχια/Πλήθος	Κόστος(€) / Τεμάχιο	Συνολικό Κόστος(€)
Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο	160	213,3	34.128
Μεταφορικά πλαίσια	---	---	1.620
Αναστροφείς	2	2.900	5.800
Βάση στήριξης	---	---	8.640
Καλωδιώσεις dc	---	---	1.498
Καλωδιώσεις ac	---	---	25,6
Μέσα προστασίας (ασφάλειες, μικροαυτόματοι και άλλα)	---	---	6.000
Αδειοδοτήσεις- Μελέτη – Έξοδα σύνδεσης- Εγκατάσταση	---	---	16.000
Επιπλέον Εξαρτήματα	---	---	700
Αρχικό Κόστος επένδυσης			74.412 €

Πίνακας 6.1 : Αρχικό Κόστος επένδυσης.

6.3 Έξοδα σε Βάθος Χρόνου

Σε βάθος χρόνου, στο αρχικό ποσό επένδυσης προστίθενται τα κόστη από την αντικατάσταση των αναστροφών, τα έξοδα συντήρησης, τα λειτουργικά έξοδα και πιθανόν έξοδα ασφάλισης της Φβ εγκατάστασης.

- **Αναστροφείς** : Σημειώνεται πως λαμβάνεται ως αναμενόμενη μέση διάρκεια ζωής του αναστροφέα τα 10 έτη (εγγύηση κατασκευαστή 10 έτη). Συνεπώς θα χρειαστεί αντικατάσταση αυτού τουλάχιστον μια φορά στη διάρκεια λειτουργίας του έργου. Συνεπώς, θεωρώντας πως η αντικατάσταση θα πραγματοποιηθεί το 12^ο χρόνο, στα έξοδα του χρόνου αυτού προστίθενται 5.800€ (2 αναστροφείς * 2.900€ ο καθένας).

- **Συντήρηση** : Η συντήρηση κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ελέγχεται η ορθή λειτουργία του συστήματος και να επιτυγχάνεται ο μέγιστος δυνατός βαθμός απόδοσης της εγκατάστασης. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα **500 €** ετησίως.
- **Λειτουργικά Έξοδα** : Τα έξοδα αυτά προσαυξάνονται κάθε χρόνο λόγω γήρανσης του εξοπλισμού. Λαμβάνεται μια μέση τιμή για όλα τα έτη ίση με **400 €**.
- **Ασφάλεια** : Αντιπροσωπευτικό ποσό για την ασφάλιση του ΦΒ έργου αποτελούν τα **500 €** ετησίως.

6.4 Σύνοψη Οικονομικής Επένδυσης

1^η Παραδοχή: Θεωρείται πως η σύναψη συμβολαίου πραγματοποιείται τον Αύγουστο του 2016, η τιμή της παραγόμενης ηλιακής kWh για Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μικρότερες των 100 kW_p προκύπτει από τον **Πίνακα 1.5** και είναι 0,110 €/ kWh.

2^η Παραδοχή : Θεωρείται σταθερή η παραγόμενη ενέργεια κάθε έτους παρότι η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί αστάθμητο παράγοντα.

3^η Παραδοχή : Η απόδοση του συστήματος δεν παραμένει σταθερή με το πέρασ των χρόνων. Ωστόσο θεωρήθηκε μια σταθερή μέση τιμή αυτής για όλα τα έτη, όπως υπολογίστηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο, η οποία είναι ίση με 0,76(σ_{εγκ}).

4^η Παραδοχή : Θεωρείται γραμμική μέθοδος απόσβεσης.

5^η Παραδοχή : Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το ΦΒ σύστημα χρησιμοποιήθηκε το διαδικτυακό λογισμικό PVGIS(Photovoltaic Geographical Information System). Εισάγοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες της εγκατάστασης και διάφορες παραμέτρους του συστήματος (την κλίση των συλλεκτών, τη μέγιστη ισχύ τους, τον προσανατολισμό τους και άλλα) προκύπτουν οι ημερήσια, μηνιαία και η ετήσια προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας. Η χρήση του λογισμικού αποσκοπεί στον υπολογισμό όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικών τιμών. Το ποσοστό της μέσης τετραγωνικής ρίζας του σφάλματος που προκύπτει από τη σύγκριση των τιμών της οριζόντιας ακτινοβολίας που προκύπτουν από τη βάση δεδομένων του PVGIS και πραγματικών δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς είναι της τάξης του 3,7%. Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης παραγωγής συνυπολογίζονται τόσο η άμεση όσο και η διάχυτη και η ανακλώμενη ακτινοβολία. Τα αποτελέσματα του PVGIS φαίνονται στις εικόνες που ακολουθούν (**Εικόνα 6.1** και **Εικόνα 6.2**).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Έτος T	Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας(kWh)	Κόστος Επένδυσης (€)	Τιμή Πώλησης (€/kWh)	Ετήσια Ακαθάριστα Έσοδα (€)	Λειτουργικές Δαπάνες- Ασφάλεια- Συντήρηση (€)	Ετήσιο Κέρδος (€)	Συνολικό Κέρδος σε Βάθος χρόνου (€)
0	---	74.412	---	---	---	---	---
1 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-70.741
2 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-67.070
3 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-63.399
4 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-59.728
5 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-56.057
6 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-52.386
7 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-48.715
8 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-45.044
9 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-41.373
10 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-37.702
11 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-34.031
12 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	7.200	-2.129	-36.160
13 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-32.489
14 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-28.818
15 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-25.147
16 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-21.476
17 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-17.805
18 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-14.134
19 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-10.463
20 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-6.729
21 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	-3.121
22 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	550
23 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	4.221
24 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	7.892
25 ^ο	46.100	---	0,110	5.071	1.400	3.671	11.563

