

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Μελέτη Φωτοβολταϊκού Πάρκου:

Διαδικασία Αδειοδότησης, Σύγκριση Τεχνολογιών-Αποδόσεων

υπό

Χατζηχρήστο Κωνσταντίνο

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2011



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 9656/1
Ημερ. Εισ.: 18-07-2011
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2011
ΧΑΤ

© 2011 Χατζηχρήστος Κωνσταντίνος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Βλαχογιάννης Μιχαήλ,
(Επιβλέπων) Διδάσκων Π.Δ 407/80, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος,
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Πελεκάσης Νίκος,
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Διδάσκων Π.Δ 407/80 κ. Βλαχογιάννη Μιχαήλ, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Επίσης ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Ανδρίτσο Νικόλαο και Πελεκάση Νίκο για την προσεκτική ανάγνωση της.

Χατζηχρήστος Κωνσταντίνος

Μελέτη Φωτοβολταϊκού Πάρκου:

Διαδικασία Αδειοδότησης, Σύγκριση Τεχνολογιών-Αποδόσεων

Χατζηχρήστος Κωνσταντίνος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2011

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Βλαχογιάννης Μιχαήλ, Διδάσκων Π.Δ 407/80

Σύντομη Περίληψη

Στις μέρες μας, όροι όπως αειφόρος ανάπτυξη, εξοικονόμηση ενέργειας και οικολογική συνείδηση έχουν μπει για τα καλά στις ζωές των περισσότερων ανθρώπων. Η Ε.Ε μέσα από μια σειρά μέτρων καλείται να χαράξει μια νέα πορεία στον τομέα της ενέργειας προς όφελος της, αλλά ταυτόχρονα και προς όφελος του περιβάλλοντος. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κομμάτι της συντονισμένης αυτής προσπάθειας, αλλά δεν αποτελούν φυσικά πανάκεια, αφού η ενεργειακή ανεξαρτησία απαιτεί πληθώρα λύσεων. Η Ελλάδα από την πλευρά της, μέσα από μια σειρά νέων νόμων και υπουργικών αποφάσεων, καλείται να πάρει μέρος στην αγορά της «πράσινης» ενέργειας, έστω και αργοπορημένα. Μέσω της έμμεσης επιδότησης (feed in tariff), προσπαθεί να δημιουργήσει συνθήκες που θα συνδράμουν στην ενεργειακή της ανεξαρτησία-ασφάλεια, αποδεσμεύοντας σταδιακά τις ρυπογόνες λιγνιτικές μονάδες και κάνοντας στροφή στους ανανεώσιμους πόρους.

Στο 1^ο κεφάλαιο εξετάζεται το σημερινό νομικό πλαίσιο που σχετίζεται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Αναλύεται η αδειοδοτική διαδικασία και τα επιμέρους χαρακτηριστικά της, καθώς παρουσιάζονται και οι δυνατότητες εφαρμογής τους σε κτίρια και γήπεδα από τη νομοθετική τους σκοπιά. Στη συνέχεια, το 2^ο κεφάλαιο επικεντρώνεται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Αρχικά, αναφέρονται οι βασικές κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων και κάποια βασικά τους στοιχεία, ενώ ακολουθεί η αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού κελιού. Εφόσον η λειτουργία των Φ/Β συστημάτων βασίζεται στην ηλιακή ακτινοβολία, στο 3^ο κεφάλαιο εξετάζεται η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο και τα χαρακτηριστικά της, ενώ γίνονται αναφορές για την ηλιακή ακτινοβολία και τις συνιστώσες της, όπως και για τον προσανατολισμό των Φ/Β γεννητριών. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου

παρουσιάζονται οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τα επιμέρους τμήματα τους, πέρα των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Τέλος, στο 4^ο κεφάλαιο εξετάζεται ένα φωτοβολταϊκό πάρκο, μέσω του λογισμικού PVsyst. Αρχικά, πραγματοποιείται χωροθέτηση των πλαισίων για δυο περιπτώσεις σταθμού : α) με σταθερές βάσεις Φ/Β πλαισίων και β) με χρήση ηλιοστατών δυο αξόνων, για αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακολουθεί η παρουσίαση των χαρακτηριστικών των δυο συστημάτων (αποδόσεις, απώλειες) και η σύγκριση τους. Το κεφάλαιο κλείνει με την εξέταση του οικονομικού σκέλους των δυο σταθμών, την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης τους και την σύγκριση τους εκ νέου, αυτή τη φορά από την οικονομική σκοπιά.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ευρωπαϊκή πολιτική.....	4
1.3 Στόχοι της Ελλάδας για την ενεργειακή πολιτική.....	5
1.4 Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων	6
1.5 Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σύμφωνα με την νομοθεσία.....	13
1.5.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα σε κτιριακές εγκαταστάσεις	13
1.5.2 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί επί εδάφους (αγροτεμάχια, οικόπεδα).....	15
1.5.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα (≤ 10 kWp)	18
Συνοπτικός πίνακας με τα βασικά βήματα αδειοδότησης	22
Επεξήγηση Όρων.....	23
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	27
2.1.1 Εισαγωγή.....	27
2.1.2 Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου	28
2.1.3 Φωτοβολταϊκά λεπτού υμένιου	29
2.2 Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	32
2.2.1 Εισαγωγή.....	32
2.2.2 Ενδογενής αγωγιμότητα.....	32
2.2.3 Εμπλουτισμός ημιαγωγών υψηλής καθαρότητας (εξωγενής αγωγιμότητα)	34
2.2.4 Η επαφή p-n	36
2.2.5 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	37
2.2.6 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο	37
2.2.7 Ο περιορισμός των φωτονίων	38
2.2.8 Το εκμεταλλεύσιμο ηλιακό φάσμα	40
2.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β στοιχείου	42
2.3.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο σε ανοιχτό και κλειστό κύκλωμα	42
2.3.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας επαφής p-n (διόδου ημιαγωγών).....	43

2.3.3 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	44
2.3.4 Εξάρτηση της απόδοσης ενός κελιού από την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία λειτουργίας.....	48
2.3.5 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module)	50
2.3.6 Φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	52
2.3.7 Σκίαση πλαισίων	54
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 Κίνηση της γης-ηλιακή ακτινοβολία- προσανατολισμός συλλεκτών.....	58
3.1.1 Εισαγωγή.....	58
3.1.2 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο	59
3.1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γης-ήλιου.....	60
3.1.4 Η ηλιακή ακτινοβολία και οι συνιστώσες της	63
3.1.5 Η γεωμετρία του προσανατολισμού του πλαισίου	66
3.1.6 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών.....	68
3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	71
3.2.1 Εισαγωγή.....	71
3.2.2 Απομονωμένα από το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα (stand alone/off grid).....	72
3.2.3 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα (grid connected)	76
3.2.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV).....	78
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εφαρμογή διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με το πρόγραμμα PVsyst.

4.1 Εισαγωγή.....	81
4.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο 500 kWp με σταθερές βάσεις.....	85
4.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο 500 kWp με ηλιοστάτες 2 αξόνων.....	94
4.4 Σύγκριση των φωτοβολταϊκών σταθμών	100
4.5 Οικονομικά στοιχεία.....	104
4.5.1 Ανάλυση κόστους Φ/Β σταθμών	104
4.5.2 Προβλεπόμενα έσοδα κατά την 20ετή σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας....	105
4.5.3 Βιωσιμότητα επένδυσης.....	106
Βιβλιογραφία Κεφαλαίου.....	110
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	111

Περιεχόμενες εικόνες

<i>Εικόνα 1.1</i> Η ανάπτυξη των ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα θα βασισθεί κυρίως στους φωτοβολταϊκούς και αιολικούς σταθμούς.....	2
<i>Εικόνα 1.2</i> Εφαρμογή Φ/Β συστήματος σε στέγη στην ύπαιθρο	4
<i>Εικόνα 1.4</i> Το πλούσιο ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να συντελέσει τα μέγιστα για την εξάπλωση των Α.Π.Ε.....	7
<i>Εικόνα 1.5</i> Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 100 kWp σε βιομηχανική στέγη στη Ρόδο	14
<i>Εικόνα 1.6</i> Φωτοβολταϊκός σταθμός ισχύος 99.36 kWp αποτελούμενος από 414 μονοκρυσταλλικά πλαίσια στη Πάρο	16
<i>Εικόνα 1.7</i> Φωτοβολταϊκός σταθμός εγκατεστημένης ισχύος 637,2kW με ηλιοστάτες 2 αξόνων έξω απο το Ρέθυμνο	17
<i>Εικόνα 1.8</i> Φωτοβολταϊκό σύστημα 4.83 kWp εγκατεστημένο σε στέγη κατοικίας στην Παλλήνη.	18
<i>Εικόνα 1.9</i> Φωτοβολταϊκό σύστημα 9.87 kWp αποτελούμενο από πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε οροφή στη Λάρισα.....	20
<i>Εικόνα 2.1</i> Φ/Β πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου	28
<i>Εικόνα 1.2</i> Φ/Β πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου.....	29
<i>Εικόνα 2.2</i> Φωτοβολταϊκά πλαίσια άμορφου πυριτίου(αριστερά), CIS(δεξιά) και CdTe(κάτω).	31
<i>Εικόνα 3.13</i> Εγκατάσταση σταθερών Φ/Β συλλεκτών ισχύος 99,84 kWp.	69
<i>Εικόνα 3.15</i> Ηλιοστάτης δύο αξόνων με παρακολούθηση τόσο της φαινόμενης κίνησης κατά τη διάρκεια της ημέρας από Ανατολή σε Δύση, όσο και της εποχιακής κίνησης του ήλιου κατά Βορρά-Νότου.....	70
<i>Εικόνα 3.19</i> Εφαρμογή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την άντληση νερού.....	75
<i>Εικόνα 3.22</i> Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 9kWp.....	77
<i>Εικόνα 3.23</i> Φωτοβολταϊκός σταθμός εγκατεστημένης ισχύος 1 MW στην Ιταλία.....	78
<i>Εικόνα 3.24</i> Εφαρμογή φωτοβολταϊκού συστήματος στη πρόσοψη τελευταίου ορόφου κτιρίου.	78
<i>Εικόνα 3.25</i> Εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων ως υαλοπίνακες (αριστερά), σκίαστρα (κέντρο), πρόσοψη κτιρίου (δεξιά) (BIVP)	79
<i>Εικόνα 4.1</i> Το "περιβάλλον" του PVsyst.....	81

Περιεχόμενοι πίνακες

<i>Πίνακας 1.3</i> Ενεργειακό μίγμα τεχνολογιών Α.Π.Ε.	5
<i>Πίνακας 1.4</i> Τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργεια παραγόμενης από Φ/Β συστήματα	8
<i>Πίνακας 4.9</i> Μηνιαία ηλεκτροπαραγωγή σε kWh, συναρτήσει της απόστασης μεταξύ των Φ/Β συστοιχιών.....	88
<i>Πίνακας 4.14</i> Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των σταθερών συλλεκτών.....	91

<i>Πίνακας 4.16</i> Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των σταθερών πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.....	92
<i>Πίνακας 4.18</i> Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο σταθερό κεκλιμένο επίπεδο.....	93
<i>Πίνακας 4.20</i> Διάφορες αποστάσεις χωροθέτησης των ηλιοστατών.....	95
<i>Πίνακας 4.24</i> Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των κινούμενων συλλεκτών.....	97
<i>Πίνακας 4.26</i> Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των κινούμενων πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.....	98
<i>Πίνακας 4.28</i> Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο μεταβαλλόμενο κεκλιμένο επίπεδο.....	99
<i>Πίνακας 4.30</i> Σύγκριση συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τους δυο Φ/Β σταθμούς.....	100
<i>Πίνακας 4.32</i> Έγχυση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.....	101
<i>Πίνακας 4.35</i> Σύγκριση δέσμευσης της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.....	103
<i>Πίνακας 4.36</i> Ανάλυση κόστους σταθμού σταθερών βάσεων.....	104
<i>Πίνακας 4.37</i> Ανάλυση κόστους σταθμού κινούμενων βάσεων.....	104
<i>Πίνακας 4.38</i> Προβλεπόμενα έσοδα.....	105
<i>Πίνακας 4.39</i> Συνολικά έσοδα της 20ετίας.....	106
<i>Πίνακας 4.40</i> Πιθανές χρηματοδοτήσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα σταθερών βάσεων..	107
<i>Πίνακας 4.41</i> Τα συγκεντρωτικά ετήσια καθαρά έσοδα του συστήματος σταθερών βάσεων..	107
<i>Πίνακας 4.42</i> Πιθανές χρηματοδοτήσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα κινούμενων βάσεων.....	108
<i>Πίνακας 4.43</i> Τα συγκεντρωτικά ετήσια καθαρά έσοδα του συστήματος κινούμενων βάσεων.....	108
<i>Πίνακας 4.44</i> Σύγκριση καθαρών εσόδων των συστημάτων με το ίδιο αρχικό κεφάλαιο.....	109

Περιεχόμενα σχήματα

<i>Σχήμα 2.4</i> Η τετραεδρική δομή του κρυσταλλικού πυριτίου.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.2
<i>Σχήμα 2.5</i> Το πλέγμα του κρυσταλλικού πυριτίου σε δυο διαστάσεις. Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.2	
<i>Σχήμα 2.6</i> Σχηματισμός ζευγαριού ηλεκτρονίου-οπής (αριστερά) και "μετακίνηση" της οπής (δεξιά).....	33
<i>Σχήμα 2.7</i> Αναπαράσταση του ενεργειακού χάσματος σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές..	33
<i>Σχήμα 2.8</i> Ο ημιαγωγός τύπου n (δεξιά, αναπαράσταση ενός στοιχείου πρόσμιξης με 5 ηλεκτρόνια σθένους).....	35
<i>Σχήμα 2.9</i> Ο ημιαγωγός τύπου p (δεξιά, αναπαράσταση ενός στοιχείου πρόσμιξης με 3 ηλεκτρόνια σθένους).....	35
<i>Σχήμα 2.10</i> Η επαφή p-n.....	36
<i>Σχήμα 2.11</i> Αριστερά, μόλις η επαφή p-n έρθει σε επαφή, δεξιά, όταν πλέον βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση.....	36
<i>Σχήμα 2.12</i> Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	37

Σχήμα 2.13 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε φωτοβολταϊκό στοιχείο που προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία.....	38
Σχήμα 2.14 Η δημιουργία ζευγαριού ηλεκτρονίου-οπής.....	39
Σχήμα 2.15 Οι τιμές ενεργειακού χάσματος για διάφορους ημιαγωγούς, καθώς και η βέλτιστη τιμή που οδηγεί στη μέγιστη ισχύ.....	40
Σχήμα 2.16 Το φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας με AM1.5. Η σκούρου χρώματος περιοχή δείχνει το διαθέσιμο τμήμα προς εκμετάλλευση από ένα φωτοβολταϊκό κελί κρυσταλλικού πυριτίου...	41
Σχήμα 2.17 Αναπαράσταση κελιού 3πλής επαφής. Τα υψηλότερης ενέργειας φωτόνια απορροφούνται από την πάνω επαφή, ενώ φωτόνια με μεγαλύτερα μήκη κύματος απορροφούνται από τις επόμενες επαφές.....	41
Σχήμα 2.18 Η απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου περιορίζεται από μια σειρά παραγόντων.....	42
Σχήμα 2.19 Αναπαράσταση φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	42
Σχήμα 2.20 Η επαφή p-n επιτρέπει το ρεύμα να διαπερνά εύκολα από την p πλευρά προς την n, αλλά όχι αντίστροφα. η επαφή p-n (αριστερά), το σύμβολο της (κέντρο), η χαρακτηριστική της καμπύλη στους 25°C (δεξιά).....	43
Σχήμα 2.21 Απεικόνιση Φ/Β στοιχείου.....	44
Σχήμα 2.22 Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	45
Σχήμα 2.23 Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με ιδανική και με μια πιο ρεαλιστική συμπεριφορά.....	46
Σχήμα 2.24 (α) Η λειτουργία ενός Φ/Β στοιχείου στο σκοτάδι (1) και στο φως (2). (β) Η καμπύλη ενός φωτιζόμενου στοιχείου στο 1ο τεταρτημόριο.....	46
Σχήμα 2.25 Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου(μπλε) και η καμπύλη της ισχύος(κόκκινη).....	47
Σχήμα 2.26 Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για διαφορετικές πυκνότητες ισχύος ενός Φ/Β κελιού.....	48
Σχήμα 2.27 Η επίδραση της θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V.....	49
Σχήμα 2.28 Μεταφορά θερμότητας από την συστοιχία μέσω συναγωγής από τον ατμοσφαιρικό αέρα.....	50
Σχήμα 2.29 Φ/Β πλαίσιο που αποτελείται από 36 στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά, ώστε να αυξηθεί η τάση εξόδου (επάνω). Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός πλαισίου, είναι το άθροισμα των καμπυλών των στοιχείων που το αποτελούν (κάτω).....	51
Σχήμα 2.30 Τομή ενός τυπικού πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου.....	52
Σχήμα 2.31 Σύνδεση Φ/Β πλαισίων παράλληλα (αριστερά) και σε σειρά (δεξιά).....	52
Σχήμα 2.32 Οι δυο τρόποι σύνθετης σύνδεσης Φ/Β πλαισίων (επάνω) και η αθροιστική χαρακτηριστική καμπύλη I-V της συστοιχίας (κάτω).....	53
Σχήμα 2.33 Μια Φ/Β συστοιχία αποτελείται από πλαίσια, όπου το καθένα περιλαμβάνει ένα αριθμό Φ/Β στοιχείων.....	53
Σχήμα 2.34 Φ/Β πλαίσιο n στοιχείων που λειτουργεί κανονικά (αριστερά), και (δεξιά) όπου το n-οστό στοιχείο σκιάζεται.....	54
Σχήμα 2.35 Αναπαράσταση του φαινομένου θερμής κηλίδας στο n-οστό στοιχείο ενός Φ/Β πλαισίου. (α) το n-οστό στοιχείο σκιάζεται, (b) λειτουργεί με ανάστροφη πόλωση και (c) αντιμετωπίζεται παρακάμπτοντας το με μία διόδο. Ωστόσο, οι διόδοι παράκαμψης λειτουργούν σε υπό-ομάδες στοιχείων, με αποτέλεσμα ενδεχομένως να βγάζουν εκτός λειτουργίας Φ/Β στοιχεία που δε σκιάζονται και λειτουργούν κανονικά (με πράσινο χρώμα).....	55
Σχήμα 2.36 Διόδοι παράκαμψης (πράσινο χρώμα) και φραγής (κόκκινο σχρώμα), σε μια συστοιχία των 2 strings των 3 πλαισίων που συνδέονται παράλληλα.....	55
Σχήμα 2.37 Φ/Β συστοιχία (α) χωρίς και (b) με διόδους φραγής.....	56
Σχήμα 3.1 Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο.....	59

Σχήμα 3.2 Η γεωκεντρική θεώρηση διευκολύνει την επεξήγηση των χαρακτηριστικών της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο.....	59
Σχήμα 3.3 Οι χαρακτηριστικότερες πορείες του ήλιου κατά τη διάρκεια ενός έτους από παρατηρητή που βρίσκεται στο βόρειο (αριστερά) και νότιο (δεξιά) ημισφαίριο.....	60
Σχήμα 3.4 Η κίνηση του ήλιου στον ουράνιο θόλο.....	61
Σχήμα 3.5 Η κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις ισημερίες (αριστερά), το θερινό (κέντρο) και χειμερινό (δεξιά) ηλιοστάσιο.....	61
Σχήμα 3.6 Γεωμετρικά στοιχεία της "κίνησης" του ήλιου.....	62
Σχήμα 3.7 Η γωνία ηλιακού ύψους, α	62
Σχήμα 3.8 Το κλάσμα μάζας-αέρα, AM	64
Σχήμα 3.9 Ημερήσια κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου σε οριζόντιο επιφάνεια (αριστερά) και σε Φ/Β συλλέκτη με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.....	64
Σχήμα 3.10 Η ηλιακή ακτινοβολία ακολουθεί πολλές πορείες μέσα στην ατμόσφαιρα.....	65
Σχήμα 3.11 Γεωμετρία προσανατολισμού του συλλέκτη (αριστερά) και η κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.....	66
Σχήμα 3.12 Οι ακτίνες του ήλιου δε μπορούν να χτυπούν κάθετα ένα συλλέκτη με σταθερή κλίση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.....	67
Σχήμα 3.14 Ηλιοστάτες παρακολούθησης της πορείας του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριστερά), με εποχιακή παρακολούθηση (κέντρο) και κατά τους δυο άξονες (δεξιά).....	70
Σχήμα 3.16 Απλοποιημένο διάγραμμα ενός μη-διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	72
Σχήμα 3.17 Διάγραμμα ενός μη-διασυνδεδεμένου, υβριδικού συστήματος με την υποστήριξη ηλεκτρογεννήτριας.....	74
Σχήμα 3.18 Υβριδικό Φ/Β σύστημα με βοηθητική πηγή ανεμογεννήτρια.....	75
Σχήμα 3.20 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα που επιτρέπει την "ανταλλαγή" ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο.....	76
Σχήμα 3.21 Φωτοβολταϊκό πάρκο που εγγχεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο.....	77
Σχήμα 4.2 Κάτοψη του οικοπέδου.....	82
Σχήμα 4.3 Ο περιορισμός των 5 m, για Φ/Β εξοπλισμό που ξεπερνά σε ύψος τα 2,5 m.....	83
Σχήμα 4.4 Πιθανές θέσης κάλυψης των 22.000 m ²	83
Σχήμα 4.5 Η θέση κάλυψης των 22.000 m ²	84
Σχήμα 4.6 Η γραμμή του ορίζοντα, κοιτώντας τον νότο από τον προς εξέταση χώρο.....	84
Σχήμα 4.7 Ο ηλιακός χάρτης στις συντεταγμένες του οικοπέδου.....	85
Σχήμα 4.8 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φωτοβολταϊκών συστοιχιών.....	88
Σχήμα 4.10 Χωροθέτηση σταθερών Φ/Β συστοιχιών.....	89
Σχήμα 4.11 Ο ηλιακός χάρτης του οικοπέδου με τις σκιάσεις μεταξύ των συστοιχιών.....	89
Σχήμα 4.12 Διάγραμμα απωλειών σταθμού 500 kWp με σταθερές βάσεις.....	90
Σχήμα 4.13 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των σταθερών συλλεκτών.....	91
Σχήμα 4.15 Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των σταθερών πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.....	92
Σχήμα 4.17 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο σταθερό κεκλιμένο επίπεδο.....	93
Σχήμα 4.19 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ ηλιοστατών.....	94
Σχήμα 4.21 Χωροθέτηση ηλιοστατών 2 αξόνων.....	96
Σχήμα 4.22 Διάγραμμα απωλειών σταθμού 500 kWp με ηλιοστάτες.....	96
Σχήμα 4.23 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των κινούμενων συλλεκτών.....	97

<i>Σχήμα 4.25</i> Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των κινούμενων πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.....	98
<i>Σχήμα 4.27</i> Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο μεταβαλλόμενο κεκλιμένο επίπεδο	99
<i>Σχήμα 4.29</i> Σύγκριση συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τους δυο Φ/Β σταθμούς .	100
<i>Σχήμα 4.31</i> Έγχυση ηλεκτρικής ενέργεια στο δίκτυο.....	101
<i>Σχήμα 4.33</i> Σύγκριση δέσμευσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.....	102
<i>Σχήμα 4.34</i> Σύγκριση δέσμευσης της έμμεσης ηλιακής ακτινοβολίας	103

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή

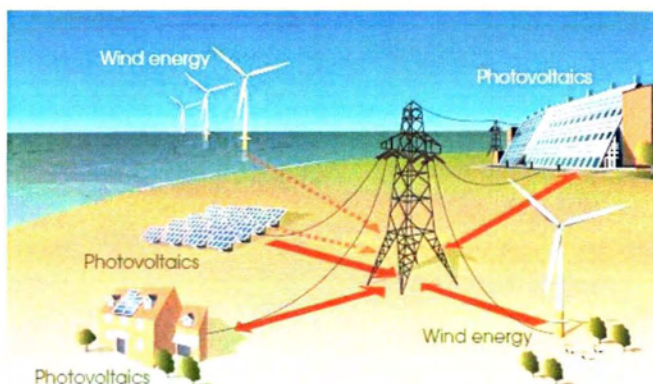
Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των Α.Π.Ε., καθώς τα ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα κλιματολογικά στοιχεία της, ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η γεωγραφική της θέση εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, η παρουσία μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της ανάγλυφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του νερού προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα. Τέλος, η συνύπαρξη ηπειρωτικού – νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Πρόσθετα, σημαντικές ποσότητες βιομάζας σε όλη την επικράτεια που δεν αξιοποιούνται συστηματικά, καθώς και αρκετός αριθμός γεωθερμικών πεδίων των οποίων η ενεργειακή αξιοποίηση δεν είναι αντίστοιχη της δυναμικότητάς τους, θα μπορούσαν να συνδράμουν αξιόλογα στο ενεργειακό μίγμα της χώρας.

Πέρα των φυσικών χαρακτηριστικών, το διαθέσιμο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζει σημαντικά τη δυνατότητα εφαρμογής των Α.Π.Ε. Επίσης, η περιορισμένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας των νησιών που λειτουργούν σε αυτόνομα δίκτυα, θέτει όρια στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Ελλάδα παρουσιάζει την ιδιομορφία ύπαρξης ενός μη πλήρους διασυνδεδεμένου ηλεκτρικού συστήματος, καθώς πολλά νησιά αποτελούν αυτόνομα δίκτυα. Το Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα αποτελεί η ηπειρωτική

Ελλάδα, καθώς και τα νησιά: Σαμοθράκη, Θάσος, Αμολιανή, Σκιάθος, Σκόπελος, Αλόνησος, Άνδρος, Τήνος, Εύβοια, Κέα, Αίγινα, Αγκίστρι, Πόρος, Ύδρα, Σπέτσες, Κύθηρα, Σαλαμίνα, Ελαφώνησος, Κέρκυρα, Παξοί, Αντίπαξοι, Λευκάδα, Μεγανήσι, Κάλαμος, Καστός, Κεφαλονιά, Ιθάκη και Ζάκυνθος. Η υπόλοιπη νησιωτική Ελλάδα, καθώς και η Κρήτη υπάγονται στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Διαχειριστής του Διασυνδεδεμένου Συστήματος είναι ο ΔΕΣΜΗΕ, ενώ την εποπτεία των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών έχει η Δ.Ε.Η.. Κύριο χαρακτηριστικό του Διασυνδεδεμένου Συστήματος είναι η μεγάλη συγκέντρωση σταθμών παραγωγής στο βόρειο τμήμα της χώρας (Δυτική Μακεδονία, περιοχή Πτολεμαΐδας), ενώ το κύριο κέντρο κατανάλωσης βρίσκεται στο Νότο (περιοχή Αττικής). Δεδομένου ότι και οι διεθνείς διασυνδέσεις με Αλβανία, Βουλγαρία, Π.Γ.Δ.Μ., Ιταλία και Τουρκία είναι στο Βορρά, υπάρχει μεγάλη γεωγραφική ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίων. Σύμφωνα με τη Μελέτη Ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς για τη περίοδο 2010-2014 (ΜΑΣΜ 2010-2014) που εκπονήθηκε από τον ΔΕΣΜΗΕ στα τέλη του 2010, στα προγραμματισμένα έργα ανάπτυξης του συστήματος μεταφοράς εντάσσεται και το έργο καλωδιακής διασύνδεσης των Κυκλάδων, ενώ η διασύνδεση της Κρήτης στο άμεσο μέλλον θεωρείται πλέον απαραίτητη.

Σύμφωνα με στοιχεία τα οποία συλλέγει η Υπηρεσία Α.Π.Ε. σε συνεργασία με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε), τον Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) και τους Διαχειριστές Δικτύου και Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, τα δεδομένα υλοποίησης έργων Α.Π.Ε. που πραγματοποιήθηκαν το 2010 αποτυπώνουν μία δυναμική πορεία ανάπτυξης των σχετικών επενδύσεων, καθώς στο πλαίσιο εφαρμογής του Ν.3851/2010 και μιας σειράς Υπουργικών Αποφάσεων που ακολούθησαν για την πληρέστερη εφαρμογή του, απλοποίησαν σημαντικά την διαδικασία αδειοδότησης των Α.Π.Ε και ιδιαίτερα των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το 2010 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σταθμών Α.Π.Ε. αυξήθηκε κατά 20% σε σχέση με το 2009, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το αντίστοιχο ποσοστό για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς προσεγγίζει το 374%. Η συνολική ισχύς από σταθμούς Α.Π.Ε. στην Ελλάδα αυξήθηκε κατά 290 MW



Εικόνα 1.1 Η ανάπτυξη των ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα θα βασισθεί κυρίως στους φωτοβολταϊκούς και αιολικούς σταθμούς.

μέσα στο 2010, αθροίζοντας συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1.736 MW έναντι των 1.446 MW

του 2009. Πρώτα, στην ανάπτυξη νέας ισχύος ήταν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, τα οποία σχεδόν τετραπλασίασαν τη διείσδυσή τους στο ενεργειακό σύστημα της χώρας, ξεκινώντας από 53 MW και φθάνοντας στα 198 MW στο τέλος του 2010. Η νέα αιολική ισχύς που προστέθηκε το 2010 ανέρχεται στα 131 MW οδηγώντας σε σύνολο 1.298 MW, ενώ μικρή αλλά σημαντική, είναι και η αύξηση των μικρών υδροηλεκτρικών από τα 182,6 MW, στα 196,3 στο τέλος του 2010. Τέλος, όσον αφορά τη βιομάζα-βιοαέριο τον Δεκέμβριο του 2010 η εγκατεστημένη ισχύς τους έφθασε τα 41 MW.

Σε επίπεδο αδειοδοτικής διαδικασίας, αξίζει να αναφερθεί πως το 2010 σημειώθηκε σημαντική αύξηση της ισχύος των αδειών εγκατάστασης από τα 1.360 MW του 2009 στα 1.670 MW στο τέλος του 2010, καθώς και των συμβάσεων αγοραπωλησίας από τα 301 MW στα 886 MW, αντίστοιχα. Σημαντικό είναι και το πλήθος νέων αδειών παραγωγής που εκδόθηκαν από τη Ρ.Α.Ε από τα μέσα του 2010 ανεβάζοντας την αδειοδοτημένη ισχύ από τα 8.360 MW του 2009 στα 18.819 MW στο τέλος του 2010. Οι νέες άδειες παραγωγής αφορούν κυρίως σε αιολικές εγκαταστάσεις και δευτερευόντως σε φωτοβολταϊκούς και μικρο - υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

Σύμφωνα με τις προβλέψεις της Υπηρεσίας Α.Π.Ε., για το 2011 η νέα εγκατεστημένη ισχύς θα προέλθει κυρίως από αιολικούς και Φ/Β σταθμούς. Για τα αιολικά συστήματα, τα οποία το 2010 αυξήθηκαν κατά 11%, φέτος εκτιμάται ότι θα κινηθούν με ρυθμό ανάπτυξης 23% και ότι τα νέα MW θα ξεπεράσουν τα 300 (πρόκειται για έργα τα οποία βρίσκονται υπό κατασκευή). Σημαντικές επενδύσεις αναμένονται και στα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία από 198,3MW προβλέπεται να φτάσουν τα 400 MW (102% αύξηση) μέσα στο 2011. Με βάση τις εκτιμήσεις της ίδιας υπηρεσίας, φέτος εκτός των φωτοβολταϊκών και των αιολικών σταθμών αναμένεται να υπάρξει μικρή αύξηση στην εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων βιομάζας και των μικρών υδροηλεκτρικών. Συγκεκριμένα οι μονάδες βιομάζας θα φτάσουν τα 45MW (2% αύξηση) και οι ΜΥΗΣ τα 210MW (7% αύξηση). Για το 2012, τα αιολικά συστήματα αναμένεται να διατηρήσουν τον ίδιο ρυθμό δηλαδή θα προστεθούν στο δίκτυο περί τα 400 έως 500 MW (αύξηση 19 – 25%). Τα φωτοβολταϊκά προβλέπεται να καταγράψουν αύξηση από 250 έως 350MW (63-88%) διατηρώντας επίσης τη δυναμική τους. Παράλληλα, υπάρχουν βάσιμες προσδοκίες ότι τόσο η βιομάζα όσο και τα μικρά υδροηλεκτρικά θα παρουσιάσουν αξιόλογη ανάπτυξη με διψήφιο ποσοστό ανάπτυξης. Συνολικά, το 2011 η αγορά των Α.Π.Ε θεωρείται ότι θα φτάσει τουλάχιστον τα 2.300 MW σημειώνοντας αύξηση κατά 30% σε σύγκριση με το 2010, ενώ το 2012 οι προβλέψεις του ΥΠΕΚΑ κάνουν λόγο για 2.830- 3.080MW .

Ειδικότερα για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, η αύξηση του ορίου εγκατεστημένης ισχύος των συστημάτων που απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης άδειας παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας (1 MW), που εισήγαγε ο Ν.3851/2010, αύξησε κατακόρυφα το ενδιαφέρον των επενδυτών. Έως το τέλος του 2010 υποβλήθηκαν 1.688 αιτήσεις για χορήγηση άδειας παραγωγής συνολικής ισχύος 4.255 MW, ενώ εκδόθηκαν 759 άδειες παραγωγής συνολικής ισχύος 1.739 MW. Επίσης, οι αιτήσεις για έργα τα οποία εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης άδειας παραγωγής που υποβλήθηκαν στη ΔΕΗ για όρους σύνδεσης, ξεπερνούν τις 30.000 με αντίστοιχη ισχύ 5.182 MW. Πρόσθετα, οι αιτήσεις που υποβλήθηκαν συνολικά από την έναρξη της εφαρμογής του «Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις» μέχρι το τέλος του 2010 ανήλθαν σε 3.752 με συνολική ισχύ 34 MW, ενώ προσφορά σύνδεσης εκδόθηκε για 2.911 συστήματα ισχύος 25 MW και ήδη λειτουργούν 585 από αυτά, εγγέροντας στο σύστημα ισχύ 5,2 MW. Η δυνατότητα προτεραιότητας εξέτασης των αιτημάτων των επαγγελματιών αγροτών στο ηπειρωτικό δίκτυο μέχρι τον Οκτώβριο του 2010, οδήγησε στην υποβολή 6.200 περίπου αιτήσεων συνολικής ισχύος 612 MW. Η ΔΕΗ ως διαχειριστής του Δικτύου κατέγραψε και κατέταξε τα αιτήματα, τα αντιστοίχισε με τα δίκτυα μικρής και μεσαίας ισχύος και προχώρησε στην έκδοση προσφορών σύνδεσης αξιολογώντας την ευχέρεια απορρόφησης των δικτύων, απ' όπου 373 αγροτικά αιτήματα συνολικής ισχύος 36,5 MW είχαν λάβει προσφορά σύνδεσης έως το τέλος του 2010.



Εικόνα 1.2 Εφαρμογή Φ/Β συστήματος σε στέγη στην ύπαιθρο.

1.2 Ευρωπαϊκή πολιτική

Οι αλλαγές που συντελούνται τα τελευταία χρόνια στον παγκόσμιο ενεργειακό χάρτη είναι συνεχείς και ραγδαίες. Στα προβλήματα της στενότητας των ενεργειακών πόρων, της διαφαινόμενης εξάντλησης των αποθεμάτων και του ασφαλούς ανεφοδιασμού, έχουν προστεθεί τα σοβαρά περιβαλλοντικά και κλιματικά προβλήματα που προκαλούνται από την παραγωγή και τη χρήση της ενέργειας και, σύμφωνα με την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, χρίζουν άμεσης και αποτελεσματικής αντιμετώπισης.

Τον Μάρτιο του 2007, εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση μια ολοκληρωμένη πολιτική με στόχο να αντιμετωπιστεί η κλιματική αλλαγή και να ενισχυθεί η ενεργειακή ασφάλεια και ανταγωνιστικότητα της Ε.Ε.. Πρόκειται, στην ουσία, για τη διατύπωση και υιοθέτηση, για πρώτη φορά στην ιστορία της Ε.Ε., μιας κοινής Ευρωπαϊκής πολιτικής για την ενέργεια. Κεντρικός άξονας αυτής της πολιτικής είναι το γνωστό «20-20-20», όπου η Ε.Ε. καλείται να επιτύχει στην επικράτεια της ως το 2020:

- 20% διείσδυση των Α.Π.Ε στην κατανάλωση ενέργειας (Οδηγία 2009/28/ΕΚ).
- Μείωση 20% ,τουλάχιστον, των αερίων του θερμοκηπίου, συγκριτικά με τις τιμές του 1990 (Οδηγία 2009/29/ΕΚ).
- 20% εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, βελτιώνοντας τους ενεργειακούς συντελεστές (Οδηγία 2006/32/ΕΚ).

Καθοριστική είναι η οδηγία που ψηφίστηκε τον Απρίλιο του 2009 (2009/28/ΕΚ) και περιλαμβάνει την θέσπιση δεσμευτικού στόχου το 2020, το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ε.Ε. να προέρχεται από Α.Π.Ε.. Οι εθνικοί στόχοι κάθε κράτους-μέλους συντάσσονται στην εν λόγω οδηγία, με την Ελλάδα να καλείται να επιτύχει ,τουλάχιστον, το

18% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, κάθε μέλος καλείται να καλύπτει το 10% της τελικής κατανάλωσης στις μεταφορές με ενέργεια που προέρχεται από Α.Π.Ε.

Είναι η πρώτη φορά που η Ευρωπαϊκή Ένωση θεσπίζει δεσμευτικούς στόχους για τις Α.Π.Ε. Ο δεσμευτικός αυτός στόχος θα υποχρεώσει και εκείνα τα κράτη-μέλη που μέχρι σήμερα υστερούν στην αξιοποίηση των Α.Π.Ε. όπως η Ελλάδα, να ανταποκριθούν στις προσπάθειες που τους αναλογούν, προκειμένου να αποφύγουν δυσβάστακτες κυρώσεις στο μέλλον, που αφορούν την αγορά δικαιωμάτων εκπομπής CO₂.

1.3 Στόχοι της Ελλάδας για την ενεργειακή πολιτική

Η Ελληνική κυβέρνηση με την ψήφιση του Ν.3851/2010 έχει θέσει ως εθνικούς στόχους τα εξής:

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

Πιο συγκεκριμένα, με απόφαση του ΥΠΕΚΑ που κοινοποιήθηκε (ΦΕΚ Β' 1630/11.10.2010) τον Σεπτέμβριο του 2010, επισημοποιήθηκε η αναλογία εγκατεστημένης ισχύος ανά τεχνολογία Α.Π.Ε και κατηγορία παραγωγού με ορίζοντα τα έτη 2014 και 2020. Η αναλογία (ενεργειακό μίγμα) έχει ως εξής:

Τεχνολογία ΑΠΕ / Κατηγορία παραγωγού	Εγκατεστημένη ισχύς σε MWp	
	2014	2020
Αιολικά (συμπεριλαμβ. και τα offshore)	4000	7500
Υδροηλεκτρικά	3700	4650
– μικρά (<15MW)	3400	4300
– μεγάλα (>15MW)	300	350
Φωτοβολταϊκά	1500	2200
– επαγγελματίες αγρότες	500	750
– λοιπές εγκαταστάσεις	1000	1450
Βιομάζα	200	350
Ηλιοθερμικά	120	250
Συνολικά	9520	14950

Πίνακας 1.3 Ενεργειακό μίγμα τεχνολογιών Α.Π.Ε.

Για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, θα ισχύσει σε ευρωπαϊκό επίπεδο μείωση κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, για όλους τους κλάδους δραστηριότητας. Η διαχείριση του περιορισμού των εκπομπών γίνεται σε δύο επίπεδα. Στο επίπεδο των εγκαταστάσεων που υπάγονται στο σύστημα εμπορίας εκπομπών και στις εκπομπές εκτός

συστήματος εμπορίας. Οι επιτρεπόμενες εκπομπές που ανήκουν στο σύστημα εμπορίας θα ξεκινούν από τον μέσο όρο της περιόδου 2008-2011 και θα βαίνουν μειούμενες κατά 1.74 % το χρόνο μέχρι το 2020. Παράλληλα, θα πρέπει να μειωθούν και οι εκπομπές εκτός εμπορίας, όπου για την Ελλάδα η μείωση θα είναι κατά 4 %. Ο Εθνικός στόχος περιορισμού των εκπομπών για το 2020 είναι το άθροισμα των επί μέρους απαιτούμενων περιορισμών εντός και εκτός εμπορίας (Απόφαση αριθ. 406/2009/ΕΚ).

Όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας, η Οδηγία 2006/32/ΕΚ, θέτει ενδεικτικό στόχο εξοικονόμησης ενέργειας στα κράτη-μέλη 9% ως το 2016, ενώ ο στόχος του 20% που έχει τεθεί συνολικά για την Ευρωπαϊκή Ένωση, δεν έχει εξειδικευθεί ανά κράτος-μέλος. Η οδηγία υποχρεώνει τα μέλη της Ε.Ε. να εκπονήσουν σχέδια δράσης ενεργειακής απόδοσης (ΣΔΕΑ). Η Ελλάδα έχει ήδη καταρτίσει το 1^ο ΣΔΕΑ, ενώ πρόσφατα και με τον Ν.3855/2010, ο οποίος προστίθεται και στον πρόσφατο κανονισμό που αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων-ΚΕΝΑΚ, προχωρά στην ανάπτυξη μηχανισμών της αγοράς και εφαρμογής συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών που αποσκοπούν στην επίτευξη του συγκεκριμένου εθνικού στόχου για εξοικονόμηση ενέργειας.

Παράλληλα, τον Νοέμβριο του 2010 (ΦΕΚ Α'204/2.12.2010) ψηφίστηκε στη βουλή το νομοσχέδιο για την «επιτάχυνση των στρατηγικών επενδύσεων» (Ν.3894/2010) ή αλλιώς fast track, ώστε να συμπληρώσει τον υπάρχον Ν.3775/2009, στον οποίον θεσπίζεται η διαδικασία ταχείας αδειοδότησης. Το fast track είναι μια διαδικασία η οποία επιταχύνει την αδειοδότηση στρατηγικών επενδύσεων που προέρχονται από τον ιδιωτικό τομέα ή από σύμπραξη του ιδιωτικού με το δημόσιο, σε έναν από τους τομείς της ενέργειας, της βιομηχανίας, του τουρισμού, των μεταφορών, της υγείας, της υψηλής τεχνολογίας και της καινοτομίας, σύμφωνα με καθορισμένα κριτήρια και προϋποθέσεις που περιγράφονται στον Ν.3894/2010. Η διαδικασία αναλαμβάνεται από τον φορέα «Επενδύστε στην Ελλάδα Α.Ε.» (Invest in Greece S.A.), με στόχο την ταχεία διεκπεραίωση των απαραίτητων αδειών υλοποίησης, προκειμένου να προχωρήσουν άμεσα οι επενδύσεις αυτές. Στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα έργα που εντάσσονται σε διαδικασία fast track δεν υπολογίζονται στην επιδιωκόμενη εγκατεστημένη ισχύ και κατανομή της ανά τεχνολογία Α.Π.Ε., σύμφωνα με την παρ.4 του άρθ.2 του ΦΕΚ Β'1630/11.10.2010, ενώ θα ενταχθούν στη διαδικασία ταχείας αδειοδότησης και οι μεγάλες επενδύσεις για τα θαλάσσια (offshore) αιολικά πάρκα.

1.4 Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β συστημάτων στην πλειονότητα (σύμφωνα με το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Α.Π.Ε, ΦΕΚ Β'2464/3.12.2008) των κτηρίων και γηπέδων (οικόπεδα και αγροτεμάχια) εντός και εκτός σχεδίου πόλης σ' όλη την χώρα, σύμφωνα με τις εκάστοτε διαδικασίες, ώστε να επιταχυνθεί η επίτευξη του στόχου «20-20-20». Τα εγκατεστημένα Φ/Β συστήματα, ανεξαρτήτου ισχύος σε περίπτωση σύνδεσης τους στο διασυνδεδεμένο δίκτυο συνάπτουν Σύμβαση Πώλησης με τον ΔΕΣΜΗΕ, όπου ο τελευταίος υποχρεούνται να απορροφά όλη την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, έναντι της συμφωνημένης τιμής πώλησης (σταθερής και εγγυημένης) σε €/MWh (Σύμβαση Πώλησης) για διάρκεια τουλάχιστον 20 ετών. Εξαιρούνται της Σύμβασης Πώλησης, τα Φ/Β συστήματα που

υπάγονται στο «Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φ/Β Συστημάτων Σε Κτιριακές Εγκαταστάσεις Και Ιδίως Σε Δώματα Και Στέγες Κτιρίων» (ΦΕΚ Β'1079/4.6.2009), η ηλεκτρική ενέργεια των οποίων απορροφάται μέσω του δικτύου χαμηλής τάσης της Δ.Ε.Η, επίσης με τη συμφωνημένη τιμή πώλησης σε ευρώ/MWh, για 25 έτη (Σύμβαση Συμψηφισμού). Στη περίπτωση των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα θεωρούνται κορεσμένα και θα υπάρχουν κατά διαστήματα ειδικές ρυθμίσεις γι' αυτά. (εξαιρούνται τα Φ/Β συστήματα που εντάσσονται στο Ειδικό Πρόγραμμα).



Εικόνα 1.4 Το πλούσιο ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να συντελέσει τα μέγιστα για την εξάπλωση των Α.Π.Ε.

Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς, γίνεται σε €/MWh. Για τα συστήματα που emπίπτουν στο Ειδικό Πρόγραμμα (≤ 10 kWp) η τιμή της MWh αντιστοιχεί στα 550 €, ενώ από την 01.01.2012 έως την 31.12.2019, όπου και λήγει το πρόγραμμα, η τιμή της MWh μειώνεται κατά 5% ετησίως. Για τα υπόλοιπα Φ/Β συστήματα, υπάρχουν τιμές πώλησης ως το τέλος του 2014, ενώ από το 2015 οι τιμές κάθε έτους ν μεταβάλλονται σύμφωνα με τους τύπους:

Διασυνδεδεμένο Δίκτυο	>100kWp	$1,3 * \mu\text{OT}_{\Sigma_{v-1}}$
	≤ 100 kWp	$1,4 * \mu\text{OT}_{\Sigma_{v-1}}$
Μη-Διασυνδεδεμένα Νησιά		

*όπου $\mu\text{OT}_{\Sigma_{v-1}}$ η μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος

Ο ακόλουθος πίνακας, δείχνει πως μεταβάλλεται η τιμή πώλησης της MWh από τους Παραγωγούς και Αυτοπαραγωγούς προς τον ΔΕΣΜΗΕ (και τη Δ.Ε.Η ή άλλο πάροχο για το Ειδικό Πρόγραμμα), συναρτήσει της περιόδου που υπογράφεται η Σύμβαση Πώλησης (ή Σύμβαση Συμψηφισμού, αντίστοιχα), σύμφωνα με τον Ν.3851/2010.

έτος	μήνας	Ειδικό Πρόγραμμα	€/MWh			
			Διασυνδεδεμένο Δίκτυο		Μη Διασυνδεδεμένο Νησιά	
			>100 kWp	≤100 kWp	ανεξαρτήτου ισχύος (εξαιρούνται αυτά του Ειδικού Προγράμματος)	
2009	Φεβρουάριος	550	400	450	450	
	Αύγουστος					
2010	Φεβρουάριος		392,04	441,05	441,05	
	Αύγουστος		372,83	419,43	419,43	
2011	Φεβρουάριος		351,01	394,88	394,88	
	Αύγουστος		333,27	375,53	375,53	
2012	Φεβρουάριος		522.5	314,27	353,56	353,56
	Αύγουστος		496,38	298,38	336,23	336,23
2013	Φεβρουάριος		496,38	281,38	316,55	316,55
	Αύγουστος		471,56	268,94	302,56	302,56
2014	Φεβρουάριος	471,56	260,97	293,59	293,59	
	Αύγουστος					

*Οι τιμές που καθορίζονται στον ανωτέρω πίνακα προσαυξάνονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή (πληθωρισμός) του προηγούμενου έτους, όπως αυτός καθορίζεται από την Τράπεζα της Ελλάδος, (παρ.7 αρ.5 του ν.3851/2010)

Πίνακας 1.4 Τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από Φ/Β συστήματα.

Η διαδικασία αδειοδότησης έως την έναρξη λειτουργίας των Φ/Β συστημάτων ποικίλει ανάλογα με τον τόπο και την φύση της εγκατάστασης, καθώς και από την εγκατεστημένη ισχύ. Τα βασικά βήματα, ωστόσο, είναι τα ακόλουθα (με τη σειρά που παρουσιάζονται):

- 1) Άδεια Παραγωγής
- 2) Προσφορά Σύνδεσης
- 3) Απόφαση Ε.Π.Ο
- 4) Άδεια Εγκατάστασης
- 5) Εγγυητική Επιστολή
- 6) Σύμβαση Σύνδεσης
- 7) Σύμβαση Πώλησης
- 8) Άδεια Λειτουργίας

1) Άδεια Παραγωγής

Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν Άδεια Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φυσικά ή νομικά πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από -μεταξύ άλλων τεχνολογιών

Α.Π.Ε- φωτοβολταϊκούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ $\leq 1\text{MWp}$. Το όριο αυτό ισχύει για το σύνολο των σταθμών που ανήκουν στο ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο και εγκαθίστανται στο ίδιο ή όμορο ακίνητο, με την τιμολόγηση να γίνεται βάσει της αθροιστικής ισχύος του συνόλου των σταθμών (παρ.12 άρθ.2 του Ν.3851/2010).

Η άδεια χορηγείται με απόφαση της Ρ.Α.Ε. βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων (παρ.1 του άρθ.2 του Ν.3851/2010). Η Ρ.Α.Ε. πριν εκδώσει την απόφασή της, εξετάζει τον καθορισμό του τρόπου και του σημείου σύνδεσης του σταθμού με το Σύστημα ή το Δίκτυο. Η Ρ.Α.Ε. μέσα σε 20 ημέρες εξετάζει αν πληρούνται τα κριτήρια και αποφασίζει για τη χορήγηση ή μη Άδειας Παραγωγής μέσα σε 2 μήνες από την υποβολή της αίτησης, εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης. Η απόφαση αναρτάται στην ιστοσελίδα της Ρ.Α.Ε. και κοινοποιείται στον υπουργό ΠΕΚΑ, ο οποίος ελέγχει αυτεπαγγέλτως τη νομιμότητά της μέσα σε 20 ημέρες. Μέσα σε προθεσμία 15 ημερών από την ανάρτηση στην ιστοσελίδα της Ρ.Α.Ε. της απόφασης της Ρ.Α.Ε. όποιος έχει έννομο συμφέρον μπορεί να ασκήσει προσφυγή κατ' αυτής για έλεγχο της νομιμότητάς της και ο υπουργός αποφαινεται επί της προσφυγής μέσα 20 ημέρες από την κατάθεσή της στο υπουργείο. Σημειώνεται πως μέχρι να ολοκληρωθεί ο έλεγχος νομιμότητας αναστέλλεται η διαδικασία αδειοδότησης, ενώ μετά την ολοκλήρωση του ελέγχου νομιμότητας, η απόφαση της Ρ.Α.Ε. καταχωρείται στο μητρώο που τηρεί η Αυτοτελής Υπηρεσία για Α.Π.Ε. του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

Η Άδεια Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι 25 έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Εάν μέσα σε 30 μήνες από τη χορήγησή της δεν εκδοθεί Άδεια Εγκατάστασης, η Άδεια Παραγωγής παύει να ισχύει, εκτός αν συντελούνται συγκεκριμένοι λόγοι που δικαιολογούν την παραπάνω χρονική καθυστέρηση. (παρ.4 του άρθ.2 του Ν.3851/2010)

Η χορήγηση Άδειας Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. δεν απαλλάσσει τον κάτοχό της από την υποχρέωση να λάβει άλλες άδειες ή εγκρίσεις που προβλέπονται από την ισχύουσα νομοθεσία, όπως η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων και οι Άδειες Εγκατάστασης και Λειτουργίας. Η χορήγηση Άδειας Παραγωγής αποτελεί προϋπόθεση της υποβολής αιτήματος για τη χορήγηση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.). Πριν από τη χορήγηση της, οι αρμόδιες υπηρεσίες οφείλουν να εξετάζουν αιτήσεις ενδιαφερομένων για την έκδοση γνωμοδοτήσεων σχετικών με την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που απαιτούνται στο πλαίσιο της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης, σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις.

Μετά την έκδοση της Άδειας Παραγωγής από τη Ρ.Α.Ε., ο ενδιαφερόμενος προκειμένου να του χορηγηθεί άδεια εγκατάστασης, ζητά ταυτόχρονα την έκδοση:

- α) Προσφοράς Σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή.
- β) Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.), κατά το άρθ. 4 του Ν.1650/1986 και γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση Άδειας Παραγωγής, απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν Άδεια Εγκατάστασης και Λειτουργίας. Αντίθετα, υποχρεούνται στην τήρηση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης σύμφωνα με το άρθ. 4 του Ν.1650/1986.

2) Προσφορά Σύνδεσης

Η Προσφορά Σύνδεσης περιλαμβάνει την περιγραφή και τη δαπάνη των έργων σύνδεσης που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης. Η Δ.Ε.Η -ή οποιοσδήποτε πάροχος- γνωστοποιεί κάθε στοιχείο που θα ζητηθεί για την τεκμηρίωση της ανάγκης υλοποίησης των συγκεκριμένων έργων σύνδεσης και του κόστους αυτών. Μετά την αποδοχή της Προσφοράς Σύνδεσης, υπογράφεται η Σύμβαση Σύνδεσης μεταξύ του κυρίου του φωτοβολταϊκού και του Διαχειριστή του Δικτύου, και καταβάλλεται η σχετική δαπάνη.

Ο αρμόδιος Διαχειριστής με απόφασή του χορηγεί μέσα σε 4 μήνες την Προσφορά Σύνδεσης που ζητήθηκε, η οποία οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική:

α) με την έκδοση της απόφασης Ε.Π.Ο. για το σταθμό Α.Π.Ε.

ή

β) αν δεν απαιτείται απόφαση Ε.Π.Ο., με τη βεβαίωση από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας ότι ο σταθμός Α.Π.Ε. απαλλάσσεται από την υποχρέωση αυτή.

Η Προσφορά Σύνδεσης ισχύει για 4 έτη από την οριστικοποίησή της και δεσμεύει τον Διαχειριστή και τον δικαιούχο. Αφού καταστεί δεσμευτική η Προσφορά Σύνδεσης, ο δικαιούχος ενεργεί:

α) για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης

β) για τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης και της Σύμβασης Πώλησης.

3) Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.)

Φωτοβολταϊκοί σταθμοί που εγκαθίστανται σε κτίρια ή και άλλες δομικές κατασκευές ή εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (ΒΙ.ΠΕ, ΒΙΟ.ΠΑ κ.λ.π), εξαιρούνται, από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης Ε.Π.Ο. Ομοίως, εξαιρούνται οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η εγκατεστημένη τους ηλεκτρική ισχύς δεν υπερβαίνει τα 0,5 MW.

Για τις ανωτέρω περιπτώσεις απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας. Για τη χορήγηση της βεβαίωσης εξετάζεται μόνο η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού και ότι ο χώρος εγκατάστασης δεν εμπίπτει σε γήπεδα που:

α) βρίσκονται σε περιοχές Natura 2000,

β) βρίσκονται σε παράκτιες ζώνες που απέχουν λιγότερο από 100 μέτρα από την οριογραμμή του αιγιαλού,

γ) γειτνιάζουν σε απόσταση μικρότερη των 150 μέτρων, με σταθμό Α.Π.Ε. της ίδιας τεχνολογίας που είναι εγκατεστημένος σε άλλο γήπεδο και έχει εκδοθεί γι' αυτόν άδεια παραγωγής ή απόφαση Ε.Π.Ο. ή προσφορά σύνδεσης, η δε συνολική ισχύς των σταθμών υπερβαίνει το 0,5 MW.

Κατ' εξαίρεση, για τις παραπάνω τρεις περιπτώσεις επιβάλλεται διαδικασία Ε.Π.Ο.

Για εγκαταστάσεις που απαιτείται η έκδοση απόφασης Ε.Π.Ο. των έργων από Α.Π.Ε. (άρθ. 4 του Ν.1650/1986), υποβάλλεται πλήρης φάκελος και Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) στην Περιφέρεια, η οποία και αποφαινεται για τη χορήγηση ή μη απόφασης Ε.Π.Ο. μέσα σε 4 μήνες από το χρόνο που ο φάκελος θεωρήθηκε πλήρης. Η απόφαση Ε.Π.Ο. για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ισχύει για 10 έτη και μπορεί να ανανεώνεται, με αίτηση που υποβάλλεται υποχρεωτικά 6 μήνες πριν από τη λήξη της, για μία ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο κάθε φορά.

4) Άδεια Εγκατάστασης

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή χορηγείται, από την αρμόδια Περιφέρεια σε προθεσμία 15 εργάσιμων ημερών από την ολοκλήρωση της διαδικασίας ελέγχου των δικαιολογητικών. Ο έλεγχος αυτός πρέπει σε κάθε περίπτωση να έχει ολοκληρωθεί μέσα σε 30 εργάσιμες ημέρες από την κατάθεση της σχετικής αίτησης. Η Άδεια Εγκατάστασης ισχύει για 2 έτη και μπορεί να παρατείνεται, κατ' ανώτατο όριο, για ίσο χρόνο.

5) Εγγυητική Επιστολή

Στόχος της Εγγυητικής Επιστολής (η οποία προβλέπεται στη παρ.15 άρθ.3 του Ν.3851/2010) είναι να διασφαλιστεί η φερεγγυότητα των ενδιαφερόμενων επενδυτών και να αποφευχθεί ο κίνδυνος της δέσμευσης ηλεκτρικού χώρου χωρίς πραγματικό επενδυτικό ενδιαφέρον.

Εξαιρούνται από την υποχρέωση παροχής εγγυήσεων παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε:

- α) που εγκαθίστανται σε κτιριακές εγκαταστάσεις
- β) που είχαν αξιολογηθεί από τη Ρ.Α.Ε. ως προς την οικονομική τους δυνατότητα (περίπτωση (ζ) της παρ. 1 του άρθ. 3 του Ν. 3468/2006) και οι σχετικοί φάκελοι είχαν διαβιβασθεί στην αρμόδια υπηρεσία περιβαλλοντικής αδειοδότησης για διενέργεια προκαταρκτικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και αξιολόγησης,
- γ) για τους οποίους έχει υπογραφεί Σύμβαση Σύνδεσης πριν τις 04.06.2010 (έναρξη ισχύος του Ν.3851/2010)
- δ) που είχαν εξαιρεθεί από την υποχρέωση έκδοσης Άδειας Παραγωγής πριν τις 04.06.2010 (έναρξη ισχύος του Ν.3851/2010).

Οι Παραγωγοί που εμπίπτουν στο καθεστώς εγγυοδοσίας οφείλουν να προσκομίσουν πριν την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης του σταθμού τους με τον αρμόδιο Διαχειριστή του Δικτύου:

- α) εγγυητική επιστολή που το ύψος της σε ευρώ είναι ίσο με το γινόμενο της ονομαστικής ισχύος του σταθμού (σε kW) επί 150 ευρώ / kW,
- β) επιστολή κατ' αρχήν ενδιαφέροντος τράπεζας ή άλλου πιστωτικού ιδρύματος για τη χρηματοδότηση της επένδυσής τους. Η απαίτηση για την τραπεζική επιστολή, έχει στόχο την προστασία των ίδιων των Παραγωγών από τον κίνδυνο να μην εξασφαλίσουν την αναγκαία χρηματοδότηση σε εύλογο χρονικό διάστημα και να καταπέσει η εγγυητική τους.

Στην περίπτωση που ο παραγωγός δεν φροντίσει να «ηλεκτριστούν» οι εγκαταστάσεις του σταθμού του μέσα σε 18 μήνες από την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης, η εγγυητική του επιστολή καταπίπτει υπέρ του Διαχειριστή (και τελικώς, στον ειδικό λογαριασμό του ΔΕΣΜΗΕ κατά το άρθ.40 του Ν.2773/1999), αλλιώς του επιστρέφεται αμέσως μετά την ηλέκτριση. Η εγγυητική επιστολή καταπίπτει μόνο στην περίπτωση που η καθυστέρηση οφείλεται στον Παραγωγό και όχι σε δικαστική απόφαση ή διοικητική πράξη που συνεπάγεται την αναστολή των εργασιών εγκατάστασης.

6) Σύμβαση Σύνδεσης

Στις Συμβάσεις Σύνδεσης που συνάπτει ο αρμόδιος Διαχειριστής με τους φορείς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. καθορίζεται προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή Δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας. Πιθανά έσοδα από την κατάπτωση των εγγυήσεων ή ποινικών ρητρών αποτελούν πόρο του ειδικού λογαριασμού, που διαχειρίζεται ο Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) στον οποίο και αποδίδονται. (κατά το άρθ. 40 του Ν.2773/1999). Ο επενδυτής αφού πάρει την Άδεια Εγκατάστασης, μπορεί να υποβάλλει αίτηση σύνδεσης στον αρμόδιο Διαχειριστή μετά την οποία, τα ενδιαφερόμενα μέρη προχωρούν, είτε στην υπογραφή τριμερούς Σύμβασης Σύνδεσης στην περίπτωση σύνδεσης στο Σύστημα (ΔΕΣΜΗΕ-ΔΕΗ-επενδυτής), είτε διμερούς στην περίπτωση σύνδεσης σε Δίκτυο (Διαχειριστής-επενδυτής).

7) Σύμβαση Πώλησης

Για την ένταξη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, περιλαμβανομένου και του Δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, ο Διαχειριστής του Συστήματος (εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδέονται στο Σύστημα, είτε απευθείας, είτε μέσω του Δικτύου) ή ο Διαχειριστής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (εφόσον οι εγκαταστάσεις παραγωγής συνδέονται με το Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών) υποχρεούνται να συνάπτουν Σύμβαση Πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με τον κάτοχο του σταθμού.(άρθ. 12 του Ν.3465/2006)

Με τη ΚΥΑ 17149/2010 (ΦΕΚ Β΄1497/6.9.2010) καθορίζεται ο τύπος και το περιεχόμενο της Σύμβασης Πώλησης που συνάπτεται μεταξύ του Παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας και του Διαχειριστή του Συστήματος ή του Διαχειριστή Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών και αναφέρονται λεπτομερώς οι υποχρεώσεις και τα δικαιώματα των δυο πλευρών. Η Σύμβαση Πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε. και ισχύει για 20 έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών.(άρθ. 5 του Ν.3851/2010)

8) Άδεια Λειτουργίας

Για τη λειτουργία των σταθμών απαιτείται τέλος, Άδεια Λειτουργίας που χορηγείται με απόφαση της αρμόδιας Περιφέρειας μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και εκδίδεται μέσα σε αποκλειστική προθεσμία 20 ημερών από την ολοκλήρωση των απαραίτητων ελέγχων. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται από κλιμάκιο των αρμόδιων υπηρεσιών της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης στη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, συμπεριλαμβανομένου ελέγχου της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του, που μπορεί να διενεργείται και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Η Άδεια Λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ισχύει για 20 τουλάχιστον έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα.

1.5 Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σύμφωνα με την νομοθεσία

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, θα μπορούσαμε να κατατάξουμε τα συνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα, σε τρεις ευρύτερες κατηγορίες με στόχο την πληρέστερη απόδοση του νομοθετικού πλαισίου.

1.5.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα σε κτιριακές εγκαταστάσεις

Πιο συγκεκριμένα για εγκαταστάσεις ΦΒ συστημάτων ανεξαρτήτου ισχύος σε κτήρια (εξαιρούνται αυτά που εντάσσονται στο *Ειδικό Πρόγραμμα*) ισχύει:

Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/2010 (ΦΕΚ Α.Α.Π.376/6.9.2010) επιτρέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε ισχύος στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγαστρών βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης. Ενώ, δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου και του φρεατίου ανελκυστήρα.

Επίσης, επιτρέπεται η εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε οργανωμένους υποδοχείς μεταποιητικών και επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, όπως περιοχές ΒΙ.ΠΕ., ΒΙΟ.ΠΑ. και άλλες μορφές Βιομηχανικών και Επιχειρηματικών Περιοχών (Β.Ε.ΠΕ.), καθώς και στα επιχειρηματικά πάρκα, και στους οικισμούς χωρίς σχέδιο σύμφωνα με τους ισχύοντες όρους δόμησης (κάλυψη, μέγιστο ύψος, κ.λπ.) για την τοποθέτηση των Φ/Β εγκαταστάσεων.

Για την εγκατάσταση των συστημάτων αυτών δεν απαιτείται η έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.), ενώ επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων μετά από έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας:

α) Σε χαρακτηρισμένους παραδοσιακούς οικισμούς, ιστορικά τμήματα πόλεων και διατηρητέα κτίρια που προστατεύονται ως προς την αρχιτεκτονική και πολεοδομική μορφολογία από ειδικά διατάγματα, εφόσον δεν απαγορεύεται η εγκατάστασή τους και υπό

τον όρο ότι τοποθετούνται στους ακάλυπτους χώρους των κτιρίων και σε σημεία μη ορατά από κοινόχρηστους χώρους.

β) Σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, εφόσον δεν απαγορεύεται η εγκατάστασή τους από τη σχετική νομοθεσία προστασίας και εναρμονίζονται κατά το δυνατόν οι εγκαταστάσεις με τον περιβάλλοντα χώρο.

Για τις παραπάνω περιπτώσεις δεν επιτρέπεται η διάνοιξη νέων ή η διαπλάτυνση υφιστάμενων οδών.

Η έγκριση χορηγείται ύστερα από σύμφωνη γνώμη της αρμόδιας Ε.Π.Α.Ε., η οποία ελέγχει την τήρηση των ανωτέρω προϋποθέσεων, την ένταξη των εγκαταστάσεων τους στον χώρο, καθώς και την εναρμόνισή τους με το τοπίο. Στις περιπτώσεις που απαιτείται έγκριση από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Πολιτισμού και Τουρισμού υποβάλλεται σκαρίφημα του χώρου τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων και φωτογραφική τεκμηρίωση.

Ειδικά για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων πάνω σε κτίρια και για ισχύ μέχρι των 100 kW δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, ούτε έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει:

α) έγγραφο γνωστοποίησης εργασιών και εκπόνησης της μελέτης εγκατάστασης και ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στον Διαχειριστή του Δικτύου ή σε άλλο προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί το κτίριο όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα, η οποία υπογράφεται από τον ενδιαφερόμενο και τον επιβλέποντα για την εγκατάσταση μηχανικό και επέχει θέση υπεύθυνης δήλωσης που τους καθιστά υπεύθυνους κατά νόμο για την τήρηση των όρων της παρούσας απόφασης.

β) υπεύθυνη δήλωση ότι δεν απαιτείται γνωμοδότηση της Επιτροπής Πολεοδομικού Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.). Στις περιπτώσεις όπου απαιτείται η γνωμοδότηση της Ε.Π.Α.Ε., αυτή κατατίθεται μαζί με το έγγραφο γνωστοποίησης εργασιών.

Για τη σύνδεση με τον Διαχειριστή του Δικτύου δεν απαιτείται αυτοψία ή άλλη ενέργεια της αρμόδιας Πολεοδομικής Υπηρεσίας. Ο αρμόδιος Διαχειριστής οφείλει να κοινοποιεί τη Σύμβαση Σύνδεσης στην αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας, πέραν των λοιπών αποδεκτών.

Για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων πάνω σε κτίρια για ισχύ μεγαλύτερη των 100 kW, απαιτείται η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας σύμφωνα με τις διατάξεις της υπ' αριθμ. οικ.5219/3.2.2004 (ΦΕΚ Δ'114/17.2.2004) υπουργικής απόφασης, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει, και απαιτείται η υποβολή δήλωσης στατικής επάρκειας του κτιρίου πάνω στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση, υπογεγραμμένη από διπλωματούχο πολιτικό μηχανικό.



Εικόνα 1.5 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 100 kWp σε βιομηχανική στέγη στη Ρόδο.

Όσον αφορά κτίρια που βρίσκονται σε περιοχές εκτός σχεδίου, για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων ανεξαρτήτως ισχύος, ισχύουν τα όσα ισχύουν και για τα εντός (βλ. παραπάνω) (παρ. 1 έως 7 του άρθ. 3 «Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμούς» ,ΦΕΚ Α.Α.Π.376/6.9.2010). Ειδικότερα, για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια ισχύος μεγαλύτερης από 10 kWp εκτός σχεδίου πόλεως απαιτείται υποβολή τοπογραφικού διαγράμματος και αντίγραφο της οικοδομικής άδειας.