Πίνακας 6.2 : Οικονομικά δεδομένα της ΦΒ εγκατάστασης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Εικόνα 6.1 : Αρχική σελίδα του PVGIS

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 39°19'47" North, 21°27'36" East, Elevation: 1079 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 21.6 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 11.6% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.2%
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
Combined PV system losses: 26.4%

Fixed system: inclination=25 deg., orientation=-90 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	31.00	961	1.80	55.8
Feb	38.90	1090	2.27	63.5
Mar	64.70	2010	3.89	121
Apr	76.20	2290	4.72	141
May	90.60	2810	5.81	180
Jun	104.00	3110	6.79	204
Jul	107.00	3310	7.08	219
Aug	97.00	3010	6.40	198
Sep	73.50	2200	4.66	140
Oct	53.50	1660	3.28	102
Nov	35.50	1060	2.13	63.8
Dec	25.90	804	1.53	47.3
Year	66.60	2030	4.21	128
Total for year		24300		1540

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Εικόνα 6.2 : Αποτελέσματα από το PVGIS για την ανατολική πλευρά της στέγης.

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 39°19'47" North, 21°27'36" East, Elevation: 1079 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 21.6 kW (crystalline silicon)
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 13.0% (using local ambient temperature)
Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.4%
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
Combined PV system losses: 27.7%

Fixed system: inclination=25 deg., orientation=90 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	24.10	746	1.45	45.0
Feb	33.00	925	1.98	55.4
Mar	56.60	1750	3.47	107
Apr	70.60	2120	4.42	133
May	84.50	2620	5.48	170
Jun	98.00	2940	6.50	195
Jul	99.80	3090	6.70	208
Aug	88.70	2750	5.94	184
Sep	65.70	1970	4.23	127
Oct	46.10	1430	2.88	89.4
Nov	28.80	864	1.78	53.4
Dec	19.70	611	1.22	37.7
Year	59.80	1820	3.85	117
Total for year		21800		1400

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Εικόνα 6.3 : Αποτελέσματα από το PVGIS για τη δυτική πλευρά της στέγης.

6.5 Κριτήριο Καθαρής Παρούσας Αξίας (Net Present Value - NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης εκφράζει το ολικό καθαρό όφελος που επιφέρει η επένδυση και προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης, μετά από N περιόδους, ανηγμένη στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής λειτουργίας. Το μέγεθος αυτό εκφράζεται ως εξής :

Όπου K_0 = το κόστος της επένδυσης

KTP_t = η Καθαρή Ταμειακή Ροή του έτους t,

k = η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται (επιτόκιο αναγωγής)

N = η διάρκεια της επένδυσης σε έτη (25 έτη).

Το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας αποτελεί το βασικό κριτήριο αξιολόγησης επενδύσεων καθώς λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος μέσω του επιτοκίου αναγωγής και οδηγεί σε μια και μοναδική τιμή, αποφεύγοντας κάθε ασάφεια στη λήψη της απόφασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Για να εγκριθεί η επένδυση θα πρέπει να προκύψει θετική και όσο το δυνατόν μεγαλύτερη καθαρή παρούσα αξία.

Με επιτόκιο αναγωγής ίσο με 4%, η Καθαρή Παρούσα Αξία προκύπτει :

$NPV \approx 53.726 > 0$, άρα η επένδυση θεωρείται αποδεκτή και το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι μεγαλύτερο από το ευκαιριακό κόστος του κεφαλαίου.

Απόσβεση της επένδυσης θα πραγματοποιηθεί την 22^η χρονιά λειτουργίας της εγκατάστασης, όπως προκύπτει από τα δεδομένα του **Πίνακα 6.2**, καθώς το κέρδος σε βάθος χρόνου αποκτά θετικές τιμές από το έτος αυτό και μετά. Τα 22 αυτά έτη αποτελούν την *περίοδο αποπληρωμής*, δηλαδή τη χρονική διάρκεια εντός της οποίας αποσβένεται το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το ευκαιριακό κόστος του χρήματος.