1.5.2 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί επί εδάφους (αγροτεμάχια, οικόπεδα)

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε οικόπεδα εντός σχεδίου πόλεως επιτρέπεται μετά από έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας στους ακάλυπτους χώρους των οικοπέδων που βρίσκονται σε περιοχές εντός σχεδίου και εντός οικισμών, σύμφωνα με τις διατάξεις της παρ. 2 του άρθ. 3 του Ειδικού Χωροταξικού Πλαισίου για τις Α.Π.Ε. (ΦΕΚ Β'2464/3.12.2008), με την επιφύλαξη των διατάξεων του άρθ. 23 του Κτιριοδομικού Κανονισμού περί φύτευσης οικοπέδων. Για την εγκατάσταση των συστημάτων αυτών δεν απαιτείται η έγκριση της αρμόδιας Ε.Π.Α.Ε., ενώ δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε αδόμητα οικόπεδα εντός σχεδίου πόλεως.

Σε περίπτωση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε χαρακτηρισμένους παραδοσιακούς οικισμούς, ιστορικά τμήματα πόλεων, καθώς και περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, ισχύουν οι όροι και η διαδικασία που αναφέρθηκαν στην κατηγορία Φωτοβολταϊκά συστήματα σε κτιριακές εγκαταστάσεις (βλ. παραπάνω), σύμφωνα με την ΥΑ 36720/2010 (ΦΕΚ Α.Α.Π.376/6.9.2010) και την ΥΑ 9154/2011 (ΦΕΚ Β'583/14.4.2011).

Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες υπουργικές αποφάσεις επιτρέπεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών ανεξαρτήτως ισχύος σε γήπεδα (αγροτεμάχια και οικόπεδα) που βρίσκονται σε εκτός σχεδίου περιοχές, ανεξαρτήτως οικοδομησιμότητας και αρτιότητας. Για τη χωροθέτηση των συστημάτων αυτών εφαρμόζονται τα κριτήρια της παρ. 2 του άρθ. 17 της υπ' αριθμ. 49828/2008 Υπουργικής απόφασης για την έγκριση του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις Α.Π.Ε. (ΦΕΚ Β'2464/3.12.2008).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν σε κάλυψη το 60% της επιφάνειας του γηπέδου. Ως κάλυψη, νοείται η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού, ενώ δεν συνυπολογίζονται τα κενά μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Σε περίπτωση ανέγερσης και άλλων χρήσεων δομικών κατασκευών εντός του γηπέδου (όπως κατοικία, γεωργικές αποθήκες κ.λ.π.), αυτές συνυπολογίζονται στο παραπάνω καθοριζόμενο ποσοστό κάλυψης.



Εικόνα 1.6 Φωτοβολταϊκός σταθμός ισχύος 99.36 kWp αποτελούμενος από 414 μονοκρυσταλλικά πλαίσια στη Πάρο.

Απαραίτητη προϋπόθεση, για την εγκατάσταση των Φ/Β συστημάτων, είναι η απόδειξη της κυριότητας ή της νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης τους. Επίσης, δεν απαιτείται η έκδοση οικοδομικής άδειας, αλλά έκδοση έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας που εκδίδεται από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας, σύμφωνα με τις διατάξεις της υπ' αριθμ. 5219/2004 (ΦΕΚ Δ'114/17.2.2004) υπουργικής απόφασης. Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας εργασίες από σκυρόδεμα που συνοδεύουν τις παρακάτω αναγκαίες κατασκευές για την εγκατάσταση των Φ/Β συστημάτων, όπως θεμελιώσεις των βάσεων στήριξης των Φ/Β στοιχείων. Για εργασίες όπως η θεμελίωση των βάσεων στήριξης των Φ/Β στοιχείων με πασαλόμπηξη, με γεώβιδες, με χρήση βαρυντικών βάσεων, ακόμα και όταν μέρος τους (μέχρι 50%) τοποθετείται κάτω από τη φυσική στάθμη του εδάφους, καθώς και πάσης φύσεως οικίσκοι που εδράζονται βαρυντικά στο έδαφος και που ως αποκλειστικό σκοπό έχουν την προφύλαξη του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του σταθμού, δεν απαιτείται έκδοση οικοδομικής άδειας (ΦΕΚ Β'583/14.4.2011).

Οι αναγκαίες κατασκευές που συνοδεύουν – απαιτούνται για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι: α) στύλισκος Δ.Ε.Η., β) οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού, ανά 500 kW εγκατεστημένης ισχύος, προκατασκευασμένος και με απολύτως αναγκαίες διαστάσεις μέχρι 15 m² και συνολικού ύψους μέχρι και 2.5 m με τη δυνατότητα προσαύξησης του ύψους αυτού μέχρι 20% στην περίπτωση εγκατάστασης εργοστασιακών πεδίων διανομής των αντιστροφών μετασχηματιστών, γ) περίφραξη με συρματοπλέγμα στα όρια της ιδιοκτησίας μέχρι 2.5 m με συμπαγές τοιχίο ύψους έως 30 cm. για την προστασία της εγκατάστασης.



Εικόνα 1.7 Φωτοβολταϊκός σταθμός εγκατεστημένης ισχύος 637,2kW με ηλιοστάτες 2 αξόνων έξω από το Ρέθυμνο.

Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τυχόν οικίσκος που χρησιμοποιείται για τη στέγαση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού των συστημάτων αυτών πρέπει να απέχει από τα όρια των γηπέδων:

- α) απόσταση ίση με 2,5 m, όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων είναι μέχρι και 2,5 m
 - β) απόσταση ίση με 5 m, όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα 2,5m.
- Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης βασίζεται στην προβολή επί του οριζοντίου επιπέδου του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού για όλες τις πιθανές θέσεις που αυτός λαμβάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Βάσει του Ν.3851/2010, απαγορεύεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς Α.Π.Ε. σε αγροτεμάχια της σε περιοχές της Επικράτειας που έχουν καθοριστεί ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας. (τα κριτήρια καθορισμού με τα οποία η γεωργική γη χαρακτηρίζεται σε ποιότητες και κατατάσσεται σε κατηγορίες παραγωγικότητας βρίσκονται στο ΦΕΚ Β'1528/7.9.2010).

Εξαιρούνται οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί για τους οποίους έχουν ήδη εκδοθεί Άδειες Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ή, σε περίπτωση απαλλαγής, δεσμευτικές προσφορές σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή) που καλύπτουν εδαφικές εκτάσεις που δεν υπερβαίνουν το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του συγκεκριμένου νομού. Για την εφαρμογή της διάταξης του προηγούμενου εδαφίου, χρησιμοποιούνται τα στοιχεία της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2008 της Γενικής Γραμματείας της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας και για τον υπολογισμό της κάλυψης λαμβάνεται υπόψη η οριζόντια προβολή επί του εδάφους των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η διαδικασία χαρακτηρισμού της αγροτικής γης από τον ενδιαφερόμενο, όπως και οι λεπτομέρειες τις διαδικασίες αδειοδότησης για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών, βρίσκονται στην Εγκύκλιο ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.26928, «Εφαρμογή των διατάξεων του Ν.3851/2010 σχετικών με την εξέταση αιτημάτων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών». Οι ενδιαφερόμενοι επαγγελματίες αγρότες, πριν ξεκινήσουν τη διαδικασία αδειοδότησης της εγκατάστασης ΦΒ συστήματος, καλούνται να χορηγηθούν έγγραφο με τον χαρακτηρισμό γεωργικής γης και την έκδοση άδειας για το επιτρεπτό της εγκατάστασης Φ/Β σε Γεωργική Γη Υψηλής Παραγωγικότητας (Γ.Γ.Υ.Π.) (κάλυψη έως 1%). Ως επαγγελματίες, ορίζονται οι αγρότες που πληρούν τα κριτήρια σύμφωνα με το ΦΕΚ Β'1049/12.07.2010 και έχουν δικαίωμα εγκατάστασης Φ/Β συστήματος ισχύος ≤ 100 kWp σε εκτάσεις ιδιοκτησίας τους, επωφελούμενοι την επιστροφή του Φ.Π.Α (ειδικό καθεστώς Φ.Π.Α).

1.5.3 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα (≤ 10 kWp)

(Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης ΦΒ Συστημάτων Σε Κτιριακές Εγκαταστάσεις Και Ιδίως Σε Δώματα Και Στέγες Κτιρίων ,ΦΕΚ Β'1079/4.6.2009 και Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις, ΦΕΚ Β'1557/22.9.2010)

Το πρόγραμμα αφορά συστήματα παραγωγής που εγχέουν ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο χαμηλής τάσης (Δίκτυο), τα οποία εγκαθίστανται στο δώμα ή τη στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, όπως αυτά ορίζονται στη διάταξη της παρ. 6 του άρθ. 11 του Ν.1577/85, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης, όπως αυτά ορίζονται στη διάταξη της παρ.17 του άρθ. 2 του ίδιου νόμου. Από τον Σεπτέμβριο του 2010, το πρόγραμμα καλύπτει όλη την Επικράτεια και ως μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων ορίζεται, για την ηπειρωτική χώρα, τα Διασυνδεδεμένα με το Σύστημα νησιά και την Κρήτη τα 10 kWp και για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά τα 5 kWp. Σημειώνεται πως τα παραπάνω συστήματα δεν υπολογίζονται στην επιδιωκόμενη κάλυψη εγκατεστημένης ισχύος από φωτοβολταϊκά συστήματα (ΦΕΚ Β'1630/11.10.2010).



Εικόνα 1.8 Φωτοβολταϊκό σύστημα 4,83 kWp εγκατεστημένο σε στέγη κατοικίας στην Παλλήνη.

Δικαίωμα ένταξης στο Ειδικό πρόγραμμα έχουν:

- α) οικιακοί καταναλωτές (στο δώμα ή στη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης.)
- β) πολύ μικρές επιχειρήσεις (αυτές που απασχολούν έως 10 άτομα και έχει κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού έως 2 εκατ. € ετησίως.)
- γ) Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου (Ν.Π.Δ.Δ.) και Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού Δικαίου (Ν.Π.Ι.Δ.) μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα, τα οποία έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Για την εγκατάσταση Φ/Β σε πολυκατοικίες θα πρέπει, είτε να συμφωνήσουν εγγράφως οι υπόλοιποι ιδιοκτήτες, είτε το φωτοβολταϊκό να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών (τους οποίους στην περίπτωση αυτή εκπροσωπεί ο διαχειριστής). Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει ένα μόνο σύστημα. Επίσης, αν η ταράτσα είναι κοινόκτητη, οι κύριοι του χώρου δικαιούνται να την παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη του κτιρίου που δεν έχει δικαιώματα στην ταράτσα. Αν το σύστημα μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μουν περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

Οι προϋποθέσεις για να ενταχθεί κανείς στο εν λόγω πρόγραμμα είναι:

1. Να έχει μετρητή της Δ.Ε.Η στο όνομά του (ή στον κοινόχρηστο λογαριασμό της πολυκατοικίας αν επιλεγεί η συλλογική εγκατάσταση).
2. Να καλύπτει μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, βιομάζα, γεωθερμική αντλία θερμότητας).
3. Η μη ύπαρξη δημόσιας ενίσχυσης σε πλαίσιο αναπτυξιακού ή επενδυτικού νόμου, των συγχρηματοδοτούμενων από την Ευρωπαϊκή Ένωση δράσεων χρηματοδότησης (πχ. ΕΣΠΑ) και γενικότερα οποιουδήποτε άλλου προγράμματος χρηματοδότησης.

Η Σύμβαση Συμψηφισμού συνάπτεται μεταξύ του κυρίου του φωτοβολταϊκού και της Δ.Ε.Η (ή άλλου προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί το κτίριο όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα), για 25 έτη, με έναρξη ισχύος την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του συστήματος. Η εν λόγω σύμβαση συνομολογείται με σταθερή τιμή αναφοράς και αντιστοιχεί στο έτος που αυτή συνάπτεται, υπό την προϋπόθεση ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος, εντός 6 μηνών από τη σύναψη της Σύμβασης Συμψηφισμού. Σε αντίθετη περίπτωση, ως τιμή αναφοράς θα λαμβάνεται η τιμή που αντιστοιχεί στο έτος που πραγματοποιείται η ενεργοποίηση της σύνδεσης του συστήματος. Στην περίπτωση που ο κύριος του φωτοβολταϊκού αλλάξει προμηθευτή για την ηλεκτροδότηση του κτιρίου, λήγει αυτοδικαίως η Σύμβαση Συμψηφισμού και συνάπτεται νέα, για το υπολειπόμενο των 25 ετών διάστημα μεταξύ του κυρίου του φωτοβολταϊκού και του νέου προμηθευτή.

Η τιμή της παραγόμενης, από το φωτοβολταϊκό σύστημα, ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο ορίζεται σε 0,55 Ευρώ/kWh για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται τα έτη 2009, 2010, 2011. Η τιμή μειώνεται κατά 5% ετησίως για τις συμβάσεις που συνάπτονται το διάστημα από 1.1.2012 μέχρι και 31.12.2019. Επίσης, αναπροσαρμόζονται κάθε έτος κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή (πληθωρισμός) του προηγούμενου έτους, όπως αυτός καθορίζεται από την Τράπεζα της Ελλάδος.(παρ.7 άρθ.5 του Ν.3851/2010)



Εικόνα 1.9 Φωτοβολταϊκό σύστημα 9,87 kWp αποτελούμενο από πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου σε οροφή στη Λάρισα.

Η μικρή ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξασφαλίζει ότι η παραγόμενη ενέργεια αντιστοιχεί σε αυτήν που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κυρίου του φωτοβολταϊκού συστήματος. Με την έγχυση της παραγόμενης ενέργειας στο Δίκτυο επιτυγχάνεται η καταγραφή της στο πλαίσιο επίτευξης των στόχων διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που τίθενται από την Οδηγία 2001/77/ΕΚ. Κατά συνέπεια, δεν υφίστανται για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος, φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο Δίκτυο. Κάθε φορά που εκδίδεται εκκαθαριστικός λογαριασμός, συμψηφίζεται το ποσό των εσόδων από τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με τον εκάστοτε λογαριασμό της Δ.Ε.Η -ή οποιουδήποτε άλλου παρόχου- και το υπόλοιπο που απομένει πιστώνεται σε τραπεζικό λογαριασμό του Παραγωγού - ιδιοκτήτη.

Για την εγκατάσταση οικιακών φωτοβολταϊκών, δεν απαιτείται καμία άδεια (με εξαίρεση διατηρητέα κτίρια και παραδοσιακούς οικισμούς όπου απαιτείται η έγκριση της Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου, ΕΠΑΕ). Επίσης, δεν χρειάζεται ούτε άδεια εργασιών μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, αλλά αρκεί μια απλή γνωστοποίηση προς τη Δ.Ε.Η ή άλλο προμηθευτή που ηλεκτροδοτεί το κτίριο όπου εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα, ότι ξεκινά η εγκατάσταση.(παρ.6 , άρθ.2, « Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών, και σε οικισμού». ΦΕΚ Α.Α.Π.376/06.09.2010)

Στη συνέχεια, ακολουθεί υπόδειγμα διαδικασίας σύνδεσης Φ/Β σταθμού που εμπίπτει στο Ειδικό Πρόγραμμα, με προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας τη Δ.Ε.Η.

- 1) Υποβολή της αίτησης σύνδεσης στην τοπική μονάδα δικτύου της ΔΕΗ (Περιοχή). Η ΔΕΗ εξετάζει το αίτημα και προβαίνει εντός 20 ημερών από την παραλαβή της αίτησης στην έγγραφη διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης προς τον ενδιαφερόμενο, η οποία περιλαμβάνει την περιγραφή και δαπάνη των έργων σύνδεσης και ισχύει για 3 μήνες από την ημερομηνία έκδοσης της.

- 2) Υποβολή αίτησης κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης στην Περιοχή της ΔΕΗ. Στην αίτηση αναφέρεται ότι γίνεται δεκτή η αίτηση Προσφοράς Σύνδεσης από τον ενδιαφερόμενο και κατά περίπτωση επισυνάπτεται η έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας ή δυο ή δυο Υπεύθυνες Δηλώσεις του Ν.1599/86 του κυρίου του ΦΒ και του υπευθύνου για την εγκατάσταση μηχανικού.
- 3) Υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης με ταυτόχρονη καταβολή της σχετικής δαπάνης στην Περιοχή ΔΕΗ. Η ΔΕΗ κατασκευάζει τα έργα σύνδεσης εντός 20 ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης, εφόσον δεν απαιτούνται νέα έργα Δικτύου (πέραν της εγκατάστασης νέου μετρητή)
- 4) Υποβολή αίτησης κατάρτισης της Σύμβασης Συμψηφισμού στην τοπική υπηρεσία Εμπορίας της ΔΕΗ, ή στα γραφεία άλλου προμηθευτή (εφόσον η ΔΕΗ δεν είναι ο προμηθευτής ηλεκτρικής ενέργειας για τον συγκεκριμένο μετρητή κατανάλωσης με τον οποίο θα γίνει συμψηφισμός)
- 5) Υπογραφή της Σύμβασης Συμψηφισμού όπου πραγματοποιείται εντός 15 ημερών από την παραλαβή του αιτήματος.
- 6) Υποβολή αίτησης ενεργοποίησης της σύνδεσης στην Περιοχή της ΔΕΗ. Επισυνάπτονται τα απαιτούμενα κατά το στάδιο αυτό έγγραφα και στοιχεία του εντύπου αίτησης. Προϋποθέσεις είναι η ετοιμότητα της εγκατάστασης και η ολοκλήρωση των εργασιών σύνδεσης. Η ΔΕΗ ειδοποιεί τηλεφωνικά τον ενδιαφερόμενο για τον ορισμό της ημερομηνίας διενέργειας του ελέγχου της εγκατάστασης.
- 7) Ενεργοποίηση της σύνδεσης, όπου πραγματοποιείται μετά την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου.

Τέλος, για τα διασυνδεδεμένα νησιά (είτε με το Σύστημα, είτε με το Δίκτυο), η Ρ.Α.Ε. επικαλούμενη τα ευαίσθητα οικοσυστήματα τους, καθώς και τα περιορισμένα περιθώρια ανάπτυξης του παραγωγικού τους δυναμικού, σε ανακοίνωση της στις 15.11.2010, πρότεινε πλαφόν 150 kW στην εγκατεστημένη ισχύ των Φ/Β σταθμών, πρόταση που επισημοποιήθηκε με την Υπουργική Απόφαση του Υ.ΠΕ.Κ.Α με αριθμό ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.27904 (ΦΕΚ Β'2143/31.12.2010). Επίσης με την απόφαση υπ. αριθμ. 1253/2010, η Ρ.Α.Ε προσδιόρισε τα περιθώρια ισχύος για φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε όλα τα διασυνδεδεμένα νησιά. Οι Προσφορές Σύνδεσης για τα διασυνδεδεμένα νησιά θα έχουν διάρκεια 6 μηνών (αντί για 4 έτη που ισχύει στην ηπειρωτική Ελλάδα), ενώ μετά την άπρακτη παρέλευση του εξαμήνου θα αποδεδεσμεύεται η αντίστοιχη ισχύς και άρα στη συνέχεια μπορούν να γίνουν δεκτές περαιτέρω αιτήσεις ανάλογα με τα διαμορφούμενα κατά περίπτωση περιθώρια ισχύος. Σημειώνεται ότι στο περιθώριο ισχύος κάθε νησιού συμπεριλαμβάνεται και η ισχύς των Φ/Β συστημάτων που εντάσσονται στο Ειδικό Πρόγραμμα (ΦΕΚ Β'1079/4.6.2009), ενώ οι λεπτομέρειες για την υποδοχή αιτημάτων σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στα διασυνδεδεμένα νησιά αναφέρονται στην 6^η ανακοίνωση της Δ.Ε.Η..

Συνοπτικός πίνακας με τα βασικά βήματα αδειοδότησης Φ/Β συστημάτων σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

		ν	α
απαιτείται	ενδέχεται		
εγκατάσταση Φ/Β συστήματος σε			
κτήρια εκτός/εκτός σχεδίου πόλης			
	0-100 kWp	ν	α
	101-1000 kWp	ν	α
	>1 MWp	ν	α
οικόπεδα εκτός σχεδίου			
	0-500 kWp	ν	α
	501-1000 kWp	ν	α
	>1 MWp	ν	α
γήπεδα εκτός σχεδίου			
	0-500 kWp	ν	α
	501-1000 kWp	ν	α
	>1 MWp	ν	α
Ειδικό Πρόγραμμα(≤10kWp)			
Άδεια Παραγωγής		ν	
Προσφορά Σύνδεσης		ν	
Απόφαση Ε.Π.Ο		ν	
Βεβαίωση απαλλαγής Απόφασης Ε.Π.Ο		ν	
Άδεια Εγκατάστασης		ν	
Εγγυητική Επιστολή			
Σύμβαση Σύνδεσης		ν	
Σύμβαση Πώλησης		ν	
Άδεια Λειτουργίας		ν	
Σύμβαση Συμφηφισμού			ν
Έγκριση Ε.Π.Α.Ε		α	α
Έγκριση εργασιών οδομητικής μικρής κλίμακας		α	α
Δήλωση στατικής επάρκειας		α	α

Επεξήγηση Όρων

Αδειούχος: Ο κάτοχος άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.): Οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η βιομάζα, τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, τα βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

Αυτόνομος Παραγωγός: (ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε), ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε. και του οποίου ο σταθμός δεν είναι συνδεδεμένος με το Σύστημα ή το Δίκτυο.

Αυτόνομο Ηλεκτρικό Σύστημα Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών: Το ηλεκτρικό σύστημα που τροφοδοτεί τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας ενός ή περισσότερων νησιών, διασυνδεδεμένων μεταξύ τους, το οποίο δεν είναι συνδεδεμένο με το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο ή το Σύστημα και περιλαμβάνει, ιδίως, σταθμούς παραγωγής, δίκτυο χαμηλής, μέσης ή και υψηλής τάσης, υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης και κάθε άλλο εξοπλισμό αναγκαίο για τη λειτουργία του.

Αυτοπαραγωγός: (ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.),ο Παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από μονάδες Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. κυρίως για δική του χρήση και διοχετεύει τυχόν πλεόνασμα της ενέργειας αυτής στο Σύστημα ή στο Δίκτυο.

Γεωργική (Αγροτική) Γη: ορίζεται το ανώτερο στρώμα του φλοιού της Γης το οποίον προήλθε από αποσάθρωση συνεπεία ατμοσφαιρικών και βιολογικών επιδράσεων, έχει ικανοποιητική περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, υφίσταται την επίδραση του κλίματος και των μηχανικών μέσων καλλιέργειας και χρησιμεύει σαν πηγή θρεπτικών συστατικών και σαν στήριγμα των καλλιεργούμενων φυτών και των ζώων.

Δείκτης Τιμών Καταναλωτή: ο ΔΤΚ, έχει ως σκοπό τη μέτρηση των μεταβολών του γενικού επιπέδου των τιμών των αγαθών και των υπηρεσιών που προμηθεύεται το σύγχρονο νοικοκυριό. Προσδιορίζει την επίδραση των μεταβολών των τιμών λιανικής στις δαπάνες για την αγορά των αγαθών και υπηρεσιών που συνθέτουν το λεγόμενο «καλάθι της νοικοκυράς». Όταν ο ΔΤΚ αυξάνει, η τυπική οικογένεια ξοδεύει περισσότερα ευρώ για να διατηρήσει το ίδιο επίπεδο ζωής.

Δίκτυο: Το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η.) που είναι εγκατεστημένο στην ελληνική επικράτεια, το οποίο αποτελείται από γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης και εγκαταστάσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης, που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο αυτό. Το Δίκτυο, εκτός από το δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, συνδέεται στο Σύστημα μέσω των υποσταθμών υψηλής τάσης και μέσης τάσης (ΥΤ/ΜΤ). Όριο μεταξύ Συστήματος και Δικτύου αποτελεί το διακοπτικό μέσο που βρίσκεται στην πλευρά της ΥΤ του μετασχηματιστή ισχύος του υποσταθμού και το οποίο αποτελεί στοιχείο του Δικτύου. Για τις περιοχές, στο Δίκτυο των οποίων ανήκουν γραμμές ΥΤ, το όριο μεταξύ Συστήματος και

Δικτύου καθορίζεται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης, μετά από εισήγηση του Διαχειριστή του Συστήματος και του Διαχειριστή του Δικτύου και γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), καθώς και του Κυρίου του Συστήματος και του Δικτύου.

Εγκατεστημένη Ισχύς σταθμού Α.Π.Ε.: Το άθροισμα της ονομαστικής ηλεκτρικής ισχύος όλων των μονάδων παραγωγής που περιλαμβάνει ο σταθμός Α.Π.Ε.. Ως ονομαστική ισχύς κάθε μονάδας παραγωγής ορίζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς της μονάδας, που προκύπτει από τα σχετικά πιστοποιητικά έγγραφα των κατασκευαστών των μονάδων αυτών και των φορέων που είναι αρμόδιοι για την πιστοποίηση των μονάδων παραγωγής, όταν η μονάδα λειτουργεί συνεχώς, για χρονικό διάστημα τουλάχιστον δεκαπέντε λεπτών.

Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά: Τα νησιά της Ελληνικής Επικράτειας των οποίων το Δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δεν συνδέεται με το Σύστημα και το Δίκτυο διανομής της ηπειρωτικής χώρας.

Οικοδομική Άδεια: είναι διοικητική πράξη που επιτρέπει την εκτέλεση, σε οικόπεδο ή γήπεδο ή υφιστάμενων κτιρίων, των οικοδομικών εργασιών που προβλέπονται στις μελέτες που τη συνοδεύουν, εφόσον οι εργασίες αυτές είναι σύμφωνες με τις ισχύουσες διατάξεις. Απαιτείται τόσο για τα ιδιωτικά, όσο και για τα δημόσια έργα, αλλά και γενικά για κάθε έργο όπως π.χ. διαμορφώσεις εδάφους, περιφράξεις, κοπή δένδρων κλπ. Εκδίδεται -πλήν εξαιρέσεων- από τα αρμόδια πολεοδομικά γραφεία της χώρας, είτε αυτά ανήκουν στο ΥΠΕΧΩΔΕ είτε στην Τοπική αυτοδιοίκηση Α΄ και Β΄ βαθμού.

Οριακή Τιμή Συστήματος: είναι η τιμή προσφοράς της τελευταίας μονάδας που μπαίνει στο Σύστημα στην ημερήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Με την τιμή αυτής της μονάδας γίνονται όλες οι οικονομικές εκκαθαρίσεις του Διαχειριστή του Συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ).

Παραγωγός: (από Α.Π.Ε.), ο παραγωγός που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Α.Π.Ε..

Προμηθευτής: ΔΕΗ Α.Ε. ή άλλος (ανεξάρτητος-ιδιώτης) Προμηθευτής (πάροχος) που ηλεκτροδοτεί τις καταναλώσεις κτιρίου

Σύστημα: Οι γραμμές υψηλής τάσης, οι εγκατεστημένες στην ελληνική επικράτεια διασυνδέσεις, χερσαίες ή θαλάσσιες και όλες οι συναφείς εγκαταστάσεις, ο εξοπλισμός και οι εγκαταστάσεις ελέγχου που απαιτούνται για την ομαλή, ασφαλή και αδιάλειπτη διακίνηση ηλεκτρικής ενέργειας από έναν σταθμό παραγωγής σε έναν υποσταθμό, από έναν υποσταθμό σε άλλον υποσταθμό ή προς ή από οποιαδήποτε διασύνδεση. Στο Σύστημα δεν περιλαμβάνονται οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης που έχουν ενταχθεί στο Δίκτυο, καθώς και το Δίκτυο των μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Natura 2000: Το Ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Natura 2000 είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης που εκτείνεται σε ολόκληρη την Κοινότητα και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρησή των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων της σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- ❖ *Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3851, ΦΕΚ Α'85/4.6.2010*
- ❖ *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3468, ΦΕΚ Α'129/27.6.2006*
- ❖ *Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού, ΦΕΚ Β'2464/3.12.2008*
- ❖ *Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ΦΕΚ Β'1630/11.10.2010*
- ❖ *Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων, ΦΕΚ Β'1079/4.6.2009*
- ❖ *Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις, ΦΕΚ Β'1557/22.9.2010*
- ❖ *Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων επί κτισμάτων και ακαλύπτων χώρων αυτών, ΦΕΚ Α.Α.Π.376/6.10.2010*
- ❖ *Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών, ΦΕΚ Β'1497/6.10.2010*
- ❖ *Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα και κτίρια σε εκτός σχεδίου περιοχές, ΦΕΚ Β'1556/22.9.2010*
- ❖ *Εγγυοδοσία για την υπογραφή Συμβάσεων Σύνδεσης στα δίκτυα διανομής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής, ΦΕΚ Β'1901/3.12.2010*
- ❖ *Εφαρμογή των διατάξεων του ν.3851/2010 σχετικών με την εξέταση αιτημάτων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική ή υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών, Εγκύκλιος ΑΔΑ 4Π70-Σ*
- ❖ *Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια, ΦΕΚ Β'583/14.4.2011*

- ❖ Τροποποίηση της Δ6/Φ1/οικ. 8684/24.4.2007 (ΦΕΚ Β' 694) απόφασης του Υπουργού Ανάπτυξης, όπως τροποποιήθηκε με την Δ6/Φ1/οικ.15450/18.7.2007 (ΦΕΚ Β' 1276) απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης, για την Έγκριση Α' Φάσης του κατ' άρθρο 14 παρ. 1 του ν. 3468/2006 Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών, ΦΕΚ Β'2143/31.12.2010
- ❖ Αξιοποίηση των περιθωρίων ισχύος για φωτοβολταϊκούς σταθμούς στα Διασυνδεδεμένα Νησιά από σταθμούς που εντάσσονται στο Ειδικό Πρόγραμμα της παρ.3 του άρθρου 14 του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, καθώς και από σταθμούς που εμπίπτουν στην παράγραφο 1 του άρθρου 4 του ν. 3468/2006, Ανακοίνωση της ΡΑΕ, 15.11.2010
- ❖ Κανόνες Τεκμηρίωσης Ενδοομιλικών Συναλλαγών, Κανόνες Υποκεφαλαιοδότησης Επιχειρήσεων, Διαδικασία Ταχείας Αδειοδότησης και άλλες διατάξεις, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3775, ΦΕΚ Α'122/21.7.2009
- ❖ Επιτάχυνση και διαφάνεια υλοποίησης Στρατηγικών Επενδύσεων, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3894, ΦΕΚ Α'204/2.12.2010
- ❖ Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά, Δεκέμβριος 2010, Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών
- ❖ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΔΕΛΤΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ≤10 kWp ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΧΤ (στο πλαίσιο του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις), ΔΕΗ
- ❖ Ετήσια Έκθεση της Υπηρεσίας Α.Π.Ε., Έτος 2010, Φεβρουάριος 2011
- ❖ Μελέτη Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2010-2014, ΔΕΣΜΗΕ

«Ηλεκτρονικές πηγές»

- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής: www.ypeka.gr
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας: www.rae.gr
- Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας: www.desmie.gr
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού: www.dei.gr
- Ινστιτούτο Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης: www.iene.gr
- Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών: www.helapco.gr
- Ενημερωτικό δημοσιογραφικό portal για τον τομέα της ενέργειας: www.energypress.gr
- Δημοσιογραφικό portal: www.energia.gr
- Περιβαλλοντικό portal: www.econews.gr
- Ελληνική Κοινότητα Μηχανικών, forum: www.michanikos.gr

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πλαισίων

2.1.1 Εισαγωγή

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελεί την καρδιά του φωτοβολταϊκού συστήματος, η λειτουργία του οποίου στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Σύμφωνα μ' αυτό, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, από τη συνολική που προσπίπτει σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, εκμεταλλευόμενο τη φύση των ημιαγωγικών υλικών. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ποικίλουν, όπως και οι μέθοδοι κατασκευής τους. Για πολλά χρόνια, τα Φ/Β κελιά πυριτίου κατέχουν τη μερίδα του λέοντος στη βιομηχανία των Φ/Β συστημάτων, καλύπτοντας στις μέρες μας περίπου το 90% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β πλαισίων. Αν και συνεχώς αναπτύσσονται κελιά από νέα υλικά, θα είναι δύσκολο τα στοιχεία πυριτίου να παραγκωνιστούν από τη δεσπύζουσα θέση που κατέχουν σήμερα. Το πυρίτιο είναι το δεύτερο σε αφθονία χημικό στοιχείο στη γη με ποσοστό 28% και αποτελεί παράγωγο κυρίως του διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), ενός εξαιρετικά κοινού συστατικού στην επιφάνεια της γης (άμμος). Ωστόσο, υπάρχουν πολλά άλλα ημιαγωγά -και μη- υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή Φ/Β κελιών. Τα περισσότερα απ' αυτά ανήκουν στην κατηγορία των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένιου (thin films), με πιο γνωστά τα κελιά άμορφου πυριτίου (a-Si). Τα κελιά λεπτού υμένιου χρήζουν εξαιρετικής προσοχής για τα Φ/Β συστήματα, αφού χρησιμοποιούν πολύ μικρές ποσότητες ημιαγωγικών υλικών και έχουν χαμηλό κόστος παραγωγής, αλλά παρουσιάζουν χαμηλή απόδοση. Σημειώνεται πως σε ερευνητικό επίπεδο, τα Φ/Β στοιχεία προσδίδουν αρκετά υψηλότερες αποδόσεις σε σχέση μ' αυτά που παράγονται μαζικά, γεγονός που καταδεικνύει τη συνεχή ανάπτυξη που βαθμιαία εισχωρεί στην μαζική παραγωγή.

2.1.2 Φωτοβολταϊκά κρυσταλλικού πυριτίου

Το γεγονός ότι τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου κατέχουν μεγάλο κομμάτι της παγκόσμιας αγοράς δεν είναι τυχαίο. Από το 1960, υπήρξε μεγάλη επιστημονική και τεχνολογική ανάπτυξη γύρω από το πυρίτιο, καθώς έγιναν σημαντικές επενδύσεις ώστε να κατανοηθούν οι χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του. Το κίνητρο των ερευνών δεν ήταν μόνο το επιστημονικό ενδιαφέρον, αλλά και η ανάγκη εύρεσης υλικών στον τομέα των ηλεκτρονικών (χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, chips), στον οποίο βασίστηκε η σημερινή ανάπτυξη της βιομηχανίας της πληροφορίας και των τηλεπικοινωνιών. Η βιομηχανία των Φ/Β ήταν σε θέση να χρησιμοποιήσει ένα υλικό για το οποίο ήδη είχαν προηγηθεί πολλές έρευνες και μελέτες, χωρίς να απαιτείται να ξεκινήσει από το μηδέν. Επιπλέον, η πυρίτια (SiO_2), η ένωση απ' όπου προέρχεται κυρίως το Si, είναι ένα από τα αφθονότερα υλικά στο φλοιό της γης, γεγονός που επιτρέπει την εκτεταμένη χρήση του με σχετικά χαμηλό κόστος.

Η τεχνολογία λεπτών φετών (wafer) που χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια για τη παραγωγή κελιών κρυσταλλικού πυριτίου, χαρακτηρίζεται ως τεχνολογία φωτοβολταϊκών πρώτης γενιάς. Τα κελιά αποτελούνται από μια πολύ λεπτή φέτα κρυσταλλικού πυριτίου σχηματιζόμενη από Si πολύ υψηλής καθαρότητας (99.99999%) που νοθεύεται με μικρές ποσότητες άλλων υλικών, ώστε να βελτιωθούν οι ηλεκτρικές του ιδιότητες. Για το λόγο ότι το πυρίτιο είναι ένα εύθραυστο υλικό (αλλά και γιατί είναι ημιαγωγός έμμεσου χάσματος), τα Φ/Β κελιά κρυσταλλικού πυριτίου έχουν σχετικά μεγάλο πάχος, με τυπική τιμή περίπου τα 300 μm . Τα πλαίσια αυτού του τύπου έχουν διάρκεια ζωής 20-25 χρόνια, γεγονός που τα καθιστά αξιόπιστα, ενώ η τιμή αγοράς τους επιβαρύνεται λόγω του κόστους επεξεργασίας του πυριτίου. Αξίζει να αναφερθεί πως η αυξημένη ζήτηση πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου, ώθησε τις βιομηχανίες φωτοβολταϊκών να στραφούν στην ανακύκλωση πυριτίου, όπως και στην αγορά scrap υλικού, ώστε να εξασφαλίσουν την πολύτιμη πρώτη ύλη. Τα Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού πυριτίου αποτελούν τους δυο κυριότερους τύπους Φ/Β κελιών πυριτίου στην παραγωγή φωτοβολταϊκών.

Ο πιο αποδοτικός τύπος στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου, είναι τα μονοκρυσταλλικά (single crystal silicon solar cells). Τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (εικ. 2.1) κατασκευάζονται από στοιχεία που έχουν κοπεί από κύλινδρο μονοκρυσταλλικού πυριτίου σε κυκλικά, τετραγωνικά, ή εξαγωνικά σχήματα τυπικών διαστάσεων 12cm \times 12cm, ώστε να χωρέσουν όσο το δυνατόν περισσότερα σε ένα πλαίσιο, ενώ ηλεκτρόδια υψηλής αγωγιμότητας συγκεντρώνουν το ηλεκτρικό ρεύμα από το κάθε κελί. Τυπικές αποδόσεις ενός πλαισίου μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι 11-19%, ενώ απαιτείται επιφάνεια 5,5-9 m^2 ανά εγκατεστημένο kW.



Εικόνα 2.1 Φ/Β πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Η αρχή λειτουργίας των στοιχείων πολυκρυσταλλικού πυριτίου (polycrystalline silicon solar cells) είναι παρόμοια με αυτή των μονοκρυσταλλικού Si, αν και παρουσιάζουν διαφορές στα στάδια κατασκευής τους (εικ. 2.2). Κατά τη στερεοποίηση του τигμένου πυριτίου υψηλής

καθαρότητας, σχηματίζεται μια πολυκρυσταλλική (πολύκοκκη) δομή, η οποία είναι τυχαία (και συνεπώς λιγότερο ιδανική σε σχέση με τη δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου), με αποτέλεσμα οι αποδόσεις κελιού και πλαισίου να είναι ελαφρώς χαμηλότερες. Η στερεοποίηση πραγματοποιείται σε πολλά σημεία ταυτόχρονα, επιτρέποντας τη δημιουργία κόκκων διαφόρων μεγεθών, σχημάτων και προσανατολισμών. Η δομή του κάθε κόκκου είναι ίδια μ' αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά τα πολλά σύνορα των κόκκων παρουσιάζουν ατέλειες στο πλέγμα και δυσχεραίνουν την μεταφορά των ζευγαριών ηλεκτρονίου-οπής, διευκολύνοντας την ανεπιθύμητη επανασύνδεση τους. Το πρόβλημα μειώνεται εάν οι κρύσταλλοι απέχουν ελάχιστα από τα ηλεκτρόδια που βρίσκονται κατά μήκος και εγκάρσια του πλαισίου. Τα πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου προσφέρουν αποδόσεις 11-16%, απαιτούνται περίπου 7-9 m² πλαισίων/kWp, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν ξεπεράσει σε μαζική παραγωγή τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 2.2 Φ/Β πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Συνοψίζοντας, δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο τύπων κρυσταλλικού πυριτίου, αφού η διαφορά στην απόδοση και το κόστος δεν είναι καθοριστική και η επιλογή συνήθως γίνεται με κριτήριο την εμφάνιση, τη διαθεσιμότητα και το κύρος και εγγύηση του κατασκευαστή. Η εστίαση στα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται για δυο λόγους: για τη σχετικά απλή κρυσταλλική δομή τους, πράγμα που βοηθά στη κατανόηση του θεωρητικού υπόβαθρου της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, καθώς και για τη παρούσα κυρίαρχη θέση που κατέχει στην αγορά των Φ/Β συστημάτων.

2.1.3 Φωτοβολταϊκά λεπτού υμένιου

Τα στοιχεία λεπτού υμένιου (thin film solar cells), ή αλλιώς γνωστά ως φωτοβολταϊκά δεύτερης γενιάς, αποτελούν μια ανταγωνιστική τεχνολογία έναντι των στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου (εικ. 2.3). Βασίζονται στην τοποθέτηση εξαιρετικά λεπτών υμενίων πάνω σε υπόστρωμα υλικού χαμηλού κόστους όπως γυαλί, μεταλλικά φύλλα ή πλαστικό. Αυτού του είδους τα στοιχεία χρειάζονται σχετικά μικρές ποσότητες υλικού, καθώς το πάχος τους είναι της τάξης του 1μm, σε αντίθεση με αυτό των κρυσταλλικών κελιών που φθάνει σε μερικά εκατοντάδες μm. Συνεπώς, η τοποθέτηση τους πάνω σε άλλο υλικό κρίνεται επιτακτική, ώστε να εξασφαλιστεί η μηχανική τους αντοχή. Δεν απαιτείται η διαδικασία διασύνδεσης των κελιών στο πάνελ μέσω των ηλεκτροδίων, καθιστώντας την κατασκευή τους ευκολότερη, ενώ προσφέρεται η δυνατότητα εφαρμογής συνεχούς γραμμής παραγωγής.

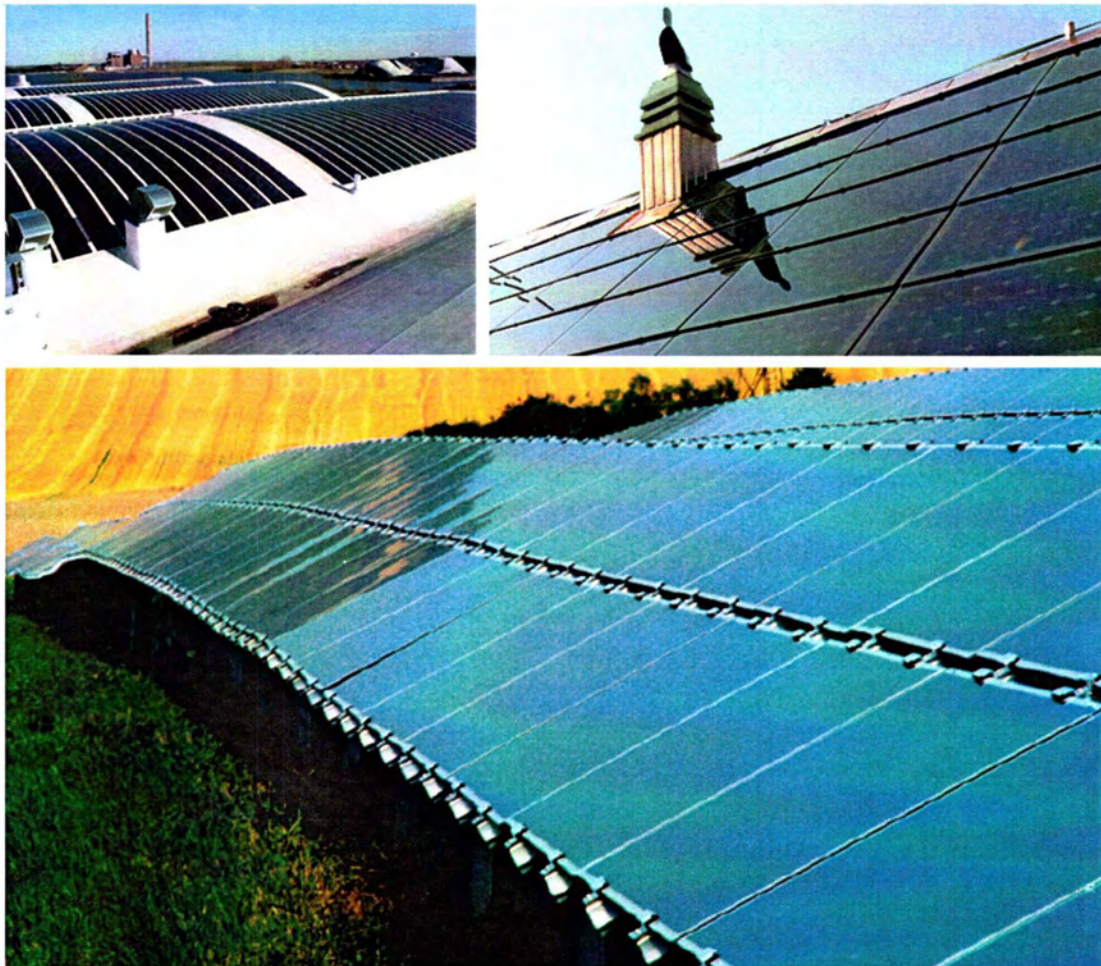
Στα πλεονεκτήματα τους έρχονται να προστεθούν η ευκαμψία τους και το χαμηλό τους βάρος, ιδιότητες που επιτρέπουν την χρήση των στοιχείων λεπτού υμένα σε εφαρμογές όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β σταθμούς δεν είναι ο κύριος σκοπός τους, όπως προσόψεις κτιρίων. Επίσης, η φθηνότερη και απλούστερη διαδικασία κατασκευής αυτής της κατηγορίας στοιχείων, επέτρεψε τη δημιουργία πιο σύνθετων Φ/Β στοιχείων που αποτελούνται από διαδοχικές ενώσεις λεπτών υμενίων διαφορετικού ενεργειακού χάσματος, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος (στοιχεία πολλαπλών επαφών, multi-junction solar cells). Ωστόσο, χαρακτηρίζονται από μειωμένο βαθμό απόδοσης σε σχέση με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου και γι' αυτό απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια κάλυψης για την απόδοση της ίδιας ηλεκτρικής ισχύος.

Η απόδοση ενός κελιού λεπτού υμενίου είναι περίπου στο μισό ενός τυπικού κρυσταλλικού κελιού. Κατά κανόνα, οι αποδόσεις των Φ/Β κελιών μετρώνται από τους κατασκευαστές τους με τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, STC (1000 W/m^2 , AM 1.5, 25°C). Έτσι, ενώ τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου σημειώνουν σχετικά καλές αποδόσεις στο άμεσο ηλιακό φως, η απόδοσή τους στη διάχυτη ακτινοβολία είναι συνήθως κατώτερη σε σχέση με των λεπτών υμενίων. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ότι σε περιοχές με μεγάλα ποσοστά διάχυτου φωτός και σημαντικής νεφοκάλυψης, η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των στοιχείων λεπτού υμένα ξεπερνούν την αντίστοιχη των κελιών κρυσταλλικού πυριτίου.

Το άμορφο πυρίτιο ήταν το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε στη τεχνολογία λεπτού υμένα στα φωτοβολταϊκά. Συσκευές με μικρά κελιά $\alpha\text{-Si}$, όπως ρολόγια και κομπιουτεράκια εισήγαγαν τα κελιά αυτού του είδους σε εκατομμύρια ανθρώπους από το 1980. Το πυρίτιο αυτό ονομάζεται άμορφο λόγω της μεγάλης αταξίας της δομής του και της μη διάκρισης των ορίων των κόκκων του. Αν και είναι υπεύθυνα για ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β κελιών, η τεχνολογία $\alpha\text{-Si}$ έχει αναπτυχθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια. Οι αποδόσεις τους είναι γύρω στο 8-10%, αισθητά χαμηλότερες σε σχέση με τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου, όπως χαμηλότερη είναι και η τιμή τους. Το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες αποτελεί ίσως το σημαντικότερο πλεονέκτημα τους. Το μειονέκτημα των πλαισίων άμορφου πυριτίου είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, αφού απαιτείται επιφάνεια πλαίσια περίπου $15\text{-}20 \text{ m}^2/\text{kWp}$.

Υπάρχουν όμως και άλλα ημιαγωγικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή κελιών λεπτού υμένα, τα οποία ξεπερνούν την απόδοση των κελιών άμορφου πυριτίου και ανταγωνίζονται αυτή των κελιών κρυσταλλικού πυριτίου. Τα πάνελ λεπτών υμένων που βασίζονται στους ημιαγωγούς δισεληνοϊνδιούχο χαλκό (CuInSe_2) και τελουριούχο κάδμιο (CdTe), δίνουν ήδη το παρόν στην αγορά των Φ/Β, αφού βρίσκονται σε μαζική παραγωγή και μαζί με το άμορφο πυρίτιο αποτελούν τους πρωταγωνιστές της κατηγορίας τους. Τα πλαίσια με κελιά δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (ή CIS), προσφέρουν αξιόλογες αποδόσεις που φθάνουν το 11%, ενώ με την πρόσμιξη γάλλιου (CIGS) οι αποδόσεις τους μπορούν να αυξηθούν περισσότερο. Το 2008, τα Φ/Β πλαίσια με κελιά τελουριούχου καδμίου (CdTe) κάλυψαν περίπου το 6% της παγκόσμιας παραγωγής πλαισίων, καθώς βρίσκουν εφαρμογή και σε μεγάλους φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Η απόδοσή τους προσεγγίζει το 12%, ενώ τα επόμενα χρόνια προβλέπεται να φθάσει στο 15%. Επίσης, τα κελιά αρσενικούχου γάλλιου (GaAs) και των ενώσεων του χρίζουν ιδιαίτερης σημασίας, αφού λόγω της αντοχής τους σε υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών

συστημάτων (solar concentrators). Παράλληλα, η ανθεκτικότητα τους στην ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται στο διάστημα, τα καθιστά ως καταλληλότερα σε διαστημικές εφαρμογές. Το ενεργειακό τους χάσμα (direct bandgap) βρίσκεται στα 1.42 eV, πολύ κοντά στη βέλτιστη τιμή (1,4 eV), συγκρινόμενο με το 1.12 eV του πυριτίου, επιτρέπει μεγαλύτερη εκμετάλλευση του ηλιακού φάσματος, επιτυγχάνοντας καλύτερες αποδόσεις μετατροπής.



Εικόνα 2.3 Φωτοβολταϊκά πλαίσια άμορφου πυριτίου(αριστερά), CIS(δεξιά) και CdTe(κάτω).

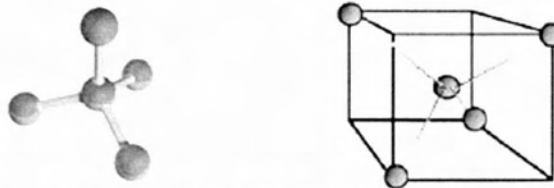
Νεότερες τεχνολογίες λεπτού υμένιου, όπως τα φωτοευαίσθητοποιημένα στοιχεία με χρωστική (dye-sensitized solar cells), λειτουργούν τελείως διαφορετικά από τα παραδοσιακά Φ/Β στοιχεία (που βασίζονται στη φυσική στερεάς κατάστασης), με μεθόδους που προσεγγίζουν περισσότερο τη φωτοσύνθεση. Αυτού τα είδους στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων των στοιχείων που κατασκευάζονται από πολυμερή (polymer solar cells) και των στοιχείων οργανικών ενώσεων (organic solar cells), ανήκουν στα φωτοβολταϊκά τρίτης γενιάς. Η ανάπτυξη αυτής της κατηγορίας Φ/Β στοιχείων επικεντρώνεται, στη βελτίωση των χαμηλών αποδόσεων των φωτοβολταϊκών λεπτού φιλμ διατηρώντας το χαμηλό κόστος παραγωγής, όπως και στη χρησιμοποίηση νέων υλικών.

2.2 Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου

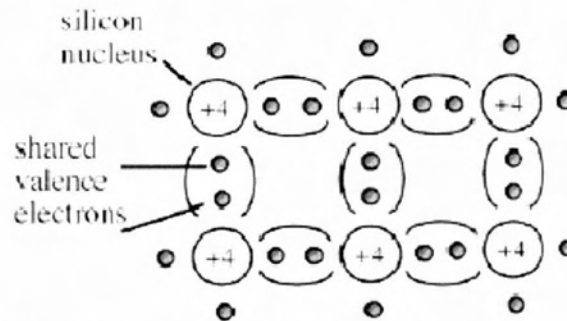
2.2.1 Εισαγωγή

Το 1839 ο Becquerel παρατήρησε πως κάποια υλικά όταν εκτεθούν στο ηλιακό φως παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η παρατήρηση, οδήγησε στην ερμηνεία του φωτοβολταϊκού φαινομένου, το οποίο αποτελεί την αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Τα Φ/Β στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγούς, υλικά δηλαδή που λειτουργούν ως μονωτές σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά ως αγωγοί όταν απορροφήσουν ενέργεια. Τα υλικά επιλέγονται κατά βάση με το βαθμό απορρόφησης του ηλιακού φάσματος και το κόστος κατασκευής. Στις μέρες μας, η πλειονότητα των Φ/Β κελιών κατασκευάζεται από πυρίτιο για λόγους που σχετίζονται με την αφθονία του, την ικανότητα του να απορροφά ένα ικανοποιητικό τμήμα του ηλιακού φάσματος, όπως και με την τεχνογνωσία γύρω από το υλικό αυτό χάριν τον τομέα των ηλεκτρονικών.

Το άτομο πυριτίου αποτελείται από 14 ηλεκτρόνια ($Z=14$), εκ των οποίων τα 4 (ηλεκτρόνια σθένους) είναι υπεύθυνα για το σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών με τα 4 πιο κοντινά άτομα. Το κρυσταλλικό Si ακολουθεί τετραεδρική κρυσταλλική δομή στον χώρο, με το κάθε άτομο να κατέχει το κέντρο κανονικού τετράεδρου και τα 4 γειτονικά του άτομα να καταλαμβάνουν τις 4 κορυφές του τετράεδρου (σχ. 2.4). Ωστόσο, για λόγους ευκολίας η κρυσταλλική δομή του Si θα αναπαρασταθεί στις 2 διαστάσεις (σχ. 2.5).



Σχήμα 2.4 Η τετραεδρική δομή του κρυσταλλικού πυριτίου.

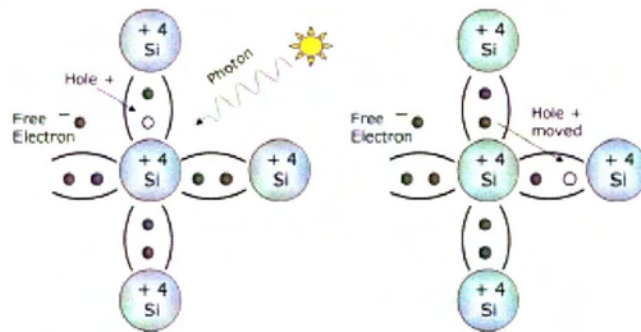


Σχήμα 2.5 Το πλέγμα του κρυσταλλικού πυριτίου σε δυο διαστάσεις.

2.2.2 Ενδογενής αγωγιμότητα

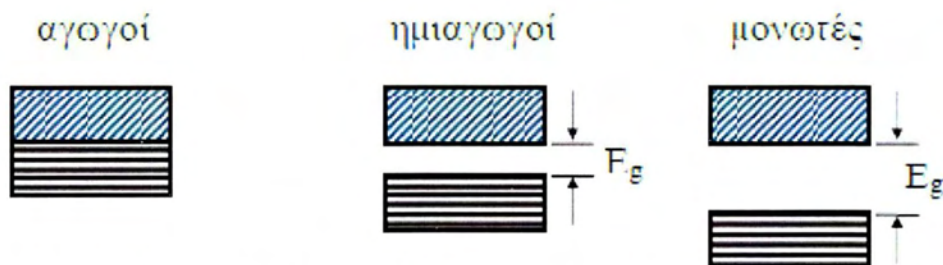
Σε χαμηλές θερμοκρασίες, οι ομοιοπολικοί δεσμοί που ενώνουν τα άτομα πυριτίου μεταξύ τους είναι σταθεροί, το Si βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση και

συμπεριφέρεται ως μονωτής. Αντίθετα, με την απορρόφηση ενέργειας οι δεσμοί αυτοί μπορούν να σπάσουν, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια που τους αποτελούν να κινηθούν ελεύθερα μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, με το πυρίτιο να συμπεριφέρεται πλέον ως αγωγός. Το κρυσταλλικό πλέγμα είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, οπότε το κάθε ελεύθερο ηλεκτρόνιο αφήνει πίσω του, στον σπασμένο δεσμό, θετικό φορτίο. Το θετικό αυτό φορτίο ονομάζεται οπή, ενώ το ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η οπή που δημιουργήθηκε, αποτελούν ένα ζευγάρι ηλεκτρονίου-οπής. Στη συνέχεια, η οπή μπορεί να καταληφθεί από ένα άλλο ηλεκτρόνιο που έχει προκύψει από το σπάσιμο κάποιου άλλου δεσμού. Έτσι ο σπασμένος δεσμός ή οπή, «μετακινείται» μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, ως θετικό φορτίο. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές πως ο αριθμός των ηλεκτρονίων και των οπών στο κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου είναι πάντοτε ίσος (σχ. 2.6).



Σχήμα 2.6 Σχηματισμός ζευγαριού ηλεκτρονίου-οπής (αριστερά) και "μετακίνηση" της οπής (δεξιά).

Η αποδέσμευση των ηλεκτρονίων σθένους οφείλεται στο ότι τα αυτά ανήκουν στη υψηλότερη κατειλημμένη ενεργειακή ζώνη, τη ζώνη σθένους, με την επόμενη υψηλότερη ενεργειακή ζώνη, να είναι η ζώνη αγωγιμότητας (σχ. 2.7). Η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται να αποκτήσει το κάθε ηλεκτρόνιο, ώστε να υπερνικηθούν οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις που το συγκρατούν με τον πυρήνα του και να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας είναι το ενεργειακό χάσμα, E_g . Οι μονάδες του εκφράζονται συνήθως σε eV, όπου 1 eV είναι η διαφορά στη δυναμική ενέργεια ενός ηλεκτρονίου, το οποίο κινείται σε διαφορά δυναμικού 1V. Το ενεργειακό χάσμα E_g για το Si είναι 1,14 eV, με τους πιο πολλούς μονωτές η τιμή να ξεπερνά τα 5 eV. Από τη στιγμή που το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στη ζώνη αγωγιμότητας, είναι σε θέση να κινηθεί ελεύθερα μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα, ενώ σημειώνεται πως με την αύξηση της θερμοκρασίας, υπάρχει ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των e στη ζώνη αγωγιμότητας.



Σχήμα 2.7 Αναπαράσταση του ενεργειακού χάσματος σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές.

Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται χωρίς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση ανάμεσα στα άτομα και τους δεσμούς του κρυσταλλικού πλέγματος. Κατά την κίνηση τους μπορούν να δεσμευτούν στην κενή θέση κάποιου άλλου σπασμένου δεσμού που θα συναντήσουν στο

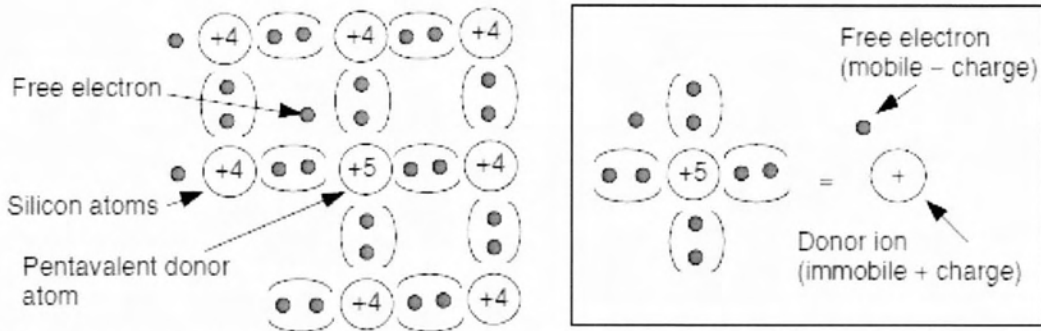
δρόμο τους και έτσι παύουν να είναι ελεύθερα. Ο ατελής αυτός δεσμός, δεν είναι απαραίτητο να είναι εκείνος από τον οποίο έφυγαν, ενώ κατά την επανασύνδεση κάθε ζευγαριού η ενέργεια που είχε απορροφήσει το ηλεκτρόνιο για να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας αποδεδεσμεύεται ως φωτόνιο. Ομοίως, οι οπές διαγράφουν και αυτές μια άτακτη κίνηση στο πλέγμα, αφού η κατεύθυνση από την οποία θα έρθει ένα γειτονικό e που θα συμπληρώσει τον ατελή δεσμό είναι τυχαία. Το είδος αυτής της αγωγιμότητας που παρουσιάζει το κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου, ονομάζεται ενδογενής αγωγιμότητα.

2.2.3 Εμπλουτισμός ημιαγωγών υψηλής καθαρότητας (εξωγενής αγωγιμότητα)

Ωστόσο, ένα κομμάτι κρυσταλλικού πυριτίου, μέσω της ενδογενούς αγωγιμότητας, δεν μπορεί να λειτουργήσει ως Φ/Β κελί, αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οι οπές που προκύπτουν από τα φωτόνια που προσπίπτουν στο κρυσταλλικό πυρίτιο κινούνται τυχαία. Τα ηλεκτρόνια δεν απομακρύνονται από τις οπές και εν τέλει επανασυνδέονται. Για να αποφευχθεί η επανασύνδεση ηλεκτρονίων-οπών, σχηματίζεται ένα εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του κελιού, όπου κατευθύνει τα e προς μια κατεύθυνση και τις οπές προς την αντίθετη. Υπεύθυνη για τη δημιουργία αυτού του ηλεκτρικού πεδίου είναι η επαφή $p-n$.

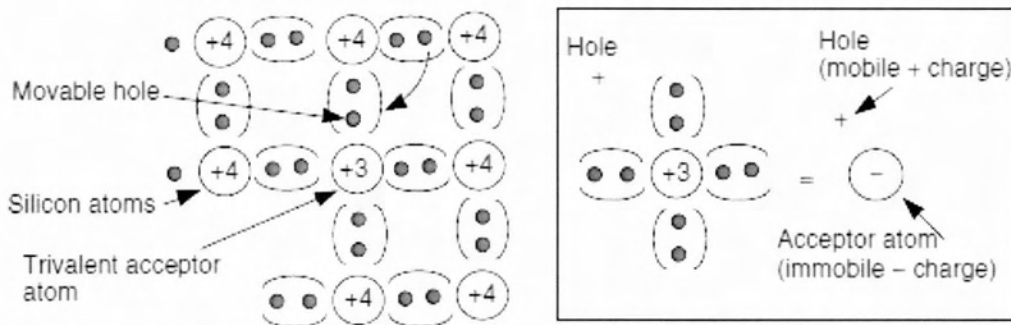
Αυτή επιτυγχάνεται με την προσθήκη προσμίξεων στο μητρικό πλέγμα του ημιαγωγού, οι οποίες θα προσφέρουν επιπλέον οπές και ελεύθερα ηλεκτρόνια (εξωγενής αγωγιμότητα). Ένας τρόπος προσθήκης προσμίξεων σε ένα ημιαγωγό υψηλής καθαρότητας είναι ο εμπλουτισμός (doping), με τις αναλογίες των ποσοτήτων πρόσμιξης να κυμαίνονται από $1/10^4$ άτομα Si (μεγάλο ποσοστό πρόσμιξης), έως $1/10^8$ (μικρό ποσοστό). Αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και μια μικρή προσθήκη ατόμων As της τάξης του $1/10^8$, μπορεί να αυξήσει την αγωγιμότητα τόσο δραστικά, ώστε ο κύριος μηχανισμός αγωγιμότητας να οφείλεται πλέον στις προσμιξεις και μόνο.

Για τη δημιουργία μιας επαφής $p-n$ πυριτίου, συνήθως πραγματοποιείται εμπλουτισμός του κρυσταλλικού του πλέγματος με πολύ μικρές ποσότητες ατόμων φωσφόρου και βόριου. Αν κάποια άτομα του κρυσταλλικού πλέγματος του πυριτίου αντικατασταθούν με πεντασθενή άτομα, όπως ο φώσφορος (με τυπική αναλογία $1/1000$), τότε στο πλέγμα δημιουργείται περίσσεια ηλεκτρονίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πέμπτο ηλεκτρόνιο σθένους κάθε ατόμου φωσφόρου δε μπορεί να σχηματίσει ομοιοπολικό δεσμό με ηλεκτρόνιο των γειτονικών ατόμων Si και συγκρατείται μόνο από τον πυρήνα του ατόμου του (P), με δυνάμεις που εύκολα μπορούν να σπάσουν. Έτσι, κάθε άτομο φωσφόρου «επιτρέπει» ένα ηλεκτρόνιο του να κινείται ελεύθερα στο πλέγμα, αφήνοντας πίσω του ένα θετικά φορτισμένο ιόν (δότης ηλεκτρονίων). Συνεπώς, η πρόσμιξη ατόμων φωσφόρου στο κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου παρέχει ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία ονομάζονται φορείς πλειονότητας. Βέβαια, υπάρχει και ένας μικρός αριθμός οπών που προέρχεται από τα ζευγάρια ηλεκτρονίου-οπής εξαιτίας της ενδογενούς αγωγιμότητας και αποτελεί τους φορείς μειονότητας. Ο νέος ημιαγωγός θεωρείται αρνητικά φορτισμένος (αφού οι φορείς πλειονότητας είναι πολύ περισσότεροι από τους μειονότητας) και αναφέρεται ως ημιαγωγός αρνητικού τύπου ή τύπου n (σχ. 2.8).



Σχήμα 2.8 Ο ημιαγωγός τύπου n (δεξιά, αναπαράσταση ενός στοιχείου πρόσμιξης με 5 ηλεκτρόνια σθένους).

Παρόμοια, εάν σε καθαρό πυρίτιο πραγματοποιηθεί πρόσμιξη με τρισθενή άτομα, όπως το Βόριο (με τυπική τιμή $1/10^7$), τότε το κάθε άτομο Βόριου θα τείνει να σχηματίσει 4 ομοιοπολικούς δεσμούς, πράγμα αδύνατο, αφού διαθέτει μόνο 3 ηλεκτρόνια σθένους. Μπορεί, όμως να «κλέψει» ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο Si και να συμπληρώσει και τον τέταρτο ομοιοπολικό δεσμό. Αυτή η «κλοπή» αφήνει το γειτονικό άτομο με μια οπή, η οποία συμπεριφέρεται σαν ένα θετικό φορτίο που μπορεί να κινείται μέσα στο πλέγμα, ακριβώς όπως και στην ενδογενή αγωγιμότητα. Έτσι, το άτομο του B συμπληρώνει τους 4 αναγκαίους ομοιοπολικούς δεσμούς (με 5 «ξένα» ηλεκτρόνια), αλλά το συνολικό του φορτίο είναι $-e$ (δέκτης ηλεκτρονίων). Σε αυτή τη περίπτωση, οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές, τα ηλεκτρόνια οι φορείς μειονότητας και ο ημιαγωγός αναφέρεται ως θετικού τύπου ή τύπου p .(σχ. 2.9)

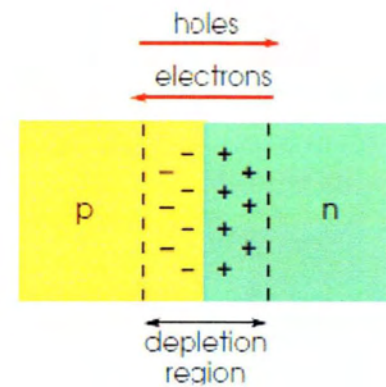


Σχήμα 2.9 Ο ημιαγωγός τύπου p (δεξιά, αναπαράσταση ενός στοιχείου πρόσμιξης με 3 ηλεκτρόνια σθένους).

Αξίζει να σημειωθεί πως οι δότες (πεντασθενή άτομα) και οι δέκτες (τρिसθενή άτομα), δεν είναι φορείς, αφού αποτελούν «σταθερό» τμήμα του κρυσταλλικού πλέγματος και δεν μπορούν να κινηθούν.