Βιβλιογραφία

- [1] Αναγνωστόπουλος Κ. Π., **Τεχνολογική Οικονομική**, Εταιρία Αξιοποίησης και Διαχείρισης Περιουσίας Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης, Ξάνθη 2004.
- [2] Παπαδόπουλος Α. Μ. ,**Σημειώσεις Παραδόσεως στο Μάθημα 'Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων'**, Θεσσαλονίκη 2002.

Διαδικτυακοί ιστότοποι

- [3] www.kafkas.gr
- [4] <http://www.helapco.gr>
- [5] www.mixanikos.gr
- [6] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη σχεδίαση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε τυροκομική μονάδα μεσαίου μεγέθους, καθώς και στη μελέτη βιωσιμότητας της. Ο σκοπός αυτός επετεύχθει, ύστερα από την πραγματοποίηση εκτενούς διαφτασιολόγησης της εγκατάστασης, προσδιορισμού σε ικανοποιητικό βαθμό των απαιτούμενων υλικών και εξαρτημάτων και με εκπλήρωση του κριτηρίου της καθαρής παρούσας αξίας σύμφωνα με το οποίο η επένδυση κρίνεται βιώσιμη.

Υπάρχουν βασικοί περιορισμοί που επηρεάζουν δυσμενώς την απόδοση του συστήματος, όπως η προκαθορισμένη κλίση των πλαισίων η οποία ταυτίζεται με την κλίση της οροφής και ο ανατολικός και δυτικός προσανατολισμός της στέγης, άρα και των πλαισίων (και όχι ο νότιος, δηλαδή ο βέλτιστος δυνατός). Η μειωμένη απόδοση επηρεάζει ανεπιθύμητα με τη σειρά της το συνολικό κέρδος, καθώς η πρώτη σχετίζεται άμεσα με την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά ενέργεια.

Όπως προκύπτει από την οικονομική μελέτη της υπό εξέταση εγκατάστασης η επένδυση αυτή θα επιφέρει καθαρά κέρδη τα τέσσερα τελευταία έτη λειτουργίας του συστήματος, θεωρώντας πως τα 25 έτη αποτελούν τη 'διάρκεια ζωής' του συστήματος. Τα αποτελέσματα της επένδυσης αυτής, συνεπώς, εμφανίζονται σε βάθος χρόνου και όχι άμεσα. Η περίοδος αποπληρωμής αποτελεί βασικό κριτήριο για την επιλογή ή μη της εκάστοτε επένδυσης και επαφίεται στην κρίση του επενδυτή αν τα έτη είναι αρκετά ώστε να προβεί ή όχι στην επένδυση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης η περίοδος απόσβεσης του αρχικού υψηλού κεφαλαίου αγγίζει τα 22 έτη.

Μια εξαιρετικά σημαντική παράμετρος που αντισταθμίζει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης και την περίοδο αποπληρωμής είναι το περιβαλλοντικό όφελος. Όπως έχει αναλυθεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν μονόδρομο στην προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονο σεβασμό προς το περιβάλλον. Σε αυτή προστίθεται και το γεγονός ότι θα υπάρξει συμψηφισμός και το ποσό που καλείται να καταβάλει ο ιδιοκτήτης της μονάδας στον πάροχο, για την καταναλισκόμενη ενέργεια, θα μειωθεί αισθητά.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η συνέχιση της μελέτης αφορά κυρίως τόσο το συνδυασμό της ΦΒ εγκατάστασης με άλλες δράσεις ώστε να επιτευχθεί μεγιστοποίηση του κέρδους, όσο η εύρεση οικονομικότερων λύσεων και θα μπορούσε να συνοψισθεί στα ακόλουθα σημεία :

- Μελέτη επέκτασης του ΦΒ συστήματος και σε επιλεγμένα σημεία στον προαύλιο χώρο του τυροκομείου προκειμένου να αυξηθεί το ποσό της παραγόμενης ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν και συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας και πιθανή ανεξαρτητοποίηση από το δίκτυο.
- Χρήση μέσων παρακολούθησης της λειτουργίας του ΦΒ συστήματος προκειμένου να μεγιστοποιείται η απόδοση του.
- Ανύψωση των πλαισίων για βέλτιστο προσανατολισμό με χρήση επιπλέον βάσεων στήριξης.
- Έλεγχος μεθόδων χρηματοδότησης για την εύρεση του αρχικού κεφαλαίου (για παράδειγμα λήψη δανείου) και επιλογής της πιο συμφέρουσας.
- Συνδυασμός της εγκατάστασης αυτής με άλλες δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας, όπως είναι η εγκατάσταση αυτόματου φωτισμού με χρονοδιακόπτες και ανιχνευτές κίνησης.
- Χρήση και καταλληλότητα εγκατάστασης κάποιας άλλης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας σε τυροκομικές μονάδες μεγαλύτερου μεγέθους (εκμετάλλευση των λημμάτων-βιομάζα).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