2.2.4 Η επαφή $p-n$

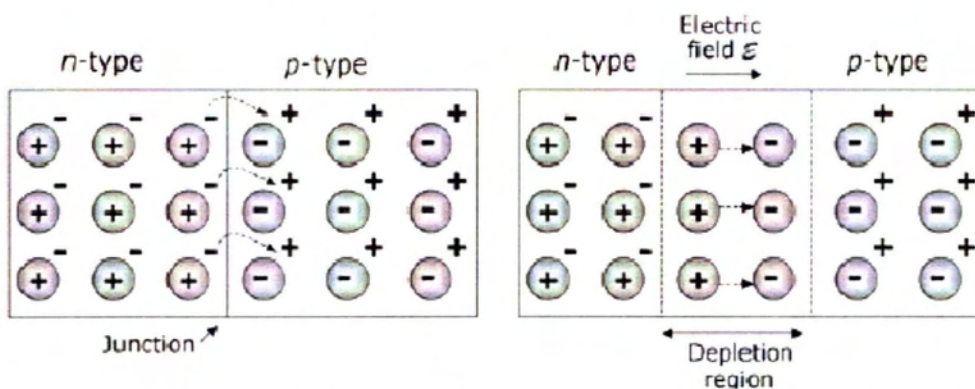
Όταν οι δυο ημιαγωγοί p και n έρθουν σε επαφή (junction), κοντά στη διεπιφάνεια τους πραγματοποιείται διάχυση ηλεκτρονίων από τον ημιαγωγό n προς τον p μέχρις ότου, λόγω του δυναμικού που αναπτύσσεται, η επαφή να έρθει σε ισορροπία και η κίνηση να διακοπεί. Πιο συγκεκριμένα, ελεύθερα ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου n διαχέονται στον ημιαγωγό τύπου p και συνδέονται με αντίστοιχες οπές, αφού ο ημιαγωγός αυτός (τύπου p) διαθέτει μεγάλο αριθμό οπών. Τα ηλεκτρόνια



Σχήμα 2.10 Η επαφή $p-n$.

αυτά, αφήνουν πίσω τους μια περιοχή θετικά φορτισμένη, εξαιτίας της παρουσίας των θετικών ιόντων φωσφόρου. Από την άλλη μεριά, οπές από τον p ημιαγωγό διαχέονται στον ημιαγωγό n (στην ουσία είναι τα ηλεκτρόνια σθένους που μεταπηδούν από τον n στον p και συνδέονται με οπές), αφήνοντας μια αρνητικά φορτισμένη περιοχή λόγω των ιόντων Βόριου (αρνητικά ιόντα). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στη ζώνη αγωγιμότητας, γίνονται ηλεκτρόνια σθένους και οι οπές εξαφανίζονται (σχ. 2.10).

Αυτή η διάχυση διαρκεί πολύ λίγο (ουσιαστικά πραγματοποιείται στιγμιαία) και στην περιοχή μήκους περίπου $1\mu\text{m}$, που βρίσκεται μεταξύ του ημιαγωγού p και n δεν υπάρχουν πλέον κινούμενοι φορείς φορτίου. Οι φορτισμένοι φορείς πλειονότητας που μεταφέρθηκαν στις δυο πλευρές της επαφής δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο που ενεργεί σαν φράγμα και αντιτίθεται στην παραπέρα ροή των φορέων πλειονότητας της κάθε πλευράς. Με άλλα λόγια, σε μια στενή περιοχή γύρω από την επαφή, που ονομάζεται περιοχή αραίωσης (depletion region), συσσωρεύονται φορτία χώρου που έχουν σαν συνέπεια την δημιουργία ενός φράγματος δυναμικού κοντά στην επαφή, επιτρέποντας μόνο τους φορείς μειονότητας να περάσουν στην απέναντι πλευρά (σχ. 2.11).



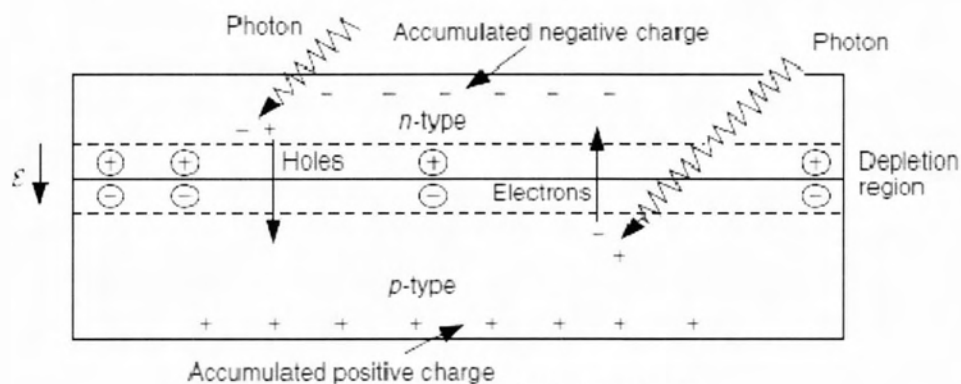
Σχήμα 2.11 Αριστερά, μόλις η επαφή $p-n$ έρθει σε επαφή, δεξιά, όταν πλέον βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση.

Αφού σχηματιστεί η επαφή $p-n$, οποιοδήποτε ηλεκτρόνιο εμφανιστεί ελεύθερο στην n πλευρά δεν μπορεί να περάσει στην p μέσω της επαφής, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που έχει αναπτυχθεί ανάμεσα τους. Αν όμως του παράσχουμε έναν άλλο δρόμο μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, τότε αυτό θα φθάσει στην p πλευρά, που υπάρχουν πολλές διαθέσιμες οπές. Αν, λοιπόν ένα φωτόνιο που περιέχει αρκετή ενέργεια (ίση ή μεγαλύτερη

από το ενεργειακό χάσμα) πέσει πάνω σε ένα ηλεκτρόνιο του ημιαγωγού n (κατά προτίμηση σε ένα άτομο πρόσμιξης) και το διεγείρει ώστε να μπορεί να μετακινηθεί, τότε αυτό θα μετακινηθεί προς τη πλευρά p μέσω αυτού του εξωτερικού κυκλώματος. Η προσανατολισμένη αυτή κίνηση των ηλεκτρονίων στο εξωτερικό κύκλωμα αποτελεί ηλεκτρικό ρεύμα.

2.2.5 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Έχοντας σχηματιστεί το ηλεκτρικό πεδίο στην διεπιφάνεια των ημιαγωγών p και n , οι φορείς μειονότητας του κάθε ημιαγωγού κινούνται προς την περιοχή που τους κατευθύνει το ηλεκτρικό πεδίο, ανεξάρτητα σε ποιο ημιαγωγό σχηματίζονται τα ζευγάρια ηλεκτρονίου-οπής. Για παράδειγμα, αν ένα φωτόνιο απορροφηθεί στο ημιαγωγό p , το ελεύθερο ηλεκτρόνιο θα μετακινηθεί στον ημιαγωγό n (όπου εκεί συσσωρεύονται οι φορείς αρνητικού φορτίου), όπως του ορίζει το ηλεκτρικό πεδίο, ενώ η οπή (που δε μπορεί να περάσει το πεδίο) παραμένει στην περιοχή p . Αντίστοιχα, οι οπές που θα σχηματιστούν στον ημιαγωγό n , υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου θα συσσωρευτούν στον ημιαγωγό p . Αυτές οι συσσωρεύσεις φορτίων στις δυο περιοχές, δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού στα άκρα της επαφής $p-n$ που είναι ανάλογη της ακτινοβολίας που προσπίπτει στους ημιαγωγούς, κάνοντας το θετικό ημιαγωγό p θετικότερο και τον αρνητικό ημιαγωγό n αρνητικότερο. Η δημιουργία διαφοράς δυναμικού στην επαφή $p-n$, λόγω απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας, συνιστούν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (σχ. 2.12).



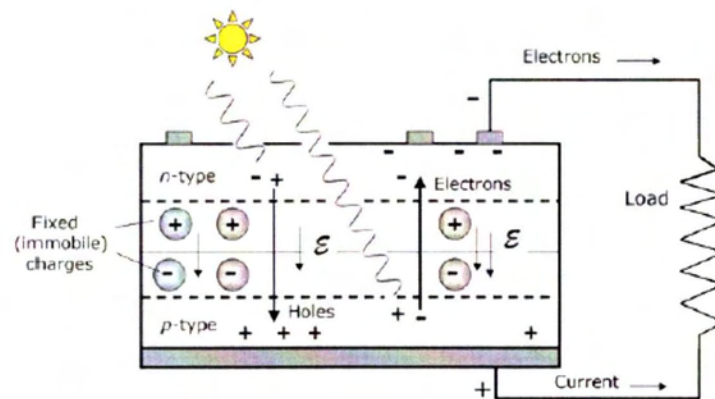
Σχήμα 2.12 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

2.2.6 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου είναι στην ουσία μια επαφή $p-n$, η οποία εκτίθεται στο ηλιακό φως. Φωτόνια με κατάλληλη ενέργεια δημιουργούν ζευγάρια ηλεκτρονίων-οπών, που με τη σειρά τους, αν αυτοί οι φορείς φορτίου που σχηματίζονται βρίσκονται περιοχή επιρροής του ηλεκτρικού πεδίου (depletion region), τότε τα ηλεκτρόνια κινούνται προς την n περιοχή και οι οπές προς την p . Αυτή η μετακίνηση φορέων φορτίου (είναι οι φορείς μειονότητας) αναπτύσσει μια διαφορά δυναμικού στο κελί. Όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο συνδεθεί με το κελί τα ηλεκτρόνια θα κινηθούν από την n

περιοχή, μέσω του φορτίου, προς την p . Ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στο φορτίο, για όσο διάστημα ο ήλιος παρέχει φωτόνια στο στοιχείο (σχ. 2.13).

Για να διευκολυνθεί η ροή ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος, απαιτείται η τοποθέτηση μεταλλικών επαφών (ηλεκτροδίων) στο πάνω και κάτω μέρος του κελιού. Ενώ το κάτω μέρος μπορεί να καλυφθεί εξ ολοκλήρου με ένα στρώμα αγωγού, στο πάνω μέρος οι μεταλλικές επαφές πρέπει να καταλαμβάνουν τον ελάχιστο δυνατό χώρο, ώστε να μην εμποδίζουν τα φωτόνια να προσπίπτουν πάνω στον n ημιαγωγό.



Σχήμα 2.13 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε φωτοβολταϊκό στοιχείο που προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία.

2.2.7 Ο περιορισμός των φωτονίων

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ενός Φ/Β στοιχείου και οριοθετεί σημαντικά την απόδοσή του, αφού αν τα φωτόνια που προσπίπτουν στο στοιχείο δεν μπορούν να προσφέρουν την ενέργεια που απαιτείται για να σχηματιστούν τα ζευγάρια ηλεκτρονίου-οπής, δε μπορεί να υπάρξει παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η ενέργεια ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος εκπέμπεται και απορροφάται πάντοτε κατά πακέτα ενέργειας, τα οποία ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα, με ενέργεια ανάλογη της συχνότητας της ακτινοβολίας. Η ενέργεια, E , ενός φωτονίου δίνεται από την εξίσωση

$$E = h\nu,$$

όπου $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ η σταθερά του Planck και ν η συχνότητα του κύματος.

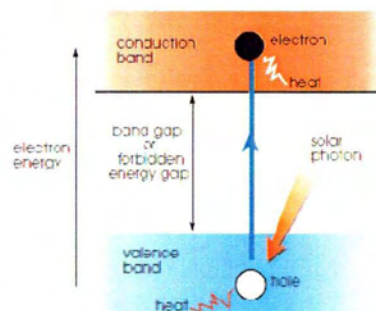
Συναρτήσει του μήκους κύματος, η ενέργεια E ενός φωτονίου γίνεται

$$\left. \begin{array}{l} E = h\nu \\ \nu = \frac{c}{\lambda} \end{array} \right\} \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda}$$

όπου $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ η ταχύτητα του φωτός στο κενό και λ το μήκος κύματος.

Κάθε φωτόνιο μπορεί να δημιουργήσει μόνο ένα ζευγάρι ηλεκτρονίου-οπής. Συνεπώς, φωτόνια που δεν περιέχουν ενέργεια τουλάχιστον ίση με το ενεργειακό χάσμα, δε μπορούν να συνεισφέρουν στη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Αντίθετα, φωτόνια με περισσότερη

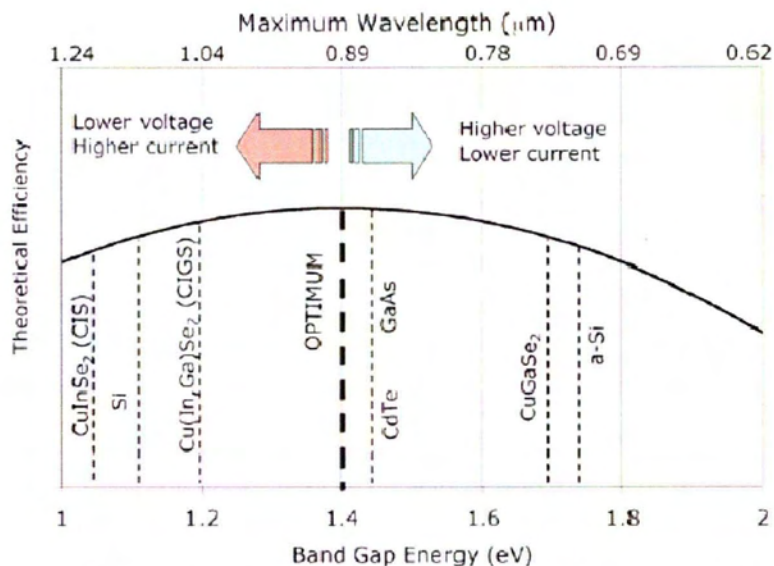
ενέργεια από την απαιτούμενη (ενεργειακό χάσμα, E_g), συνδράμουν στην απελευθέρωση των ηλεκτρονίων σθένους, αλλά η επιπλέον ενέργεια του φωτονίου μεταδίδεται με τη μορφή θερμότητας στο Φ/Β στοιχείο (σχ. 2.14). Συνεπώς, η απόδοση ενός στοιχείου εξαρτάται τόσο από τα μήκη κύματος των φωτονίων που φθάνουν σ' αυτό, όσο και από το ενεργειακό χάσμα των ηλεκτρονίων των ημιαγωγών των κελιών. Το



Σχήμα 2.14 Η δημιουργία του ζευγαριού ηλεκτρονίου-οπής.

γεγονός ότι κάποια φωτόνια περιέχουν την ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία των ζευγαριών ηλεκτρονίου-οπής, δε σημαίνει ότι μπορούν να απορροφηθούν εύκολα απ' όλους τους ημιαγωγούς. Τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στα Φ/Β κελιά, είναι ημιαγωγοί άμεσου χάσματος (π.χ. CdTe ή GaAs) και μπορούν να απορροφήσουν το ηλιακό φως ακόμα και με πάχος μερικών μm . Το κρυσταλλικό πυρίτιο όμως, ως ημιαγωγός έμμεσου χάσματος, δεν είναι τόσο αποτελεσματικό στην απορρόφηση του φωτός. Μπορεί να απορροφήσει εύκολα φωτόνια μεγάλης ενέργειας (π.χ. του κυανού χρώματος) σε βάθος κοντά στην επιφάνεια του κελιού, αλλά τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας (π.χ. ερυθρού χρώματος) ενδέχεται να φτάσουν στην επιφάνεια επαφής στο κάτω μέρος του κελιού πριν απορροφηθούν, ή ακόμα και να εξέλθουν από το κελί δίχως να απορροφηθούν. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου έχουν τόσο μεγάλο πάχος (περίπου 300 μm), συγκριτικά με τα κελιά λεπτού υμένα (1-3 μm). Αν τα κελιά κρυσταλλικού Si ήταν λεπτότερα, τα φωτόνια που βρίσκονται κυρίως στην περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας απλά θα διαπερνούσαν το κελί.

Το ενεργειακό χάσμα λειτουργεί ως δείκτης για την διαφορά δυναμικού που θα αναπτυχθεί στο Φ/Β κελί και ο αριθμός των ζευγαριών ηλεκτρονίου-οπής που σχηματίζονται ως το ηλεκτρικό ρεύμα που θα παραχθεί. Η ισχύς εξαρτάται τόσο από την τάση, όσο και από την ένταση του ρεύματος. Το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, καθορίζει το μέγεθος του ηλεκτρικού πεδίου του κελιού, δηλαδή τη διαφορά δυναμικού που θα αναπτύσσεται στα άκρα του. Αν το ενεργειακό χάσμα είναι πολύ χαμηλό, απορροφούνται περισσότερα φωτόνια (και άρα παίρνουμε μεγαλύτερο ρεύμα), αλλά παρουσιάζεται μικρή διαφορά δυναμικού. Και αντίστροφα, υψηλή τιμή E_g μεταφράζεται σε χαμηλή ένταση ρεύματος (σχηματίζονται λιγότερα ζευγάρια ηλεκτρονίου-οπής), αλλά μεγάλη διαφορά δυναμικού. Συμβιβάζοντας αυτές τις δυο καταστάσεις, έχει υπολογιστεί ότι το αποδοτικό εύρος ενεργειακού χάσματος βρίσκεται στο διάστημα 1-1.6 eV, με βέλτιστη τιμή για ένα τυπικό Φ/Β κελί (single solar cell) γύρω στο 1,4 eV (με μήκος κύματος 0,89 μm). Το E_g του πυριτίου στα 1,12 eV, θεωρείται μια ικανοποιητική τιμή (σχ. 2.15).

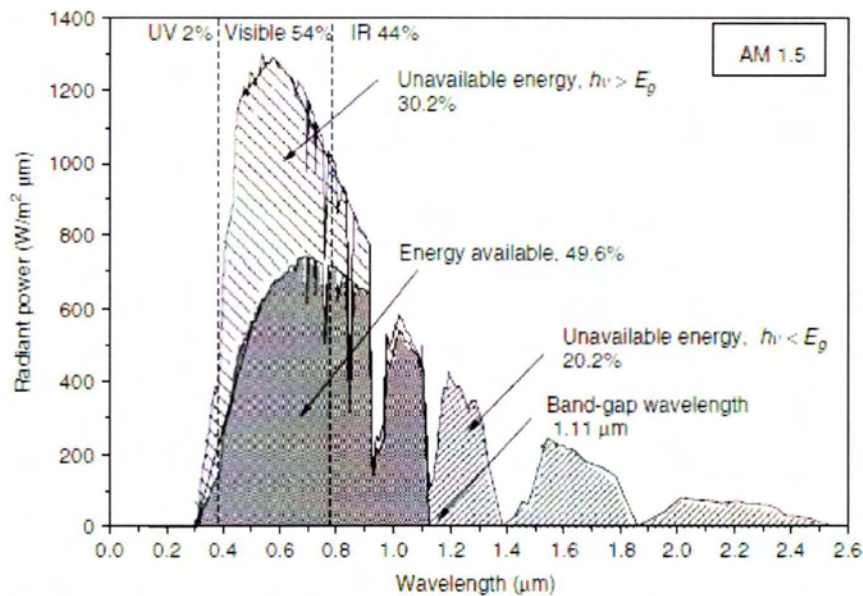


Σχήμα 2.15 Οι τιμές ενεργειακού χάσματος για διάφορους ημιαγωγούς, καθώς και η βέλτιστη τιμή που οδηγεί στη μέγιστη ισχύ.

2.2.8 Το εκμεταλλεύσιμο ηλιακό φάσμα

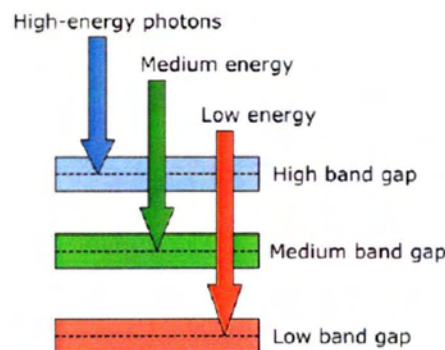
Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη αποτελείται από τρία τμήματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, το ορατό φως, την υπεριώδη και την υπέρυθρη ακτινοβολία. Το ανθρώπινο μάτι ανιχνεύει μόνο το ορατό φως, το μήκος κύματος του οποίου κυμαίνεται προσεγγιστικά από τα 400 έως τα 800 nm. Η υπεριώδης ακτινοβολία αντιστοιχεί σε μήκη κύματος μικρότερα των 400 nm, ενώ η υπέρυθρη σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 800 nm. Πράγμα που σημαίνει πως σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, ένα φωτόνιο ιώδους ακτινοβολίας (400 nm) περιέχει τη διπλάσια ενέργεια από ένα φωτόνιο ερυθρού χρώματος (800 nm). Η υπέρυθρη ακτινοβολία, όπως και τα φωτόνια ερυθρού χρώματος δεν μπορούν να παράσχουν την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο σθένους του Si, ώστε να μεταπηδήσει στη ζώνη αγωγιμότητας. Αντίθετα, στην άλλη πλευρά του φάσματος του ορατού φωτός, τα φωτόνια ιώδους χρώματος και η υπεριώδης ακτινοβολία, έχουν περισσότερη από την απαιτούμενη ενέργεια E_g .

Το ενεργειακό χάσμα του πυριτίου είναι 1,12 eV, τιμή που αντιστοιχεί σε ένα μήκος κύματος 1,11 μm. Όπως φαίνεται στο σχήμα, σε AM1,5 περίπου το 20,2% της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας έχει μήκος κύματος πάνω από 1,11 μm, οπότε αυτό το κομμάτι δεν απορροφάται, αφού δε μπορεί να δημιουργήσει ζευγάρια και απλά διαπερνούν το πυρίτιο. Φωτόνια με μήκη κύματος μικρότερα από αυτή τη τιμή, απορροφούνται, αλλά η επιπλέον ενέργεια που έχουν, θερμαίνει το στοιχείο, σπαταλώντας άλλο ένα 30,2% της ενέργειας που προσφέρεται μέσω του ήλιου. Αυτοί μόνο οι περιορισμοί, μειώνουν την θεωρητική απόδοση ενός Φ/Β κελιού κρυσταλλικού πυριτίου περίπου στο 49% , για ακτινοβολία 1000 W/m² που θεωρείται πως είναι η ποσότητα που φθάνει μια καθαρή ημέρα στο επίπεδο της θάλασσας (σχ. 2.16).



Σχήμα 2.16 Το φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας με AM1.5. Η σκούρου χρώματος περιοχή δείχνει το διαθέσιμο τμήμα προς εκμετάλλευση από ένα φωτοβολταϊκό κελί κρυσταλλικού πυριτίου.

Ένας τρόπος να αντιμετωπιστεί αυτός ο περιορισμός είναι να χρησιμοποιηθούν Φ/Β στοιχεία πολλαπλών επαφών (multijunction solar cells). Πρόκειται για σύνθετα Φ/Β στοιχεία με διαδοχικές ενώσεις στρωμάτων διαφορετικού ενεργειακού χάσματος (διαφορετικοί ημιαγωγοί), το ένα πάνω στο άλλο, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φωτός. Το υλικό που δεσμεύει ακτινοβολία υψηλότερης ενέργειας τοποθετείται στην επιφάνεια, επιτρέποντας συγχρόνως στην ακτινοβολία χαμηλότερης ενέργειας να απορροφηθεί από τα στρώματα υλικών που βρίσκονται από κάτω (σχ. 2.17).

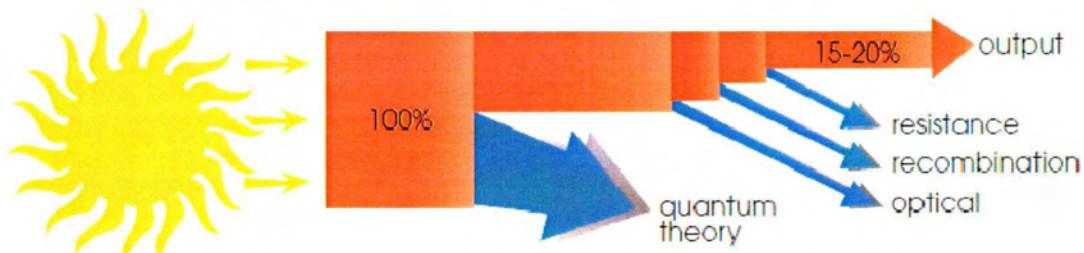


Σχήμα 2.17 Αναπαράσταση κελιού 3πλής επαφής. Τα υψηλότερης ενέργειας φωτόνια απορροφούνται από την πάνω επαφή, ενώ φωτόνια με μεγαλύτερα μήκη κύματος απορροφούνται από τις επόμενες επαφές.

Αξίζει να σημειωθεί πως δεν έχουμε λάβει υπόψη άλλου είδους απώλειες, οι οποίες συνολικά μπορούν να μειώσουν την τελική απόδοση ενός κελιού κρυσταλλικού πυριτίου μαζικής παραγωγής, στο 15-20%. Κάποιοι από τους πιο χαρακτηριστικούς είναι οι ακόλουθοι:

1. Πολλά φωτόνια κατάλληλης ενέργειας δεν απορροφούνται από το κελί, επειδή ανακλώνται από το πάνω μέρος του n ημιαγωγού, ή διαπερνούν όλο το κελί, ή επειδή προσκρούουν πάνω στις μεταλλικές επαφές που συλλέγουν τα ηλεκτρόνια στο πάνω μέρος του κελιού.
2. Η επανασύνδεση των ζευγαριών ηλεκτρονίων οπής πριν επενεργήσει σ' αυτά το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής $p-n$.

3. Η εσωτερική αντίσταση του κελιού που οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της παρεχόμενης ισχύος.
4. Μεταβλητές του περιβάλλοντος που περικλείεται το Φ/Β στοιχείο, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας που μειώνει την απόδοση μετατροπής και η «ποιότητα» της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό.

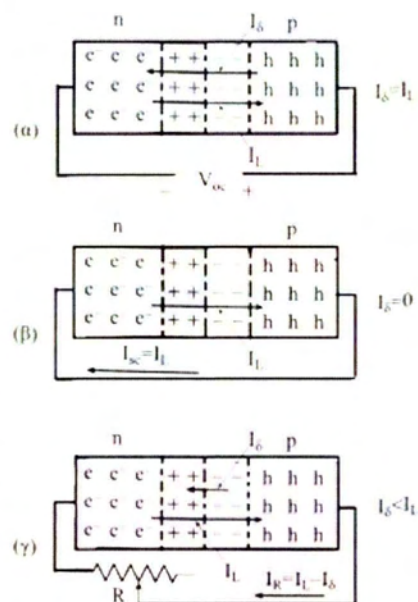


Σχήμα 2.18 Η απόδοση ενός Φ/Β στοιχείου περιορίζεται από μια σειρά παραγόντων.

2.3 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός Φ/Β στοιχείου

2.3.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο σε ανοιχτό και κλειστό κύκλωμα

Σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο που προσπίπτει σ' αυτό ηλιακή ακτινοβολία και βρίσκεται σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος, κυκλοφορούν εσωτερικά δυο ρεύματα αντίθετης φοράς με ίσες τιμές κατά απόλυτη τιμή, $I_s = -I_L$. Αυξανόμενων των συγκεντρώσεων των ηλεκτρικών φορέων στους δυο χώρους, αυξάνεται η τάση να διαχυθούν προς αντίθετες περιοχές, διαπερνώντας τον εσωτερικό ηλεκτρικό φραγμό. Το συνολικό πεδίο στην επαφή ελαττώνεται εξαιτίας του αναπτυσσόμενου αντίθετου ηλεκτρικού πεδίου των αυξημένων πλέον συγκεντρώσεων των φορέων πλειονότητας, έτσι ώστε οι φορείς πλειονότητας διαπερνούν ευκολότερα τον εσωτερικό φραγμό. Τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στον ημιαγωγό p (φορείς



Σχήμα 2.19 Αναπαράσταση φωτοβολταϊκού στοιχείου.

μειονότητας) αποτελούν το I_s και κινούνται με φορά από τον p ημιαγωγό προς τον n , όπως ορίζει το ηλεκτρικό πεδίο. Το I_L αποτελείται από τα ηλεκτρόνια που συσσωρεύονται στον ημιαγωγό n (φορείς πλειονότητας), όπου εξαιτίας της μεγάλης τους συγκέντρωσης ξεπερνούν τον φραγμό του ηλεκτρικού πεδίου και κινούνται προς τον ημιαγωγό p (σχ. 2.19α).

Αν τα άκρα της επαφής $p-n$, που φωτίζεται με σταθερή ροή ενέργειας, συνδεθούν μεταξύ τους με ένα αγωγό μηδενικής αντίστασης (βραχυκύκλωμα), τότε θα περάσει μέσα από τον αγωγό ρεύμα ίσο με I_L (σχ. 2.19β).

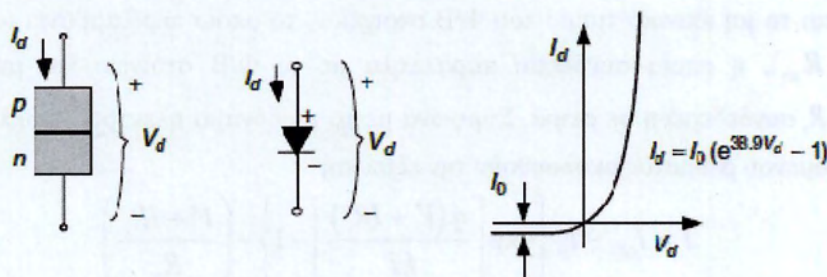
Όταν στα άκρα της φωτιζόμενης επαφής συνδεθεί μια αντίσταση R , αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα I_R που αποτελεί μέρος του ρεύματος I_L , αφού θα ισχύει $I_R = I_L - I_s$ (σχ. 2.19γ).

2.3.2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας επαφής $p-n$ (διόδου ημιαγωγών)

Η επαφή $p-n$, η οποία είναι μια διόδος ημιαγωγών παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στην ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με τον τρόπο που επιβάλλεται μια διαφορά δυναμικού στα άκρα της. Υπάρχουν δυο τρόποι επιβολής τάσης στην επαφή $p-n$, η εφαρμογή ορθής τάσης και η εφαρμογή ανάστροφης τάσης. Εάν εφαρμόσουμε μια διαφορά τάσης V_d στα άκρα της διόδου, με τον θετικό πόλο της πηγής στον ημιαγωγό p και τον αρνητικό στον ημιαγωγό τύπου n , τότε η διόδος είναι ορθά πολωμένη και σημειώνεται κίνηση των φορέων (οπές και ηλεκτρόνια) σε κάθε τμήμα της προς την επαφή $p-n$. Με αύξηση της εξωτερικής τάσης, το μήκος της ζώνης απογύμνωσης βαθμιαία μειώνεται μέχρις ότου μηδενιστεί, οπότε ξεκινά ροή ρεύματος, I_d , στο κύκλωμα προς μία κατεύθυνση, με τα ηλεκτρόνια να ρέουν ανεμπόδιστα από την αντίσταση του εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου. Αντίθετα, εάν ο θετικός πόλος της πηγής συνδεθεί στον ημιαγωγό τύπου n και ο αρνητικός στον ημιαγωγό p , σημειώνεται κίνηση των φορέων φορτίου (οπές και ηλεκτρόνια) σε κάθε τμήμα της διόδου προς τα άκρα αυτής (απομακρύνονται από την επαφή $p-n$). Με βαθμιαία αύξηση της εξωτερικής τάσης, το μήκος της ζώνης απογύμνωσης αυξάνεται συνεχώς και η διόδος διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα της τάξης των μA που παραμένει σχεδόν σταθερό και ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα κόρου (*dark saturation current*) I_0 . Η χαρακτηριστική καμπύλη $I-V$ μιας διόδου ένωσης $p-n$, περιγράφεται από την εξίσωση

$$I_d = I_0 \left(e^{qV_d/kT} - 1 \right)$$

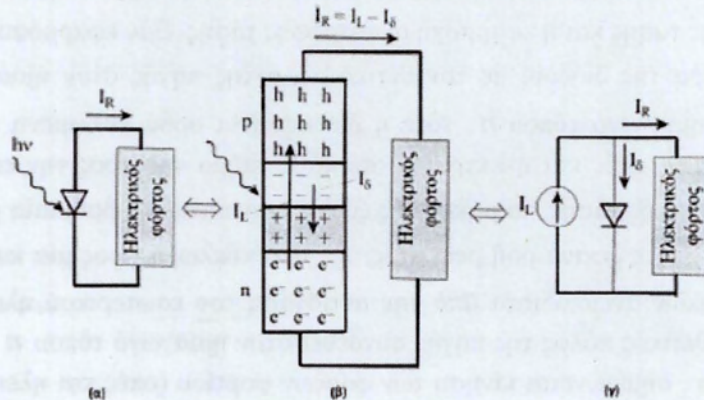
όπου I_d το ρεύμα της διόδου με φορά που δείχνει το βέλος $[A]$, V_d η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των ακροδεκτών των ημιαγωγών $[V]$, I_0 το ανάστροφο ρεύμα κόρου $[A]$, $q = 1.6 \times 10^{-19} C$ το φορτίο του ηλεκτρονίου, $k = 1,381 \times 10^{-23} J/K$ η σταθερά του Boltzmann και T η θερμοκρασία της επαφής $[K]$. (σχ. 2.20)



Σχήμα 2.20 Η επαφή $p-n$ επιτρέπει το ρεύμα να διαπερνά εύκολα από την p πλευρά προς την n , αλλά όχι αντίστροφα. η επαφή $p-n$ (αριστερά), το σύμβολο της (κέντρο), η χαρακτηριστική της καμπύλη στους $25^\circ C$ (δεξιά).

2.3.3 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το σχήμα δείχνει την πραγματική κατάσταση ρευμάτων μέσα στο Φ/Β στοιχείο εξαιτίας της δράσης του φωτός. Φως δεδομένης πυκνότητας ισχύος και φάσματος, δημιουργεί μέσα στο σώμα του Φ/Β στοιχείου ηλεκτρικό ρεύμα I_L , του οποίου η ένταση μένει σταθερή καθώς αλλάζει η ωμική αντίσταση, που είναι συνδεδεμένη στα άκρα του. Στο σχήμα 2.21 δίνεται η τυπική μορφή κυκλώματος που περιλαμβάνει Φ/Β στοιχείο και ωμικό καταναλωτή. Η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου είναι ισοδύναμη με εκείνη που θα δημιουργούσε η σύνδεση μια πηγής σταθερού ρεύματος στα άκρα της διόδου όπως δείχνει το σχήμα.

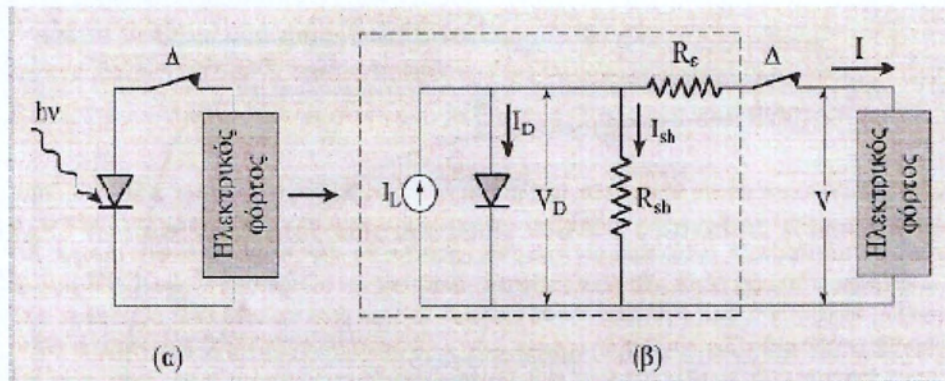


Σχήμα 2.21 Απεικόνιση Φ/Β στοιχείου.

Συμπερασματικά το Φ/Β στοιχείο είναι μια ηλεκτρική πηγή, η οποία στην ιδανική της συμπεριφορά, έχει την ιδιότητα να διατηρεί σταθερή τιμή ρεύματος σε μια αντίσταση, ανεξάρτητα από την τιμή της αντίστασης. Σε κάθε περίπτωση, η πηγή αυτή προσαρμόζει την τάση στα άκρα της αντίστασης, ώστε το ρεύμα να μένει πρακτικά σταθερό. Όπως γίνεται φανερό, το Φ/Β στοιχείο συμπεριφέρεται μέσα σε ορισμένα όρια τάσεων ως πηγή σταθερού ρεύματος. Το παρεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι περίπου σταθερό, σε ευρεία περιοχή τάσεων. Στη συνέχεια, και μέχρι τη τάση του ανοιχτού κυκλώματος, το ρεύμα μειώνεται ραγδαία προσεγγίζοντας, σε μια στενή περιοχή τάσεων, τη συμπεριφορά πηγής σταθερής τάσης.

Για την καλύτερη απόδοση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού κελιού αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί με το ισοδύναμο του ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο είναι εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία, όπως στο σχήμα 2.22. Περιλαμβάνει μια ιδανική πηγή σταθερού ρεύματος I_L , συνδεδεμένη παράλληλα με μία πραγματική δίοδο. Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του Φ/Β στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει μια αντίσταση διαρροής R_{sh} , η οποία συνδέεται παράλληλα με το Φ/Β στοιχείο και μια αντίσταση απωλειών R_s συνδεδεμένη σε σειρά. Σύμφωνα με το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα οι τιμές του παραγόμενου ρεύματος ακολουθούν την εξίσωση

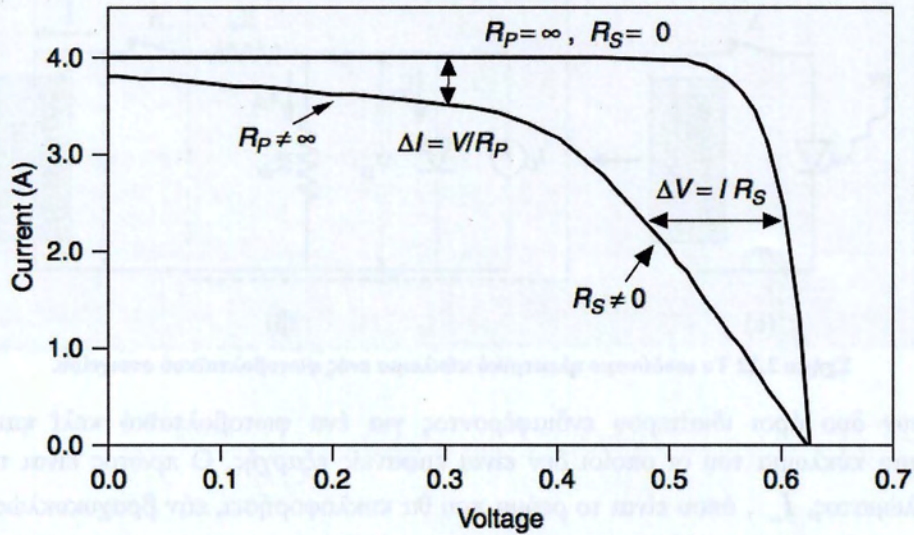
$$I = I_{SC} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{kT} \right] - 1 \right\} - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right)$$



Σχήμα 2.22 Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

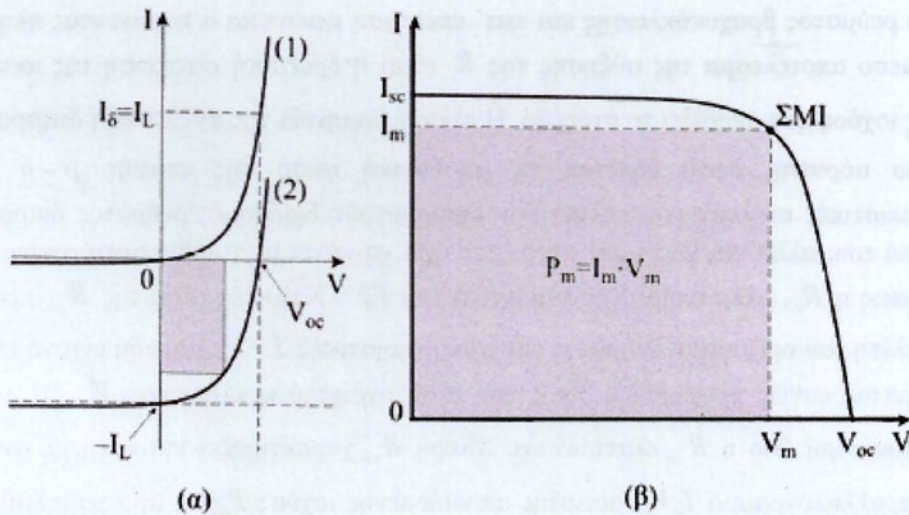
Υπάρχουν δυο όροι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για ένα φωτοβολταϊκό κελί και για το ισοδύναμο κύκλωμα του οι οποίοι δεν είναι εμφανείς εξαρχής. Ο πρώτος είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, I_{sc} , όπου είναι το ρεύμα που θα κυκλοφορήσει, εάν βραχυκυκλώσουμε το κελί (συνδέσουμε τους δυο πόλους του με ένα αγωγό) και ο δεύτερος είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος που αναπτύσσεται στους ακροδέκτες του κελιού, V_{oc} , όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό. Όταν τα δυο άκρα του κελιού βραχυκυκλώσουν, δε διαπερνά καθόλου ρεύμα την πραγματική δίοδο, αφού $V_d = 0$ και όλο το ρεύμα που παράγει η πηγή ρεύματος περνά από το κλειστό πλέον κύκλωμα (βραχύ κύκλωμα). Επομένως, η μέγιστη τιμή ρεύματος που μπορεί να προσφέρει η πηγή είναι ίση με I_{sc} .

Η αντίσταση R_s αντιπροσωπεύει την αντίσταση που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα καθ' όλη τη διαδρομή του μέσα στο κελί, όπως αντιστάσεις που οφείλονται στα ηλεκτρόδια που συγκεντρώνουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, στις επαφές μεταξύ των ηλεκτροδίων και των ημιαγωγών, όπως και στην αντίσταση που μπορεί φέρουν τα ημιαγωγικά υλικά. Σε ένα καλά σχεδιασμένο Φ/Β κελί η R_s είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Αύξηση της R_s μειώνει την τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης και κατ' επέκταση μειώνεται ο παράγοντας πληρότητας FF . Άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της R_s είναι η δραστική ελάττωση της αντίστοιχης μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Η φυσική ερμηνεία της αντίστασης διαρροής R_{sh} είναι πιο αόριστη, αφού δηλώνει τη μη-ιδανική φύση της επαφής $p-n$ και τις κατασκευαστικές ατέλειες του κελιού που δημιουργούν διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό του, αλλά και γύρω απ' αυτό. Δεν έχει να κάνει με τον βέλτιστο σχεδιασμό του κελιού όπως η R_s , αλλά επηρεάζει σημαντικά τον FF . Χαμηλές τιμές της R_{sh} προκαλούν έντονη κλίση του οριζώντιου τμήματος της χαρακτηριστικής $I-V$, δηλαδή έντονη ελάττωση του ρεύματος καθώς προχωρούμε προς την τάση ανοικτού κυκλώματος, V_{oc} . Η ελάττωση είναι εντονότερη όσο η R_{sh} ελαττώνεται. Μικρή R_{sh} χαρακτηρίζει καμπύλη με αντίστοιχα μικρό παραλληλόγραμμο $I_m V_m$ μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος P_m και άρα χαμηλότερη τιμή παράγοντα πληρότητας, FF . Ιδανικά, η R_s θα έπρεπε να είναι μηδενική και η R_{sh} να τείνει στο άπειρο, κάτι το οποίο προφανώς δεν ισχύει στην πραγματικότητα. Τα εύρη της R_s και της R_{sh} για ένα τυπικό κελί κρυσταλλικού πυριτίου καλής ποιότητας κυμαίνονται στα κελιά είναι 0,05-0,1 Ω και 200-300 Ω , αντίστοιχα



Σχήμα 2.23 Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με ιδανική και με μια πιο ρεαλιστική συμπεριφορά.

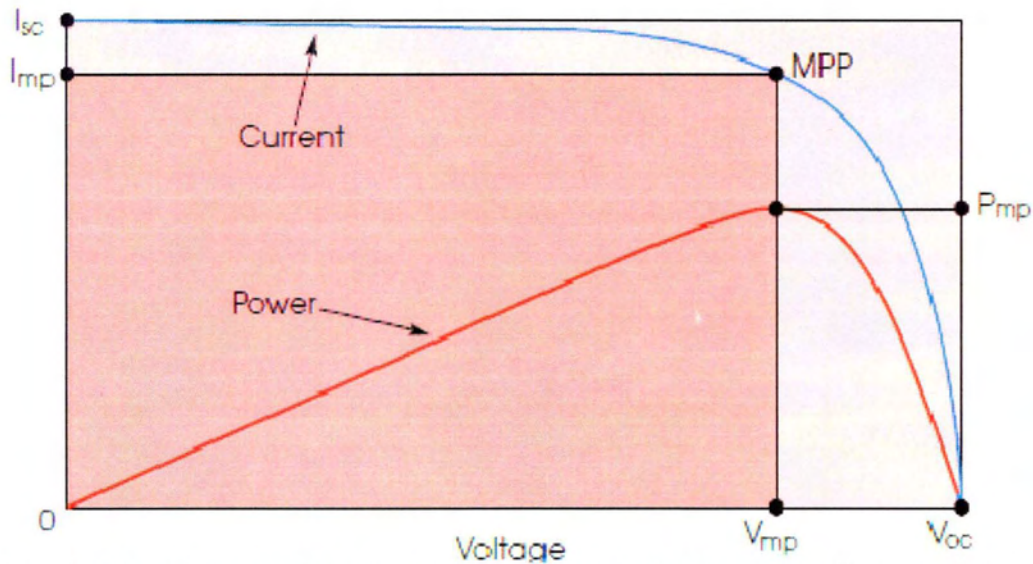
Όταν το φωτοβολταϊκό κελί βρίσκεται στο σκοτάδι, δεν απελευθερώνονται ηλεκτρόνια μέσω των φωτονίων και το $I_L = 0$. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αν εφαρμόσουμε μια ορθή τάση στο κελί, αυτό θα λειτουργήσει ως δίοδος ημιαγωγών με το ρεύμα που διατρέχει το κύκλωμα να είναι το I_d . Το κελί λειτουργεί ως δίοδος (καταναλώνει ενέργεια) και η καμπύλη $I-V$ βρίσκεται στο 1^ο και 3^ο τεταρτημόριο. Αντίθετα, αν στο κελί προσπίπτει φως (παράγει ενέργεια), τότε το $I_L \neq 0$, με αντίθετη φορά απ' αυτής του I_d (περνά από το εξωτερικό κύκλωμα.) και συνεπώς η καμπύλη $I-V$ βρίσκεται στο 4^ο τεταρτημόριο. Για λόγους ευκολίας της ανάγνωσης της καμπύλης $I-V$, οι τιμές του ρεύματος I αναστρέφονται, μεταφέροντας τες στο 1^ο τεταρτημόριο (σχ. 2.24).



Σχήμα 2.24 (α) Η λειτουργία ενός Φ/Β στοιχείου στο σκοτάδι (1) και στο φως (2). (β) Η καμπύλη ενός φωτιζόμενου στοιχείου στο 1^ο τεταρτημόριο.

Η χαρακτηριστική καμπύλη $I-V$ ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, αποτελεί τη γραφική παράσταση μεταξύ των τιμών ηλεκτρικού ρεύματος I και της διαφοράς δυναμικού V στην έξοδο ενός Φ/Β στοιχείου, όταν προσπίπτει σ' αυτό δεδομένη πυκνότητα ισχύος ηλιακής

ακτινοβολίας (σχ. 2.25). Παρατηρείται πως για τάση $V = 0$ και $V = V_{oc}$ η παρεχόμενη ισχύς είναι μηδενική, συνεπώς η καμπύλη $P = f(V)$ εμφανίζει μέγιστο σημείο.



Σχήμα 2.25 Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός Φ/Β στοιχείου(μπλε) και η καμπύλη της ισχύος(κόκκινη).

Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να προσφέρει ένα κελί, είναι το σημείο μέγιστης ισχύος, MPP (Maximum Power Point), το οποίο βρίσκεται στο σημείο της καμπύλης που αρχίζει η έντονη πτώση του ρεύματος.

$$P_m = I_m V_m$$

Προφανώς για να υπάρξει η αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του Φ/Β στοιχείου, η αντίσταση του καταναλωτή (φορτίο) που επιθυμούμε να συνδέσουμε στα άκρα του στοιχείου πρέπει να προσαρμοστεί, ώστε η τάση και το ρεύμα σ' αυτόν να αντιστοιχούν στο MPP.

Μια σημαντική ποσότητα που απεικονίζει τη συνολική ποιότητα ενός κελιού είναι ο παράγοντας πληρότητας, FF (Fill Factor) που αποτελεί τον λόγο της ισχύος στο MPP, προς το παραλληλόγραμμο που σχηματίζεται από το γινόμενο $I_{sc} V_{oc}$.

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

Γραφικά, όπως φαίνονται και από το σχήμα, ισούται με τον λόγο των δυο ορθογωνίων που είναι σκιαγραφημένα, ενώ η τιμή του παράγοντα πληρότητα σε ένα τυπικό κελί κρυσταλλικού πυριτίου κυμαίνεται στο 70-75%. Ένα ιδανικό κελί θα διατηρούσε υψηλές τιμές ρεύματος (στο I_{sc}) και θα έπεφτε απότομα στο 0 μετά το MPP, ώστε ο παράγοντας πληρότητας να έπαιρνε τιμή 1.

Η απόδοση μετατροπής της προσπίπτουσας ακτινοβολίας δεδομένης πυκνότητας ισχύος E ενός Φ/Β κελιού επιφάνειας S , όπου η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή ορίζεται ως

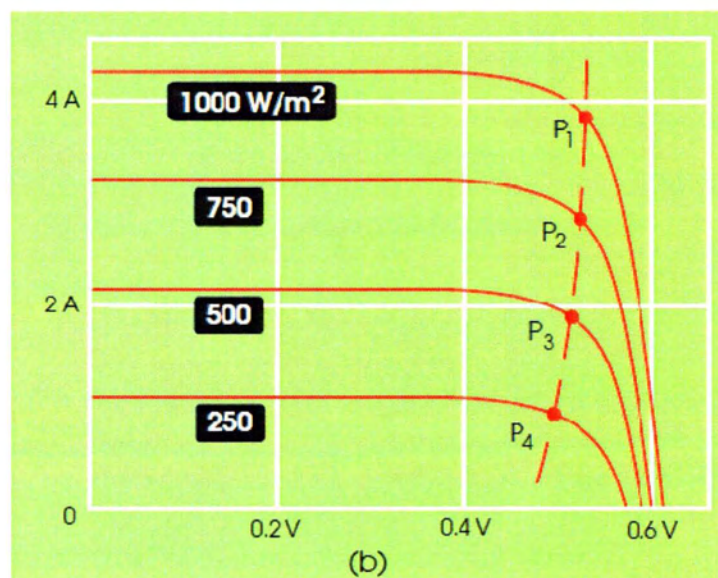
$$n_c = \frac{P_m}{P_m} = \frac{I_m V_m}{ES} = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{ES} \quad , \text{ με } P_m = ES$$

,όπου E η πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας $\left[\frac{W}{m^2} \right]$ και S η επιφάνεια του κελιού $\left[m^2 \right]$.

Όπως γίνεται αντιληπτό η απόδοση ενός Φ/Β κελιού και κατ' επέκταση ενός πάνελ ή μιας συστοιχίας πάνελ σε ένα καθορισμένο τόπο (γεωγραφικό πλάτος), μεταβάλλεται σημαντικά εξαιτίας της συνεχούς αλλαγής πυκνότητας ισχύος E . Σπουδαίος παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι και η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται κατά τη λειτουργία του.

2.3.4 Εξάρτηση της απόδοσης ενός κελιού από την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασία λειτουργίας

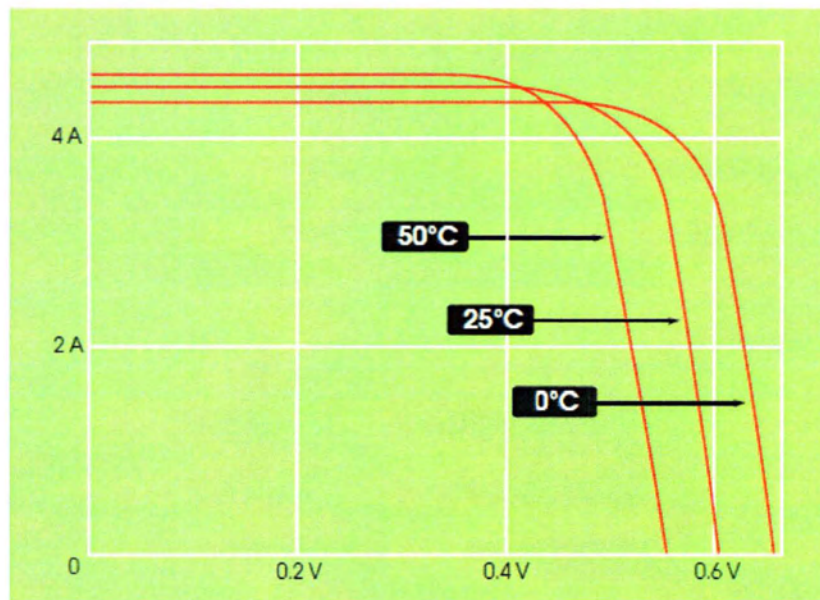
Τα φωτοβολταϊκά κελιά και κατ' επέκταση τα Φ/Β πλαίσια, λειτουργούν κάτω από ηλιακό φως του οποίου τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας καθ' όλο το έτος στο σημείο εγκατάστασης τους. Συνεπώς, δεν χαρακτηρίζονται από μια καμπύλη $I-V$, αλλά από μια οικογένεια καμπυλών, με την καθεμιά να αντιστοιχεί σε μια δεδομένη πυκνότητα ισχύος E . Μια τέτοια οικογένεια καμπυλών δίνεται στην εικόνα και αποτελεί χαρακτηριστικό του κάθε στοιχείου (ή πλαισίου), το οποίο παρέχεται από τον κατασκευαστή. Παρατηρείται πως καθώς μειώνεται η πυκνότητα ισχύος, το MPP της κάθε καμπύλης μειώνεται ελαφρά. Επίσης, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} μειώνεται ανάλογα του E , ενώ παρουσιάζεται μικρή μείωση και στις τιμές της V_{oc} (σχ. 2.26).



Σχήμα 2.26 Χαρακτηριστικές καμπύλες $I-V$ για διαφορετικές πυκνότητες ισχύος ενός Φ/Β κελιού.

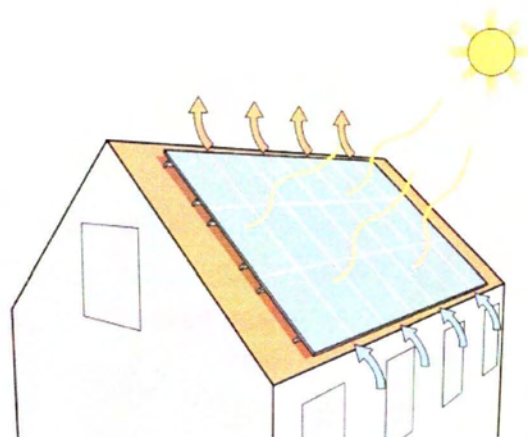
Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του κελιού, υπό την προϋπόθεση ότι η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διατηρείται σταθερή, επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (πλαισίων). Πιο συγκεκριμένα η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της απόστασης μεταξύ της ζώνης σθένους και της ζώνης αγωγιμότητας της

επαφής $p-n$ του ημιαγωγίμου υλικού των Φ/Β στοιχείων, που με τη σειρά της έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τάσης V_{oc} του ανοικτού κυκλώματος. Αντίθετα, η μείωση της απόστασης μεταξύ των δύο ζωνών έχει και ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενέργειας που μπορεί να απορροφήσει το Φ/Β στοιχείο από την ηλιακή ακτινοβολία, (γιατί μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έχει ικανή ενέργεια να μεταφέρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας), που συνεπάγεται ελαφριά αύξηση της τιμής του I_{sc} . Από τα δύο αυτά φαινόμενα συνήθως κυριαρχεί το πρώτο με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης των Φ/Β και με αλλοίωση της μορφής της χαρακτηριστικής $I-V$, δηλαδή το «γόνατο» της καμπύλης αποκτά πιο «στρογγυλεμένη μορφή». Η μεταβολή των τιμών τάσεως V_{oc} και της ισχύος στο MPP ενός Φ/Β πλαισίου, εξαιτίας της επίδραση της θερμοκρασίας, προσδιορίζεται από αρνητικούς συντελεστές, ενώ η αύξηση τιμής του ρεύματος I_{sc} από θετικό συντελεστή, επί τις εκατό ανά βαθμό Κελσίου (με τυπικές τιμές $-0.2V$, $-0.5W$ και $+0.05A$ $\%/^{\circ}C$, αντίστοιχα). Οι συντελεστές αυτοί παρέχονται από τον κατασκευαστή, μαζί με τα υπόλοιπα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του πλαισίου (σχ. 2.27).



Σχήμα 2.27 Η επίδραση της θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V.

Όπως γίνεται αντιληπτό οι ιδανικές θέσεις για την εγκατάσταση των Φ/Β θα ήταν ψυχρές περιοχές με αυξημένη όμως ηλιοφάνεια. Η θερμοκρασία λειτουργίας του Φ/Β συστήματος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης, ωστόσο είναι δυνατή η εγκατάσταση συστήματος ψύξης με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, ή την εγκατάσταση των πλαισίων έτσι ώστε να διευκολύνεται η απομάκρυνση της θερμότητα γύρω από αυτά μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα. (σχ. 2.28)

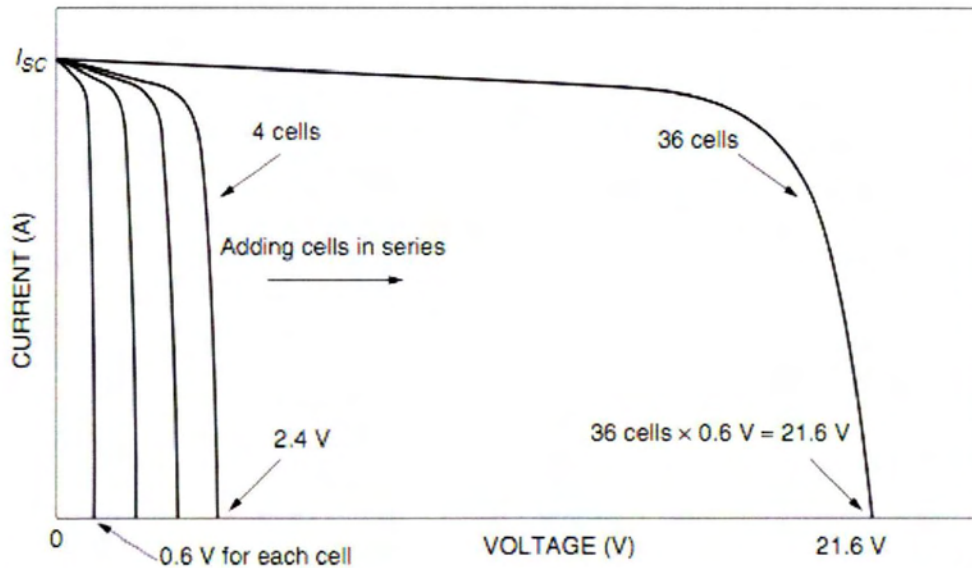
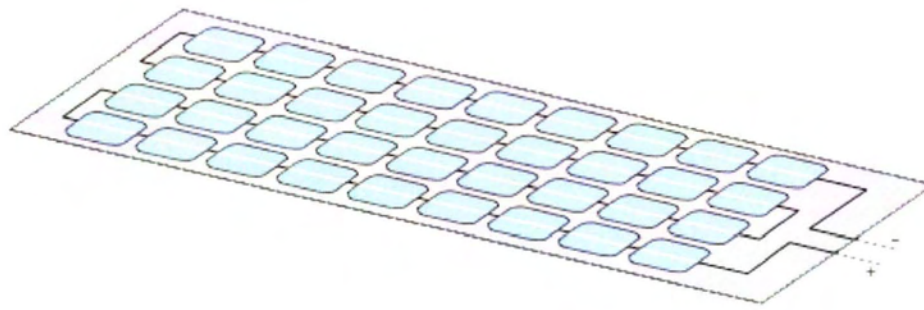


Σχήμα 2.28 Μεταφορά θερμότητας από την συστοιχία μέσω συναγωγής από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Κάθε εργαστηριακό ή βιομηχανικό Φ/Β προϊόν (στοιχείο ή πάνελ), ελέγχεται σε εργαστήρια σύμφωνα με τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, STC (Standard Test Conditions), για την ενεργειακή του απόδοση η_c , τον παράγοντα πλήρωσης FF , το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και την τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} . Οι STC είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 1000 W/m^2 (1 sun), ηλιακού φάσματος AM1,5 και θερμοκρασίας Φ/Β στοιχείου ίση με 25°C . Με βάση τις STC εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής, P_p , ως χαρακτηριστικό του Φ/Β στοιχείου (ή πάνελ) με μονάδα μέτρησης το W_p . Ισχύς αιχμής είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει ένα Φ/Β στοιχείο (ή πλαίσιο) κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου.

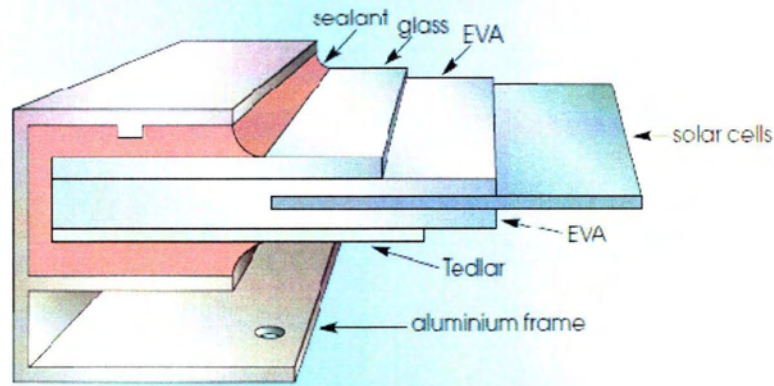
2.3.5 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module)

Η τάση ενός Φ/Β στοιχείου πολυκρυσταλλικού πυριτίου φθάνει περίπου έως $0,5\text{V}$ (με $V_{oc} \approx 0,6\text{V}$) και παράγει μια ποσότητα ισχύος που φθάνει στα $3\text{-}4 \text{ W}$. Προφανώς, ένα μεμονωμένο στοιχείο δε μπορεί να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή στη φόρτιση συσσωρευτών. Για αυτό το λόγο τα Φ/Β στοιχεία (συνήθως ανα 36 ή 72) τοποθετούνται σε ένα ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο, που αποτελεί το Φ/Β πλαίσιο (module). Στο πλαίσιο αυτό, τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά (ή σε συνδυασμό σε σειρά και παράλληλα) σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση επιθυμητής τάσης. Τα Φ/Β πλαίσια κατασκευάζονται βιομηχανικά και κυκλοφορούν στο εμπόριο σε διαστάσεις, ισχύεις και λοιπά χαρακτηριστικά με διαφορετική τυποποίηση, ανάλογα τον κατασκευαστή. Το μέγεθος ενός Φ/Β πλαισίου χαρακτηρίζεται από την ισχύ που μπορεί να παράγει και συγκεκριμένα με βάση την ισχύ που δίνει υπό τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, STC. Στο σχήμα 2.29 παρουσιάζεται ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο πυριτίου αποτελούμενο από 36 στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά έχοντας στην έξοδο συνεχές ρεύμα και τάση.



Σχήμα 2.29 Φ/Β πλαίσιο που αποτελείται από 36 στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά, ώστε να αυξηθεί η τάση εξόδου (επάνω). Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός πλαισίου, είναι το άθροισμα των καμπυλών των στοιχείων που το αποτελούν (κάτω).

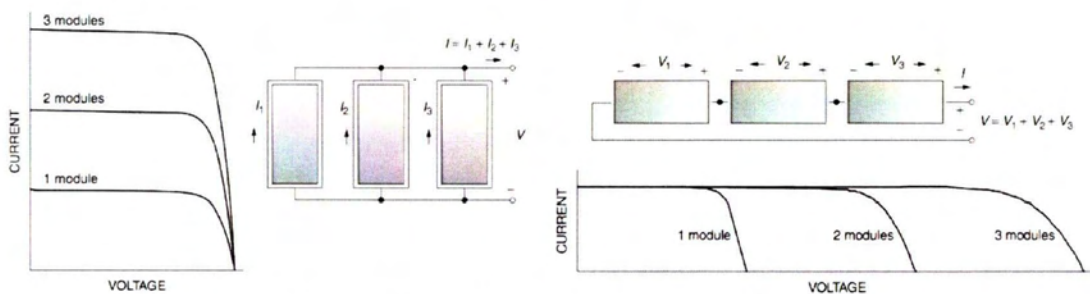
Το σχήμα 2.30 δείχνει την τομή ενός τυπικού Φ/Β πλαισίου πυριτίου. Η επιφάνεια που είναι στραμμένη προς τον ήλιο καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού πάχους 3-4 mm χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο, ώστε να μειώνεται η ανάκλαση τους φωτός (περίπου στο 8%) και να προφυλάσσει τα Φ/Β στοιχεία από τις καιρικές συνθήκες. Τα στοιχεία, καθώς είναι εύθραυστα προστατεύονται από πάνω και κάτω από πολυμερή πάχους 0.5 mm, ώστε να προσφέρουν την απαραίτητη προστασία και ηλεκτρική μόνωση. Η πίσω επιφάνεια του πλαισίου καλύπτεται από μια πολυστρωματική αδιαφανή μεμβράνη ή γυαλί, προκειμένου να μην επιτρέπει την είσοδο υγρασίας από τη πίσω όψη. Τέλος, το πλαίσιο καλύπτεται περιμετρικά από μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως αλουμινίου), για τον εύκολο χειρισμό και εγκατάσταση.



Σχήμα 2.30 Τομή ενός τυπικού πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου.

2.3.6 Φωτοβολταϊκή συστοιχία

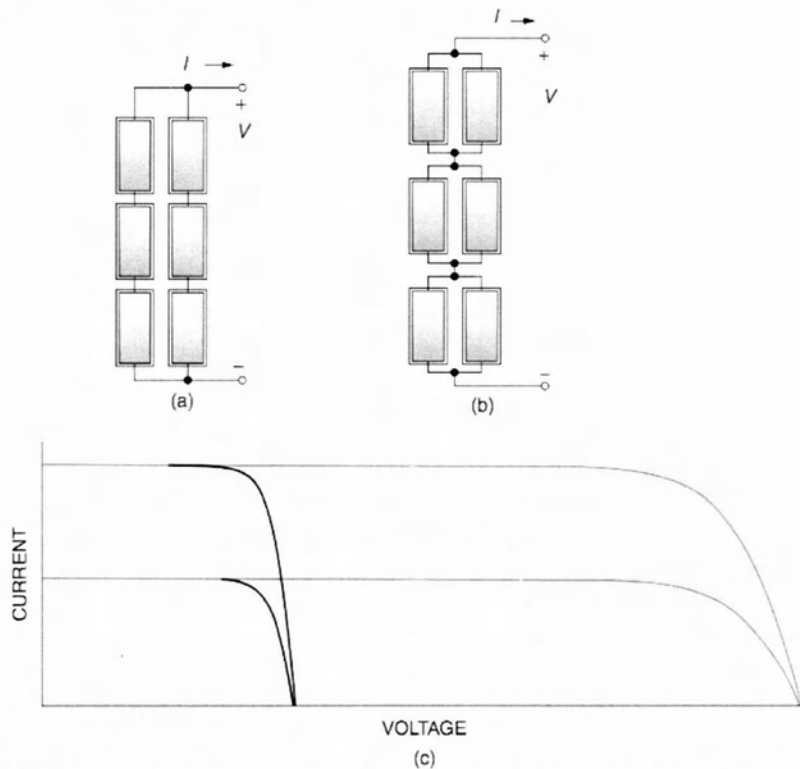
Σε μια Φ/Β εγκατάσταση που έχει σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες Φ/Β πλαίσια. Με την συνένωση πολλών πλαισίων μαζί δημιουργούνται μονάδες μεγαλύτερης ισχύος που ονομάζονται συστοιχίες (arrays). Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/Β συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων να μην είναι μόνο σε σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτόν τον τρόπο, αν στοιχεία των πλαισίων ή ακόμα και πλαίσια σκιαστούν ή πάθουν βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα. Τα Φ/Β πλαίσια ομαδοποιούνται σε Φ/Β συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινές βάσεις στήριξης. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα, ακολουθεί τον ίδιο τρόπο των συνδέσεων των κελιών σε ένα πλαίσιο και γίνεται έτσι, ώστε η τάση εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή (σχ.2.31). Τα πλαίσια με παράλληλη σύνδεση διατηρούν κοινή τάση αθροίζοντας το συνολικό παραγόμενο ρεύμα του κάθε πλαισίου, ενώ τα πλαίσια που συνδέονται σε σειρά αυξάνουν την συνολική τάση του συστήματος (προστίθεται η κάθε συνεισφορά) με το ίδιο ρεύμα να διαρρέει τα πλαίσια.



Σχήμα 2.31 Σύνδεση Φ/Β πλαισίων παράλληλα (αριστερά) και σε σειρά (δεξιά).

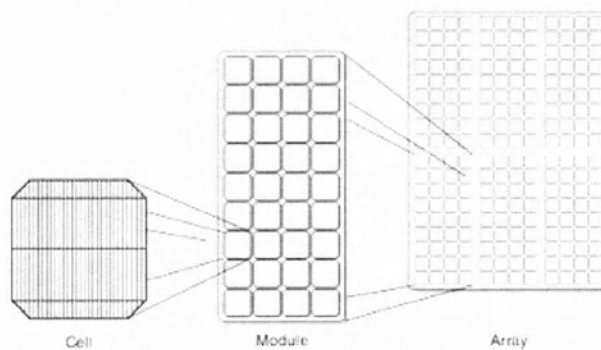
Σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη ισχύς, οι συστοιχίες συνήθως αποτελούνται από ένα συνδυασμό Φ/Β πλαισίων που συνδέονται παράλληλα και σε σειρά, με την αθροιστική καμπύλη $I-V$ της συστοιχίας να είναι το άθροισμα των καμπυλών των πλαισίων. Υπάρχουν δυο τρόποι συνδυασμού των δυο συνδέσεων: Αρχικά τα πλαίσια συνδέονται κατά ομάδες πλαισίων σε σειρά (strings) και στη συνέχεια οι ομάδες αυτές συνδέονται παράλληλα (σχ. 2.32a) ή σχηματίζονται ομάδες από πλαίσια που συνδέονται αρχικά παράλληλα και μετά σε σειρά (σχ. 2.32b). Η αθροιστική καμπύλη $I-V$ είναι ίδια και με τους δυο τρόπους

σύνδεσης, όπως και η παραγόμενη ισχύς (σχ. 2.32c). Ωστόσο, προτιμάται ο πρώτος τρόπος, καθώς εάν ένα string τεθεί εκτός λειτουργίας για κάποιο λόγο, η συστοιχία θα συνεχίσει να παραδίδει ισχύ στο σύστημα, με την ίδια τάση, αλλά χαμηλότερη ένταση ρεύματος, κάτι που δεν ισχύει στη δεύτερη περίπτωση.



Σχήμα 2.32 Οι δυο τρόποι σύνθετης σύνδεσης Φ/Β πλαισίων (επάνω) και η αθροιστική χαρακτηριστική καμπύλη I-V της συστοιχίας (κάτω).

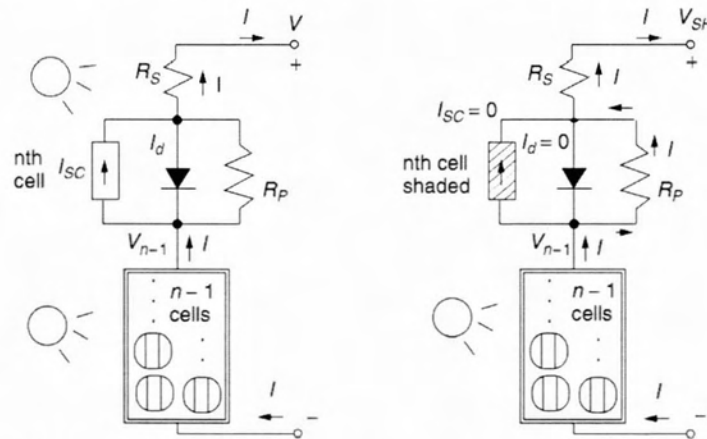
Τα πλαίσια μπορούν είτε να είναι μόνιμα σε μια σταθερή γωνία κλίσης, είτε να είναι κινητά και να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Ο απλούστερος τύπος μιας Φ/Β συστοιχίας είναι ο σταθερός (fixed), ο οποίος έχει τα πλεονεκτήματα των ακίνητων τμημάτων και της απλότητας του συστήματος, ενώ το μειονέκτημα ότι δεν εκμεταλλεύεται με τον μέγιστο βαθμό την ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 2.33 Μια Φ/Β συστοιχία αποτελείται από πλαίσια, όπου το καθένα περιλαμβάνει ένα αριθμό Φ/Β στοιχείων.

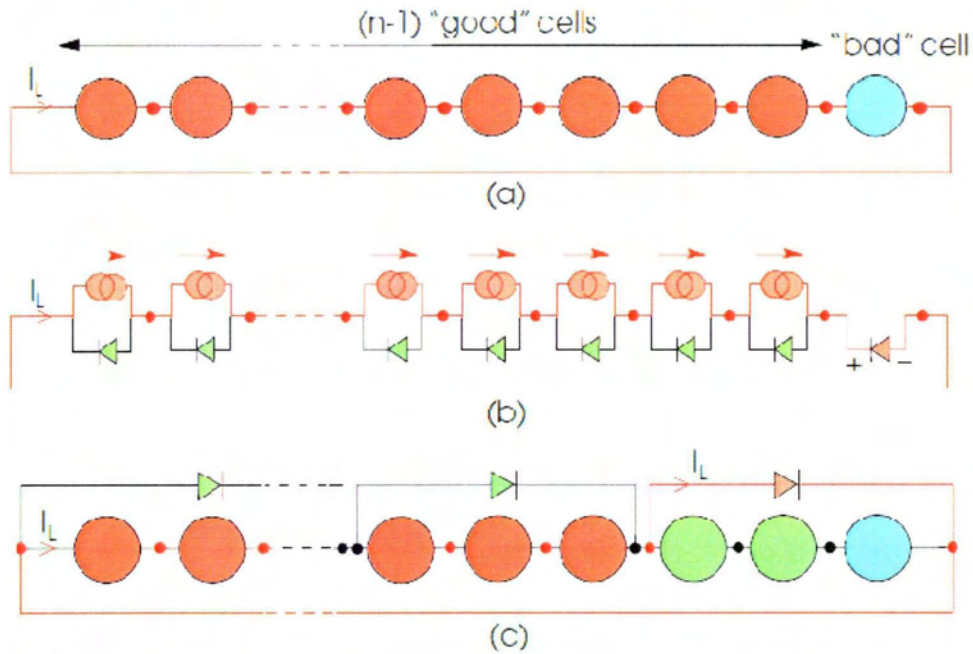
2.3.7 Σκίαση πλαισίων

Πιθανή σκίαση τμήματος, ή όλου του πλαισίου, οδηγεί στη μείωση της απόδοσης του πλαισίου, ή της συστοιχίας της οποίας ανήκει, ενώ ενδεχομένως μπορεί να οδηγήσει και στην καταστροφή του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν ένα Φ/Β στοιχείο δε φωτίζεται, λειτουργεί ως δίοδος που του ασκείται ανάστροφη τάση, δηλαδή καταναλώνει ρεύμα (πολύ μικρής έντασης) I_0 (από τα ηλεκτρικά στοιχεία δίοδου), αντίθετης φοράς από τα υπόλοιπα στοιχεία. Το παραγόμενο ρεύμα των στοιχείων που λειτουργούν κανονικά περνά από τις αντιστάσεις R_p και R_s θερμαίνοντας το κελί, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται η τάση εξόδου.



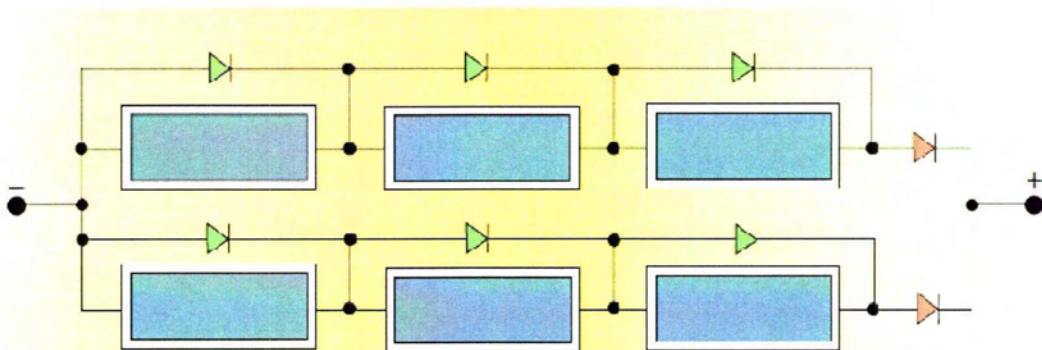
Σχήμα 2.34 Φ/Β πλαίσιο n στοιχείων που λειτουργεί κανονικά (αριστερά), και (δεξιά) όπου το n -οστό στοιχείο σκιάζεται.

Με άλλα λόγια τα σκιασμένα στοιχεία λειτουργούν ως μια μεγάλη αντίσταση, στην οποία καταναλώνεται, η ούτως ή άλλως μειωμένη ενέργεια που παράγουν τα υπόλοιπα μη σκιασμένα κύτταρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σχηματισμός θερμής κηλίδας (hot spot) και μπορεί να προκαλέσει τοπικά θραύση ή τήξη της διάταξης. Παρατεταμένος σκιασμός κάποιων Φ/Β στοιχείων, σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπόλοιπων, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των σκιασμένων στοιχείων και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου (ή μειωμένης απόδοσης) του πλαισίου, καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης τους. Για να αποτραπεί μια τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους παράκαμψης (bypass diodes) που τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων (junction box), το οποίο βρίσκεται στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου, επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του πλαισίου ακόμα κι αν κάποιο στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί. Κατά την κανονική λειτουργία του πλαισίου οι διόδους απλά καταναλώνουν μια ελάχιστη ποσότητα ισχύος, ενώ σε περίπτωση σκίασης ή βλάβης στοιχείων, η δίοδος παράκαμψης εκτρέπει το ρεύμα μέσω αυτής. Η δίοδος όταν λειτουργεί μειώνει την τάση του πλαισίου κατά $0.6V$ / στοιχείο (V_{oc}), ενώ χωρίς αυτή η πτώση θα ήταν αρκετά μεγαλύτερη.



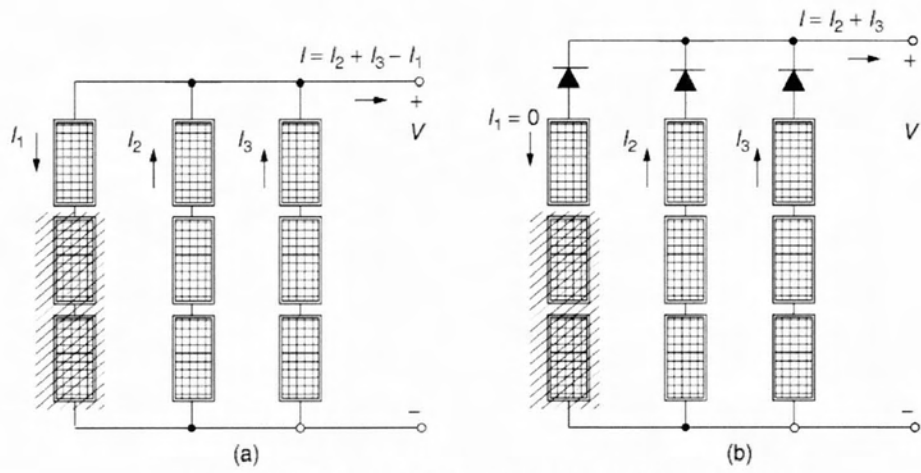
Σχήμα 2.35 Αναπαράσταση του φαινομένου θερμής κηλίδας στο n-οστό στοιχείο ενός Φ/Β πλαισίου. (α) το n-οστό στοιχείο σκιάζεται, (β) λειτουργεί με ανάστροφη πόλωση και (γ) αντιμετωπίζεται παρακάμπτοντας το με μία δίοδο. Ωστόσο, οι δίοδοι παράκαμψης λειτουργούν σε υπό-ομάδες στοιχείων, με αποτέλεσμα ενδεχομένως να βγάζουν εκτός λειτουργίας Φ/Β στοιχεία που δε σκιάζονται και λειτουργούν κανονικά (με πράσινο χρώμα)

Προφανώς, θα ήταν επιθυμητό κάθε Φ/Β στοιχείο να συνοδεύεται από μια δίοδο παράκαμψης, ώστε να παρακάμπτονται μόνο εκείνα τα στοιχεία τα οποία σκιάζονται. Ωστόσο για λόγους κόστους, οι δίοδοι συνήθως τοποθετούνται ανά 18-20 στοιχεία. Κάτι αντίστοιχο μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά τη σύνδεση των πλαισίων προς σχηματισμό μιας Φ/Β συστοιχίας, ώστε τα πλαίσια που σκιάζονται ή τίθενται εκτός λειτουργίας για διάφορους λόγους (π.χ συντήρηση) να παρακάμπτονται από το κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.36.



Σχήμα 2.36 Δίοδοι παράκαμψης (πράσινο χρώμα) και φραγής (κόκκινο σχρώμα), σε μια συστοιχία των 2 strings των 3 πλαισίων που συνδέονται παράλληλα.

Οι δίοδοι φραγής (blocking diodes) εγκαθίστανται για να αποτρέψουν την αντιστροφή της ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια. Τοποθετούνται σε κάθε ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένη σε σειρά (strings) μη επιτρέποντας ρεύμα αντίθετης φοράς να τις διαπεράσει. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε συστήματα που φορτίζουν συσσωρευτές, προλαμβάνοντας έτσι την ροή ρεύματος από τους συσσωρευτές προς τα Φ/Β πλαίσια (εκφόρτιση συσσωρευτών) κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 2.37 Φ/Β συστοιχία (a) χωρίς και (b) με διόδους φραγής

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- ❖ *“Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics”*, Paul A. Lynn, Wiley 2010
- ❖ *“Renewable and Efficient Electric Power Systems”*, Gilbert M. Masters, Wiley 2004
- ❖ *“ENERGY FOR SUSTAINABILITY Technology, Planning, Policy”*, John Randolph, Gilbert M. Masters, Island Press 2008
- ❖ *“Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers”*, second edition, The German Energy Society, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS LV Berlin BRB), earthscan 2008
- ❖ *“APPLIED PHOTOVOLTAICS”*, Second Edition, S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt, R. Corkish, ARC Centre for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics 2007
- ❖ *“Building integrated photovoltaics / a handbook”*, Simon Roberts & Nicolo Guariento, Birkhauser Verlag AG 2009
- ❖ *“Fundamentals of Renewable Energy Processes”*, Aldo Vieira da Rosa, Elsevier 2005
- ❖ *“Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”*, Antonio Luque, Steven Hegedus, Wiley 2003
- ❖ *“SOLAR ENERGY Renewable Energy and the Environment”*, Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota, CRC Press 2010
- ❖ *“Πανεπιστημιακή Φυσική ΤΟΜΟΣ Β΄, ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ, ΟΠΤΙΚΗ, ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ”*, Hugh D.Young, Μετάφραση-Επιμέλεια από ομάδα πανεπιστημιακών, Εκδόσεις Παπαζήση 1992
- ❖ *“Φωτοβολταϊκά Συστήματα”*, Ι.Ε Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις ΖΗΤΗ 2007
- ❖ *“Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Τεχνολογία, Μελέτες, Εφαρμογές”*, Σ.Ν. Καπλάνης, Εκδόσεις ΙΩΝ 2004

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

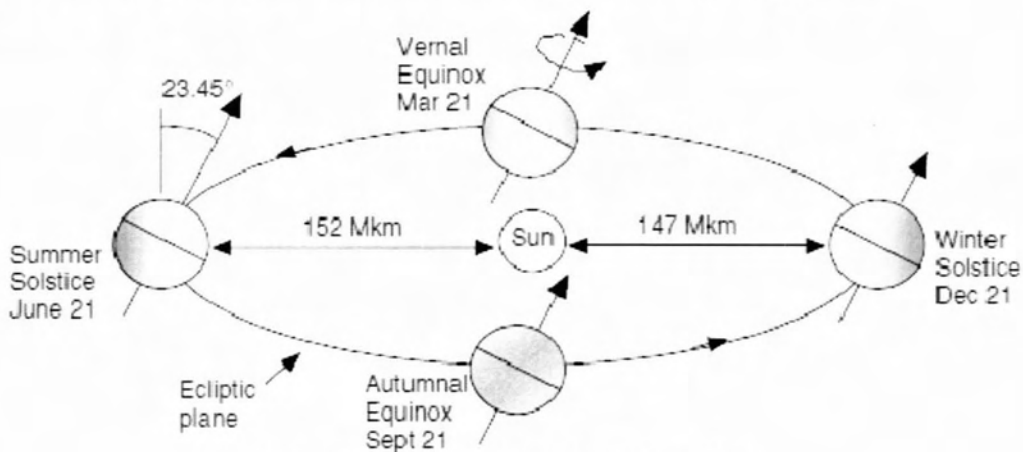
3.1 Κίνηση της γης-ηλιακή ακτινοβολία-προσανατολισμός συλλεκτών

3.1.1 Εισαγωγή

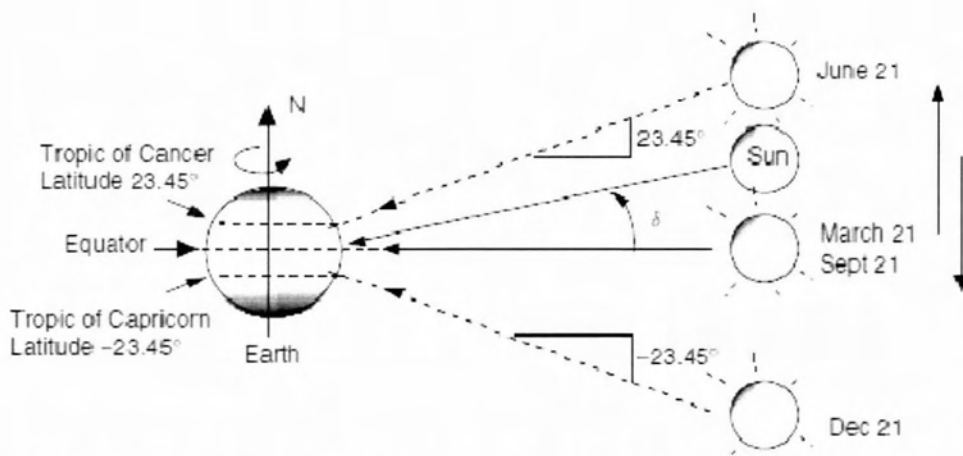
Ο ήλιος με διάμετρο $1,39 \times 10^6$ km και μάζα 2×10^{30} kg, είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος και ένα από τα δισεκατομμύρια αστέρια του γαλαξία μας. Αντιπροσωπεύει το 99,86% όλης της μάζας του ηλιακού συστήματος και αποτελεί πηγή ζωής και φωτός για τη Γη. Αποτελείται από 80% υδρογόνο (H_2), 19% ήλιο (He), με το υπόλοιπο 1% να είναι ένα μείγμα περισσότερων από 100 χημικών στοιχείων. Το κέντρο του είναι ένας ισχυρός θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας, ο οποίος βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία και εκπέμπει τεράστιες ποσότητες φωτονίων και σωματιδίων προς όλες τις κατευθύνσεις. Η σημαντικότερη αντίδραση που πραγματοποιείται στο εσωτερικό του είναι αυτή κατά την οποία πυρήνες υδρογόνου ενώνονται ανά τέσσερις και μετατρέπονται σε πυρήνες ηλίου, απελευθερώνοντας τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια ακτινοβολίας ισχύος $E_{\text{sun}}=3,8 \times 10^{26}$ W, από την οποία την οποία το $1,7 \times 10^{17}$ W φθάνει στη Γη. Ένα ποσοστό το οποίο μπορεί να φαίνεται μικρό (ένα δισεκατομμυριοστό του συνολικού), είναι όμως αρκετό να συντηρεί τη ζωή στον πλανήτη. Λόγω όμως της εξασθένησης που προκαλεί η ατμόσφαιρα, τελικά στην επιφάνεια της γης (στο επίπεδο της θάλασσας) φθάνει μόνο 1kW/m^2 , το οποίο στη διάρκεια του 24ώρου δίνει μια μέση ετήσια ισχύ 12.600 TW. Αυτή η ενέργεια τροφοδοτεί και υποστηρίζει τη ζωή πάνω στη γη και διατηρεί το γήινο οικοσύστημα.

3.1.2 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο πραγματοποιώντας μια ελλειπτική τροχιά σε διάρκεια 365,25 ημερών, ενώ ταυτόχρονα περιστρέφεται και γύρω από τον άξονα της σε 24ώρη βάση (σχ. 3.1). Το ισημερινό επίπεδο και το επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς σχηματίζουν γωνία $23,45^\circ$, η οποία είναι υπεύθυνη για το φαινόμενο των εποχών. Στις 21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν κάθετα τον ισημερινό με αποτέλεσμα παντού στη γη, η ημέρα και νύχτα να διαρκεί 12 ώρες η καθεμία (ισημερίες). Στις 21 Δεκεμβρίου, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν κάθετα τον τροπικό του Αιγόκερου. Στο βόρειο ημισφαίριο διανύεται ο χειμώνας, ενώ το νότιο δέχεται τις ακτίνες του ήλιου για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μέσα στην ημέρα (καλοκαίρι). Στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν κάθετα τον τροπικό του Καρκίνου, με αποτέλεσμα πλέον το βόρειο ημισφαίριο να διανύει το καλοκαίρι και το νότιο τον χειμώνα.



Σχήμα 3.1 Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο.

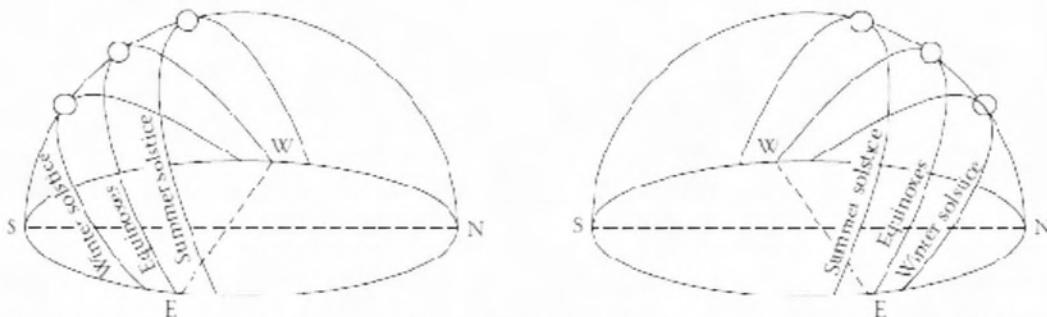


Σχήμα 3.2 Η γεωκεντρική θεώρηση διευκολύνει την επεξήγηση των χαρακτηριστικών της κίνησης της γης γύρω από τον ήλιο.

Στο βόρειο ημισφαίριο ο ήλιος ξεκινά την πορεία του από την ανατολή, φθάνει στο μέγιστο ύψος κατά τη διάρκεια της ημέρας περίπου το μεσημέρι (ηλιακό μεσημέρι) και χάνεται στη Δύση. Το ηλιακό μεσημέρι είναι μια σημαντική παράμετρος για τους υπολογισμούς της συμπεριφοράς της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς εκείνη την ώρα ο ήλιος βρίσκεται στο μέγιστο ύψος κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στο βόρειο ημισφαίριο, σε γεωγραφικά πλάτη πάνω από τον τροπικό του Καρκίνου, το ηλιακό μεσημέρι βρίσκεται στον νότιο

προσανατολισμό από τον παρατηρητή. Αντίθετα νοτιότερα του τροπικού του Αιγόκερου το ηλιακό μεσημέρι βρίσκεται στον Βορά. Τέλος, μόνο στις τροπικές ζώνες το ηλιακό μεσημέρι βρίσκεται σχεδόν κάθετα από τον παρατηρητή (κάθετα απολύτως μόνο κατά τις ισημερίες).

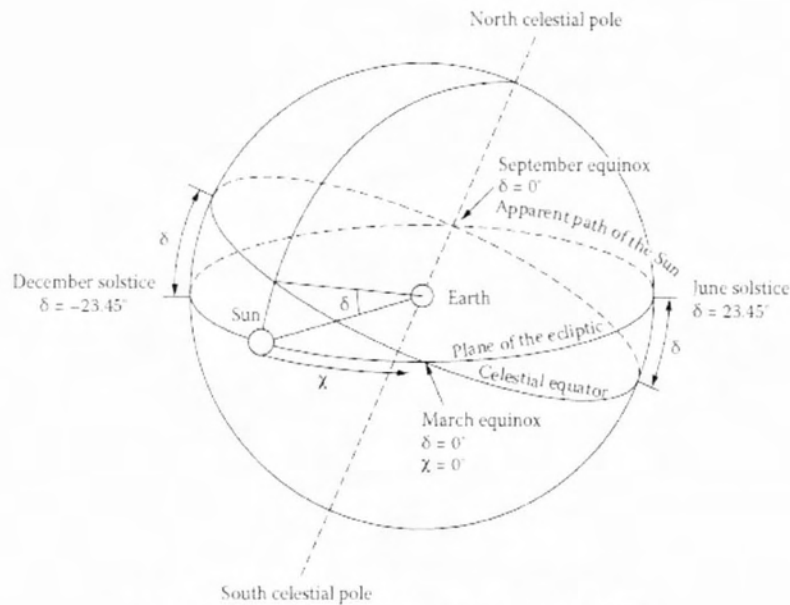
Κατά την εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι ίδια, με τον ήλιο να ανατέλλει και να δύει, από την ανατολή και τη Δύση. Κατά το θερινό ηλιοστάσιο, στο βόρειο ημισφαίριο ο ήλιος βρίσκεται στο μέγιστο ύψος και ανατέλλει και δύει πιο βορειοανατολικά και πιο βορειοδυτικά αντίστοιχα. Η ημέρα έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους και η νύχτα τη μικρότερη, ενώ στο νότιο ημισφαίριο συμβαίνουν τα αντίθετα. Κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον τροπικό του Αιγόκερου και ο ήλιος (βρίσκεται στο χαμηλότερο ύψος) ανατέλλει και δύει πιο νοτιοανατολικά και πιο νοτιοδυτικά (για το βόρειο ημισφαίριο). Διανύεται η μικρότερη σε διάρκεια ημέρα του χρόνου και η μεγαλύτερη νύχτα, ενώ για το νότιο ημισφαίριο ισχύουν και πάλι τα αντίθετα (σχ. 3.3).



Σχήμα 3.3 Οι χαρακτηριστικότερες πορείες του ήλιου κατά τη διάρκεια ενός έτους από παρατηρητή που βρίσκεται στο βόρειο (αριστερά) και νότιο (δεξιά) ημισφαίριο.

3.1.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά γης-ήλιου

Ως ουράνια σφαίρα ορίζεται η νοητή σφαίρα της οποίας το κέντρο είναι στη Γη, πιο συγκεκριμένα στον οφθαλμό του γίγινου παρατηρητή, όπου στην εσωτερική επιφάνεια της αναπαρίστανται οι θέσεις και οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων. Αν παρατηρήσουμε την κίνηση του ήλιου μέσα στην ουράνια σφαίρα, η κεκλιμένη ελλειπτική τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο, θα καταλήξει σε μια φαινόμενη κίνηση του ήλιου γύρω από τη γη (γεωκεντρική θεώρηση), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4.

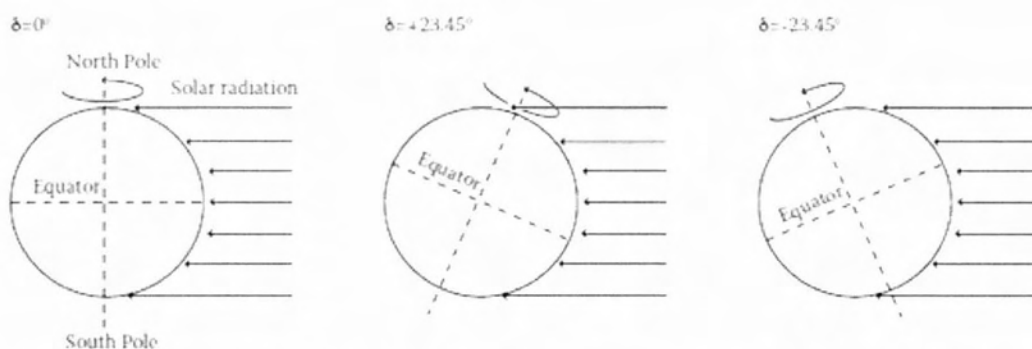


Σχήμα 3.4 Η κίνηση του ήλιου στον ουράνιο θόλο.

Αυτή η φαινόμενη κίνηση έχει τη μορφή έλλειψης, κεκλιμένης κατά $23,45^\circ$ ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Η γωνία δ που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ισημερινού και τα κέντρα ήλιου-γης, ονομάζεται ηλιακή απόκλιση δ , και υπολογίζεται από τη σχέση

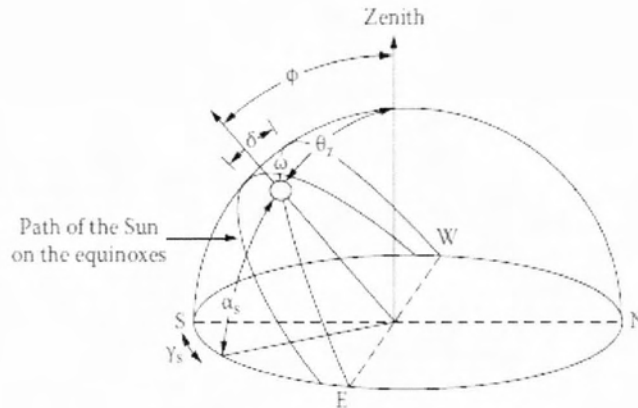
$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(284 + n)}{365} \right]$$

όπου n , ο αύξων αριθμός της εξεταζόμενης μέρας ξεκινώντας από την αρχή του έτους ($1^{\text{η}}$ Ιανουαρίου, $n = 1$). Η ηλιακή απόκλιση είναι 0 στις δυο ισημερίες (21/3 και 23/09), ενώ παίρνει τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή της ($23,45^\circ$ και $-23,45^\circ$) στο θερινό (22/6) και χειμερινό (22/12) ηλιοστάσιο, αντίστοιχα (για το βόρειο ημισφαίριο).



Σχήμα 3.5 Η κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τις ισημερίες (αριστερά), το θερινό (κέντρο) και χειμερινό (δεξιά) ηλιοστάσιο.

Στο παρακάτω σχήμα, 3.6, δίνεται η γεωμετρία ήλιου-γης και τα απαραίτητα γεωμετρικά στοιχεία για τον προσδιορισμό της κίνησης του ήλιου στον ουράνιο θόλο.



Σχήμα 3.6 Γεωμετρικά στοιχεία της "κίνησης" του ήλιου.

Ως *γωνία ηλιακού ζενίθ*, θ_z , ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται από την κάθετο στο οριζόντιο επίπεδο σε ένα σημείο και την ευθεία που ενώνει το σημείο αυτό με τον ήλιο, παίρνει την ελάχιστη τιμή κατά το ηλιακό μεσημέρι.

Γωνία ηλιακού ύψους, α_s , είναι η γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και την ευθεία που ενώνει τον ήλιο με το σημείο του οριζόντιου επιπέδου στο οποίο αναφερόμαστε και είναι συμπληρωματική της θ_z .

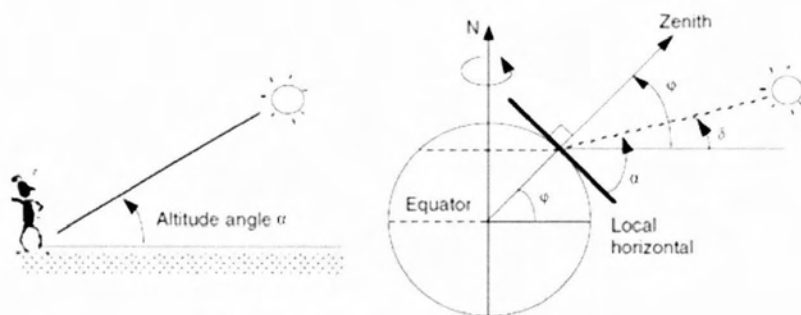
Γωνία ηλιακού αζιμούθιου, γ_s , ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της ευθείας που ενώνει τον ήλιο με τη γη στο οριζόντιο επίπεδο και του νότιου προσανατολισμού. Οι γωνίες ανατολικά θεωρούνται αρνητικές και δυτικά θετικές.

Γωνία γεωγραφικού πλάτους, φ ενός σημείου πάνω στη γη είναι η γωνία του τόξου του μεσημβρινού που περικλείεται μεταξύ του ισημερινού και του παράλληλου του τόπου αυτού. Θεωρείται θετική για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητική για το νότιο και $\varphi \in [-90, 90]$.

Αντίστοιχα ορίζεται και το *γεωγραφικό μήκος*, λ , το οποίο είναι η γωνία του τόξου του ισημερινού που περιλαμβάνεται μεταξύ του πρώτου μεσημβρινού (Greenwich) με τον μεσημβρινό του τόπου αυτού και $\lambda \in [0, 180]$.

Από τη γεωμετρία του παρακάτω σχήματος η γωνία του ηλιακού ύψους ισούται με

$$\alpha = 90^\circ - \varphi + \delta$$



Σχήμα 3.7 Η γωνία ηλιακού ύψους, α .

Γωνία ηλιακής ώρας, ω , είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία που ενώνει τον ήλιο με τη γη σε δεδομένη χρονική στιγμή και στην ευθεία που ενώνει τον ήλιο με τη γη κατά το

ηλιακό μεσημέρι. Η αλλιώς η γωνία κατά την οποία η γη έχει περιστραφεί από το ηλιακό μεσημέρι και δίνεται από τη σχέση

$$\omega = (15h^{-1})(t_{solar} - 12h)$$

,όπου t_{solar} η τοπική ηλιακή ώρα που δίνεται από τον τύπο

$$t_{solar} = t_{zone} + E \pm 4 \frac{\min}{\text{deg}} (L_{st} - L_{loc})$$

,με t_{zone} συμβολίζεται η συμβατική ώρα που χρησιμοποιείται στην περιοχή, L_{st} το γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού από τον οποίο καθορίζεται ο τοπικός ωρολογιακός χρόνος (30° για την Ελλάδα), L_{loc} το γεωγραφικό μήκος του υπό εξέταση τόπου, επιλογή \pm έχει να κάνει με το ημισφαίριο (+ για το ανατολικό, - για το δυτικό) και E εξίσωση του χρόνου που μπορεί να δοθεί από τη σχέση

$$E = 229,2 \left[0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos 2B - 0,04089 \sin 2B \right]$$

,όπου $B = (n - 1)360/365$, μια βοηθητική μεταβλητή.

Κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° ($360^\circ/24h$), ενώ κατά το ηλιακό μεσημέρι $\omega = 0$ και $t_{solar} = 12:00$. Πριν την $t_{solar} = 12:00$ $\omega < 0$, ενώ μετά $\omega > 0$.

3.1.4 Η ηλιακή ακτινοβολία και οι συνιστώσες της

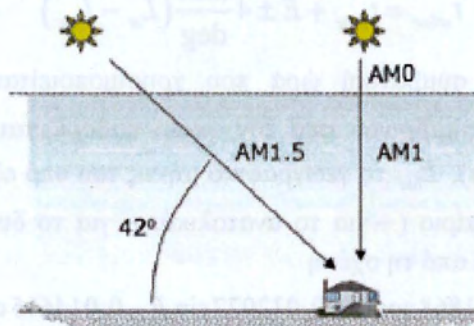
Έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία αντιστοιχεί σε αυτή που θα προερχόταν από την εκπομπή ενός μέλανος σώματος με θερμοκρασία 5762 K. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ανά μονάδα επιφανείας και εκτός γήινης ατμόσφαιρας σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο στις ηλιακές ακτίνες και βρίσκεται στη μέση απόσταση ήλιου-γης λέγεται ηλιακή σταθερά, G_{sc} , και ισούται με 1353 W/m^2 . Η μονάδα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι W/m^2 , δηλαδή ισχύς ανά μονάδα επιφανείας και η τιμή της είναι το μέτρο της έντασής της. Εφόσον η απόσταση μεταξύ γης και ήλιου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους, το ίδιο συμβαίνει και με την ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει έξω από την γήινη ατμόσφαιρα, G_{on}

$$G_{on} = G_{sc} (1,000110 + 0,034221 \cos B + 0,001280 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B)$$

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος επηρεάζεται από το μήκος της ατμόσφαιρας που διαπερνά. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων στην ατμόσφαιρα, τόσο μειωμένη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεγαλύτερη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας για να φθάσει στην επιφάνεια της γης είναι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα. Ως δείκτης της διαδρομής που διασχίζει η ακτινοβολία χρησιμοποιείται ένας όρος σχετικής μάζας του αέρα, το κλάσμα μάζας-αέρα. Ως κλάσμα μάζας-αέρα (*air mass ratio*) AM , ορίζεται το κλάσμα μάζας της ατμόσφαιρας που θα πρέπει να διανύσει η ηλιακή ακτινοβολία, προς τη μάζα που θα διέσχισε αν ο ήλιος βρισκόταν κάθετα πάνω από τον προς μελέτη τόπο. Δίνεται από τη σχέση:

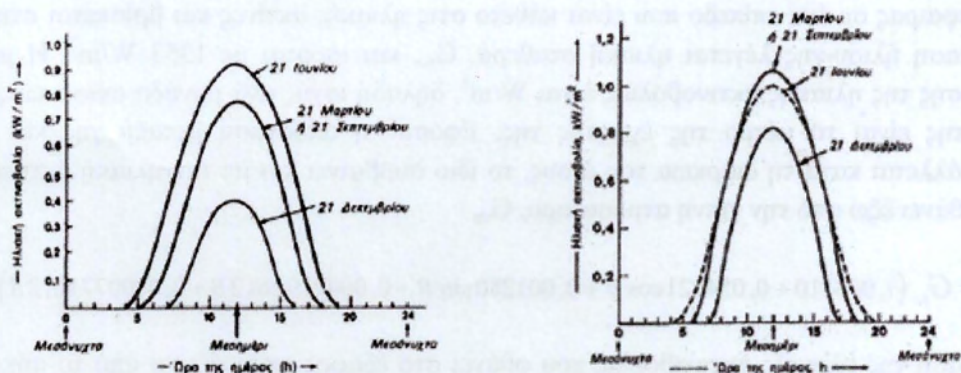
$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \text{, όπου } \theta_z \text{ η γωνία ηλιακού ζενίθ.}$$

Ως *AM0* ορίζεται το κλάσμα μάζας στο διάστημα, έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα. Όταν ο ήλιος είναι κάθετα πάνω από τον προς μελέτη τόπο ($\theta_z = 0$), το κλάσμα μάζας - αέρα είναι *AM1*. Είναι κοινή πρακτική η απόδοση των Φ/Β αξιολογείται με *AM1.5*, που αντιστοιχεί σε τιμή για καθαρή μέρα (σχ.3.8).



Σχήμα 3.8 Το κλάσμα μάζας-αέρα, AM.

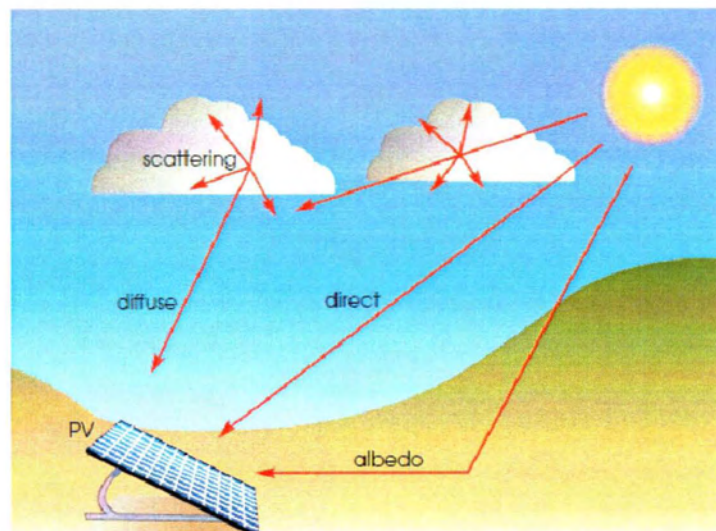
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο σχήμα 3.8 φαίνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού. Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12:25 τον χειμώνα, και 13:25 το καλοκαίρι όταν ισχύει η θερινή ώρα.



Σχήμα 3.9 Ημερήσια κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ενός τόπου σε οριζόντιο επιφάνεια (αριστερά) και σε Φ/Β συλλέκτη με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτίνων να γίνεται κάθετα. Η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει παρά πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή 1 kW/m^2 αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά πάντως γενικά αποδεκτή προσέγγιση. Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια, φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχες ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, ένα μέρος της απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα κλπ., ένα άλλο διαχέεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απευθείας στην επιφάνεια του συλλέκτη (απευθείας ή ακτινική ακτινοβολία). Η συνολική ακτινοβολία (global radiation) που φθάνει στην επιφάνεια του συλλέκτη είναι το άθροισμα της άμεσης ακτινοβολίας (direct radiation), που προσπίπτει επί αυτού απευθείας και της διάχυτης ακτινοβολίας (diffuse radiation), που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα (σχ. 3.10). Επιπλέον, όταν ο φωτοβολταϊκός συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση κυρίως από το έδαφος, αλλά και από παρακείμενα αντικείμενα, όπως δέντρα, κτίρια κλπ (albedo radiation). Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, ιδίως σε όχι πολύ βόρειες περιοχές, προέρχεται από την άμεση ακτινοβολία. Σημαντική όμως είναι και η συμβολή της διάχυτης όπου σε συννεφιασμένο καιρό παίζει τον κύριο ρόλο. Η συμβολή της ακτινοβολίας από ανάκλαση συνήθως είναι μικρή, αλλά αυτό αλλάζει σε ορεινές περιοχές, όπως οι Άλπεις, εξαιτίας του μεγάλου συντελεστή ανάκλασης του χιονιού. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως βάσει της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας, λαμβάνοντας όμως υπ' όψιν το κομμάτι της διάχυτης ή της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Σημειώνεται πως ακόμη και σε μια καθαρή μέρα υπάρχει η συνιστώσα της διάχυτης ακτινοβολίας, ενώ σε μια νεφοσκεπή μέρα η άμεση ακτινοβολία μπορεί να μηδενιστεί.

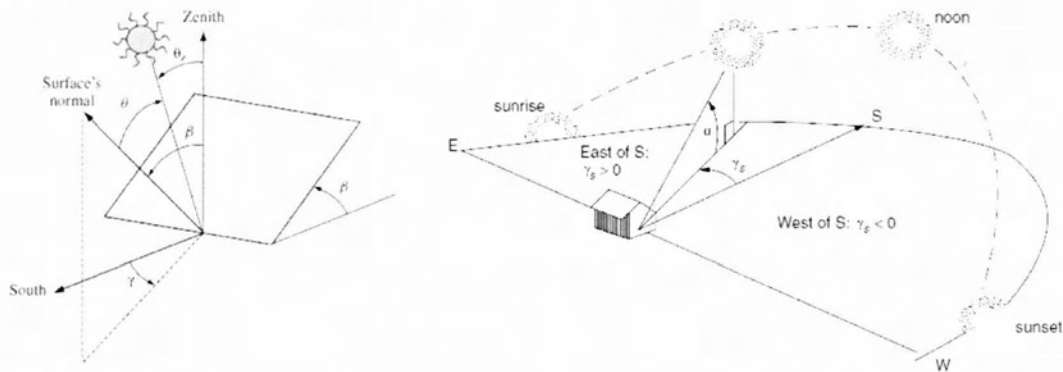


Σχήμα 3.10 Η ηλιακή ακτινοβολία ακολουθεί πολλές πορείες μέσα στην ατμόσφαιρα.

Κατά την ανατολή του ήλιου, η γωνία ηλιακού ζενίθ ($\theta_z = 90^\circ - \alpha$) είναι 90° και η ολική πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, καθορίζεται, κυρίως, από τη διάχυτη συνιστώσα. Καθώς το ύψος του ήλιου αυξάνει, μέσα σε μια αίθρια ημέρα, η απευθείας κάθετη ακτινοβολία, αυξάνει μέχρι το ηλιακό μεσημέρι, μετά το οποίο ελαττώνεται, περίπου κατά συμμετρικό τρόπο.

3.1.5 Η γεωμετρία του προσανατολισμού του πλαισίου

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες : την γωνία ηλιακού ύψους α και το αζιμούθιο του ήλιου γ_s . Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη, β είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στο οριζόντιο επίπεδο και μπορεί να πάρει τιμές $[0^\circ, 180^\circ]$. Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω. Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη, γ , είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180 μέχρι $+180$. Η γωνία -180 (που συμπίπτει με την $+180$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90 προς την ανατολή, η γωνία 0 προς το νότο και η γωνία $+90$ προς τη δύση. Τέλος η γωνία πρόσπτωσης, θ , είναι η γωνία που σχηματίζεται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (η ευθεία που συνδέει τον ήλιο με το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο συλλέκτης) και την κάθετο στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη (σχ. 3.11).



Σχήμα 3.11 Γεωμετρία προσανατολισμού του συλλέκτη (αριστερά) και η κίνηση του ήλιου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

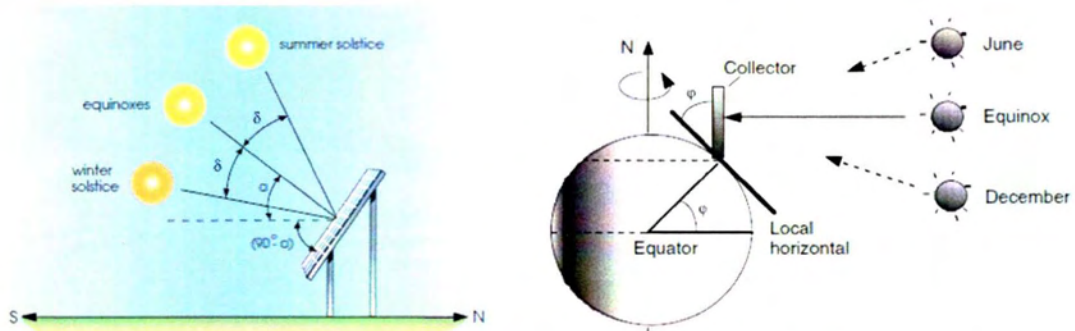
Η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης θ είναι 0 . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \omega \sin \gamma$$

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο

μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Γενικά, η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας για το βόρειο ημισφαίριο, λαμβάνεται σε μία νότια προσανατολισμένη κλίση. Σε περιπτώσεις που η επιφάνεια του συλλέκτη δεν είναι δυνατόν να αντικρίξει ακριβώς το νότο η γωνία αζιμούθιου καλό θα ήταν να μη ξεπερνά τις 30° . Επιπλέον, ο απόλυτα νότιος προσανατολισμός ($\gamma = 0^\circ$), θεωρείται βέλτιστος όταν στη περιοχή που τοποθετούνται τα Φ/Β πλαίσια, ο άξονας Ανατολής-Δύσης δεν παρουσιάζει εμπόδια που ενδέχεται να δημιουργήσουν μείωση στη διάρκεια της ημερήσιας ηλιοφάνειας. Για παράδειγμα, αν τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε μια περιοχή, όπου στα ανατολικά υπάρχει ένα ψηλό βουνό, έστω και σε μεγάλη απόσταση, τότε όπως είναι αναμενόμενο χάνεται ένα μέρος της ηλιοφάνειας κατά την ανατολή του ήλιου και μέχρι αυτός να ξεπεράσει σε ύψος την κορυφή του βουνού. Αν στα δυτικά δεν υπάρχει κάποιο αντίστοιχο εμπόδιο, αλλά ο ορίζοντας είναι ανοιχτός, τότε προκύπτει μια ασυμμετρία ως προς την πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας από τα Φ/Β στοιχεία κατά τη διάρκεια μιας μέρας. Επομένως, είναι φανερό ότι ο απόλυτα νότιος προσανατολισμός δεν είναι βέλτιστος για την περιοχή που περιγράφηκε. Η βέλτιστη λύση είναι να στραφούν οι συστοιχίες προς τα δυτικά υπό τέτοια γωνία, ώστε να μεγιστοποιείται η ημερήσια προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία.

Ο συλλέκτης θα πρέπει να έχει τέτοια κλίση από το οριζόντιο επίπεδο ώστε οι ακτίνες του ήλιου να χτυπούν κάθετα την επιφάνεια κατά το ηλιακό μεσημέρι. Από τη στιγμή που το ημερήσιο μέγιστο ύψος του ήλιου ποικίλει στη διάρκεια του έτους, πρέπει να γίνει επιλογή κατά τον σχεδιασμό. Ένας καλός συμβιβασμός γίνεται όταν για την κλίση του συλλέκτη χρησιμοποιούνται οι δυο ισημερίες. Τις δύο αυτές ημέρες οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη κατά το ηλιακό μεσημέρι, αλλά η κλίση αυτή είναι πολύ χαμηλή για το θερινό ηλιοστάσιο και πολύ μεγάλη για τον χειμερινό ηλιοστάσιο. Κατά τις ισημερίες, στο ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος φθάνει σε ύψος $\alpha = 90^\circ - \varphi$. Η βέλτιστη κλίση για μια επιφάνεια που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος φ και στραμμένη προς τον νότο, είναι αυτή της γωνίας του γεωγραφικού πλάτους, ώστε οι ακτίνες του ήλιου να χτυπούν την επιφάνεια κάθετα. Το ύψος του ήλιου καλύπτει ένα εύρος γωνιών με τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή κατά το χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο, $[90^\circ - 23.45^\circ - \varphi, 90^\circ + 23.45^\circ - \varphi]$.



Σχήμα 3.12 Οι ακτίνες του ήλιου δε μπορούν να χτυπούν κάθετα ένα συλλέκτη με σταθερή κλίση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Το κριτήριο των ισημεριών είναι ευρέως αποδεκτό, αλλά όχι και απαραίτητο. Ο σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Σε ένα μη διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα, που απαιτείται η σταθερή παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου επιλέγεται η κλίση του Φ/Β συλλέκτη να είναι όσο και το γεωγραφικό πλάτος. Εάν απαιτείται πιο αποδοτική λειτουργία κατά τους χειμερινούς μήνες η κλίση του συλλέκτη συνήθως αυξάνεται ελαφρά. Παρόμοια εάν επιδιώκεται αυξημένη απόδοση κατά τους θερινούς μήνες η κλίση του συλλέκτη θα πρέπει να μειωθεί.

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό. Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

3.1.6 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών

Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης

Η απουσία κινητών μερών κατά την στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Η πιο αποδοτική περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών, δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα, επιλέγεται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για τη συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης. Όταν η γωνία κλίσης ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου, οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο (κατά το ηλιακό μεσημέρι των ισημεριών). Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες, στην περιοχή, μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν τη σχέση μεταξύ των συνιστωσών (άμεση και έμμεση) της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως και το γεγονός ότι ο τόπος εγκατάστασης του ΦΒ συστήματος, δεν πρέπει να σκιάζεται από εμπόδια (εικ.3.13).



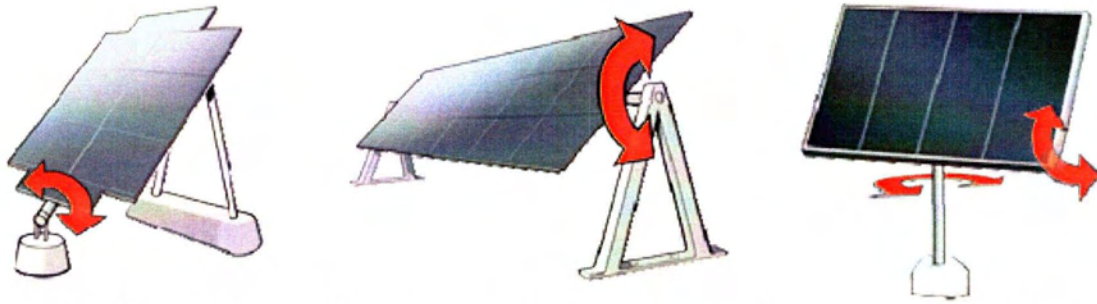
Εικόνα 3.13 Εγκατάσταση σταθερών Φ/Β συλλεκτών ισχύος 99,84 kWp.

Στήριξη με δυνατότητα στροφής του συλλέκτη γύρω από έναν ή δύο άξονες

Οι ηλιοστάτες (trackers) είναι συστήματα στήριξης επί εδάφους που ακολουθούν την πορεία του ήλιου εκμεταλλευόμενοι περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος (συνήθως κατά 25%-40%), αυξάνοντας παράλληλα το κόστος και τα λειτουργικά της επένδυσης. Διακρίνονται σε μονοαξονικούς και διαξονικούς και παρέχονται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών. Για να αποφεύγονται οι σκιάσεις μεταξύ τους, απαιτείται μεγαλύτερη έκταση απ' ό,τι για τις σταθερές βάσεις (συνήθως 1,5-3 φορές μεγαλύτερη έκταση) (σχ.3.14).

α) Στροφή γύρω από ένα άξονα

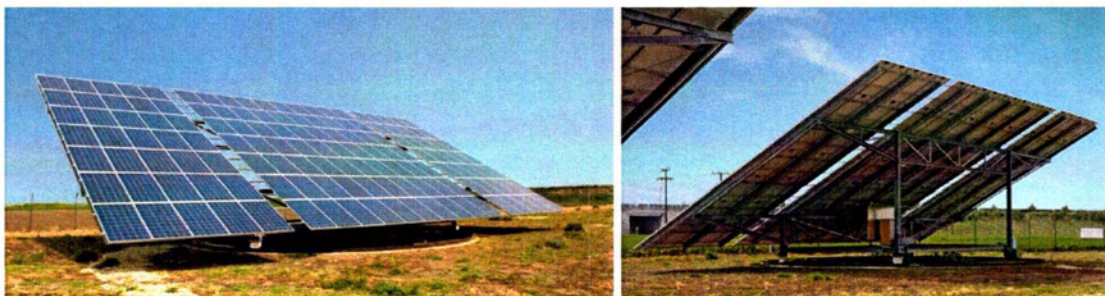
Για μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης των Φ/Β πλαισίων γύρω από έναν άξονα με τη βοήθεια των ηλιοστατών. Η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από έναν άξονα, και στο τέλος της ημέρας, ο συλλέκτης επιστρέφει σε θέση αναμονής. Το πρωί με την ανατολή του ήλιου, στρέφεται, έτσι ώστε να δέχεται από τον ήλιο το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας του. Διακρίνονται σε ηλιοστάτες, όπου η περιστροφή γίνεται ως προς οριζόντιο άξονα, έτσι ώστε η Φ/Β συστοιχία να μεταβάλλει την κλίση της εποχιακά και σε ηλιοστάτες πολικού άξονα, όπου η Φ/Β συστοιχία έχει τη δυνατότητα στροφής γύρω από άξονα, με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο ηλιοστάτης παρακολουθεί την κίνηση του ήλιου και οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν συνεχώς κάθετα στο επίπεδο του συλλέκτη.



Σχήμα 3.14 Ηλιοστάτες παρακολούθησης της πορείας του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας (αριστερά), με εποχιακή παρακολούθηση (κέντρο) και κατά τους δυο άξονες (δεξιά).

β) Στροφή γύρω από δύο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο άξονες, επιτυγχάνεται μέσω δύο, συνήθως διαδοχικών, κινήσεων του συλλέκτη με ηλεκτρικούς κινητήρες κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία (εικ 3.15). Ο ηλιοστάτης δυο αξόνων χαρακτηρίζεται από το ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα (ή σχεδόν κάθετα) στην επιφάνεια του. Η διάταξη, με τη δύση του ήλιου, επιστρέφει σε θέση αναφοράς, που χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και λίγο πριν την ανατολή του ήλιου, ο μηχανισμός στρέφει το συλλέκτη, έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες τότε, να προσπίπτουν κάθετα σ' αυτόν. Από τη χρονική στιγμή αυτή, αρχίζει η παρακολούθηση του ήλιου. Όσο μικρότερη η περίοδος ενεργοποίησης του μηχανισμού στροφής, τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η κατάσταση συνεχούς κάθετης πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων, χωρίς αυτό να είναι εξαιρετικά κρίσιμο. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κίνησης της διάταξης προέρχεται από την παραγόμενη από τη συστοιχία, ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια. Μειονέκτημα μιας τέτοιας διάταξης παρακολούθησης του ήλιου, δύο αξόνων, είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρικών-ηλεκτρονικών τμημάτων της, καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής, εξαιτίας ισχυρού ανέμου. Για το λόγο αυτό, σε συστήματα με μηχανική κίνηση για τον προσανατολισμό των συλλεκτών προς τον ήλιο, ελέγχεται η ταχύτητα του ανέμου, έτσι ώστε, στην περίπτωση ισχυρών ανέμων, οι συλλεκτικές επιφάνειες να διατάσσονται οριζόντια. Σ' αυτή τη θέση παρουσιάζουν μικρή μετωπική επιφάνεια προς τον άνεμο.



Εικόνα 3.15 Ηλιοστάτης δύο αξόνων με παρακολούθηση τόσο της φαινόμενης κίνησης κατά τη διάρκεια της ημέρας από Ανατολή σε Δύση, όσο και της εποχιακής κίνησης του ήλιου κατά Βορρά-Νότου.

Σε πολλές περιπτώσεις επιλέγεται η μερική παρακολούθηση, με αζιμουθιακούς συλλέκτες σταθερής γωνίας κλίσης, επειδή είναι απλούστερη και φθηνότερη κατασκευή, σε σχέση με το ηλιοστάτη δύο αξόνων ή αυτό του πολικού άξονα. Η στατική κατασκευή, παρότι σχετίζεται με χαμηλότερη ετήσια ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας από τους συλλέκτες που τοποθετούνται σ' αυτή, αποτελεί πιο αξιόπιστη επιλογή. Το κόστος των μηχανολογικών κατασκευών και ηλεκτρονικών οδήγησης του ηλιοτροπικού συστήματος παραμένει σημαντικό σε σύγκριση με το κόστος των ΦΒ πλαισίων. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, σε κάθε

περίπτωση προέχει η αξιόπιστη και ασφαλής λειτουργία του συστήματος συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας, το στατικό σύστημα αποτελεί, στις περισσότερες των περιπτώσεων, την πιο ενδεδειγμένη λύση, ιδιαίτερα στην περίπτωση εφαρμογών μικρής ισχύος, με χρήση επίπεδων ΦΒ πλαισίων.

3.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

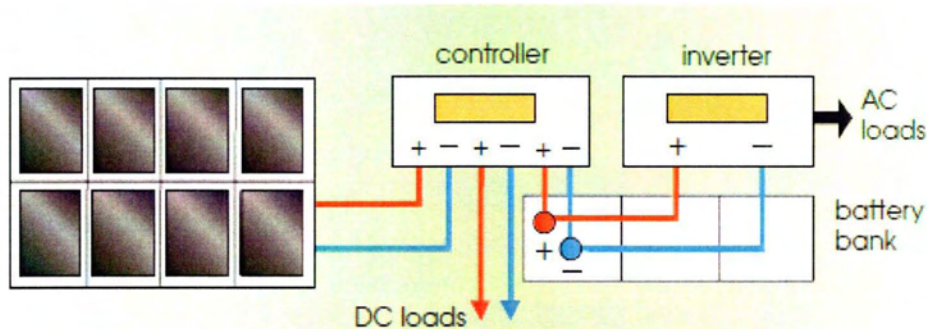
3.2.1 Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν παραγόμενη ισχύ μέσα από μια πληθώρα εφαρμογών, ανάλογα με τις ανάγκες που καλούνται να καλύψουν. Το εύρος τους εκτείνεται από καταναλωτικές συσκευές μερικών mW έως φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης κλίμακας (VLS-PV) ονομαστικής ισχύος εκατοντάδων MW. Διακρίνονται σε διασυνδεδεμένα ή μη-διασυνδεδεμένα συστήματα, ή σε αυτόνομες εφαρμογές όπου εξυπηρετούν συγκεκριμένες απαιτήσεις. Επίσης, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως αρχιτεκτονικά στοιχεία επένδυσης των κτιρίων (ειδικά στα εμπορικά κτίρια) και να συμβάλλουν στην υποκατάσταση μέρους του κόστους των δομικών υλικών, με συνέπεια την μείωση του καθατού κόστους του Φ/Β συστήματος. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τους είναι η απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, καθώς και η μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Λειτουργούν αθόρυβα, έχοντας μηδενικές εκπομπές ρύπων, ενώ δεν απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και χρειάζονται ελάχιστη περιοδική συντήρηση (ανάλογα με τον τύπο του Φ/Β συστήματος). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης των συστημάτων και μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα). Στον αντίποδα, τα Φ/Β συστήματα έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, απαιτούν συνήθως μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο παραγωγής ενέργειας, ενώ η μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας δυσκολεύει την κάλυψη μεταξύ παραγωγής και ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η χρήση των διασπαρμένων ενεργειακών πόρων (distributed energy resource, DER) και ειδικά η ηλεκτρική ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές, είναι μια επιλογή που όλο και περισσότερο ακολουθείται προκειμένου να αντικατασταθούν ή να μην επεκταθούν μεγάλοι συμβατικοί κεντρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με στόχο την μείωση των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία ταιριάζει πλήρως στις απαιτήσεις των διασπαρμένων ενεργειακών συστημάτων και αποτελεί ίσως το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα εφαρμογής τους. Οι διασπαρμένες ενεργειακές μονάδες προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα, όπως το σύντομο χρόνο εγκατάστασης λόγω μικρότερων μεγεθών, ενώ μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση της ζήτησης και ειδικά όταν η ηλεκτρική παραγωγή από Φ/Β συμπίπτει με την αιχμή ζήτησης (κάτι που συμβαίνει στην Ελλάδα το καλοκαίρι). Επίσης, πραγματοποιείται μείωση των απωλειών μεταφοράς, αφού η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται κοντά στους χρήστες και αύξηση της αξιοπιστίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

3.2.2 Απομονωμένα από το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα (stand alone/off grid)

Τα απομονωμένα από το δίκτυο (ή αλλιώς, μη-διασυνδεδεμένα) φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει AC δίκτυο, είτε εξαιτίας του μεγάλου κόστους εγκατάστασης γραμμή σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο, είτε διότι η εγκατάσταση του Φ/Β σταθμού βρίσκεται σε απομονωμένη περιοχή. Τα συστήματα αυτά είναι μικρής ισχύος, συνήθως μικρότερη από 10 kWp και μπορεί να αποτελούνται μόνο από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ή να χρησιμοποιούν και συσσωρευτές ή ακόμα και γεννήτρια. Τα μη-διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα αποτελούν την ιδανικότερη λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο, όπως ορεινοί οικισμοί και απομακρυσμένα νησιά, στις οποίες η διασύνδεσή τους με το υπόλοιπο δίκτυο θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια. Στο σχήμα 3.16 φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός μη-διασυνδεδεμένου συστήματος.



Σχήμα 3.16 Απλοποιημένο διάγραμμα ενός μη-διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Αποτελείται καταρχήν από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία είναι και το βασικότερο τμήμα του συστήματος, αφού εκεί γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επίσης, περιλαμβάνει συσσωρευτές για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους που η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζει περίσσεια και για την χρησιμοποίησή της όταν η παραγωγή είναι ανεπαρκής. Ωστόσο οι συσσωρευτές παρουσιάζουν περιορισμούς αφού έχουν δεδομένη χωρητικότητα και υπάρχει το ενδεχόμενο να μην καλύπτουν τις ανάγκες του φορτίου σε παρατεταμένες περιόδους συννεφιάς ή κάποιας βλάβης του συστήματος. Από την άλλη η επιλογή συσσωρευτών πολύ μεγάλης χωρητικότητας κρίνεται οικονομικά ασύμφορη. Τέλος, αναπόσπαστα μέρη ενός απομονωμένου από το δίκτυο σύστημα είναι οι διατάξεις για την μετατροπή της παραγόμενης ενέργεια από τα Φ/Β στοιχεία σε μορφή κατάλληλη για την τροφοδότηση των φορτίων, οι οποίες περιέχουν έναν μετατροπέα DC/DC σε συνδυασμό με έναν ανιχνευτή μέγιστης ισχύος (MPPT) και έναν αντιστροφέα DC/AC. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα επιμέρους στοιχεία ενός απομονωμένου από το δίκτυο Φ/Β σύστημα.

Οι συσσωρευτές αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των περισσότερων μη-διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων, καθώς καλούνται να καλύψουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη νυχτερινές ώρες ή τις συννεφιασμένες ημέρες. Εξαιτίας της συνεχώς μεταβαλλόμενης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας και του φορτίου, οι συσσωρευτές πρέπει να περνούν από πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς να χάνουν τις ιδιότητές τους γρήγορα. Το ποσοστό της χωρητικότητας ενός συσσωρευτή που μπορεί να εκφορτιστεί χωρίς να καταστραφεί ονομάζεται βάθος εκφόρτισης και εξαρτάται από τον εκάστοτε τύπο. Οι συσσωρευτές

παρέχουν αυτονομία στο σύστημα από μερικές μέρες μέχρι δύο βδομάδες, αλλά απαιτείται μεγάλος χώρος για να αποθηκευτούν. Αντικατάσταση τους γίνεται κάθε 5 με 10 χρόνια ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που έχουν. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών είναι οι μολύβδου-οξέος, μολύβδου-ασβεστίου και μολύβδου-αντιμονίου.

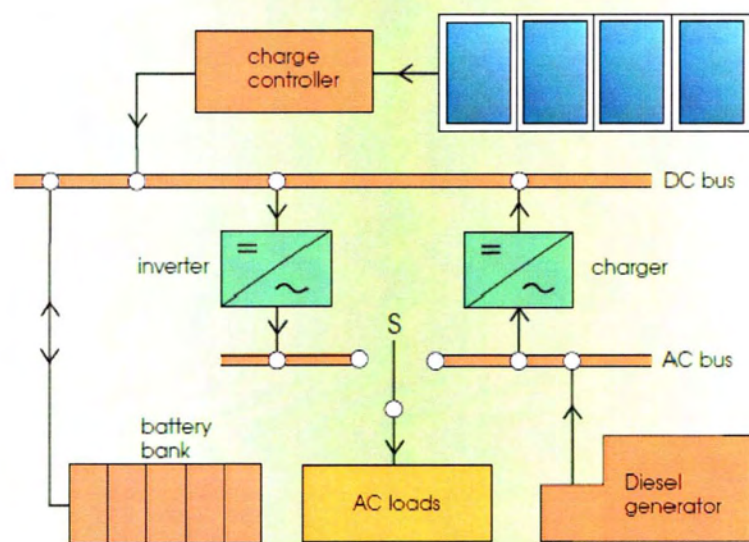
Σημαντικό ρόλο στην επιμήκυνση του χρόνου ζωής των συσσωρευτών, αλλά και στην εν γένει σωστή λειτουργία του Φ/Β συστήματος, έχει ο ρυθμιστής φόρτισης, ο οποίος είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών. Όταν ο συσσωρευτής είναι τελείως φορτισμένος, ο ρυθμιστής δεν αφήνει άλλο ρεύμα να εισρεύσει από τη Φ/Β συστοιχία στον συσσωρευτή. Ομοίως, όταν ο συσσωρευτής έχει αδειάσει σε ένα προαποφασισμένο επίπεδο, το οποίο ελέγχεται με μέτρηση της τάσης του, ο ελεγκτής δεν επιτρέπει να δώσουν άλλο ρεύμα οι συσσωρευτές προτού επαναφορτιστούν. Επειδή οι συσσωρευτές έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης τους, όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

Τόσο οι συσσωρευτές, όσο και οι Φ/Β συλλέκτες λειτουργούν σε ένα εύρος τάσεων κατά τη λειτουργία τους. Αυτό οφείλεται στην αλλαγής κατάστασης των συσσωρευτών κατά τη φόρτιση τους και στην επίδραση που έχει η μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στα Φ/Β στοιχεία. Για να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της Φ/Β γεννήτριας και να καταστεί κατάλληλη για την είσοδό της στους συσσωρευτές ή τον αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μετατροπείς συνεχούς ρεύματος. Οι μετατροπείς DC/DC είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα που ομαλοποιούν τις διακυμάνσεις της παραγόμενης τάσης παρέχοντας τη βέλτιστη δυνατή ηλεκτρική προσαρμογή μεταξύ Φ/Β γεννήτριας και συσσωρευτή. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του, αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης - έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT) που παρακολουθεί το σημείο μέγιστης ισχύος και με συνεχή ρύθμιση προσαρμόζει το ρεύμα και την τάση στο βέλτιστο κάθε φορά σημείο λειτουργίας (MPP στην καμπύλη I-V). Ορισμένοι αντιστροφείς, όπως και αυτοί των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων, έχουν ενσωματωμένο στη διάταξη τους τον συγκεκριμένο ανιχνευτή.

Τέλος, οι αντιστροφείς τάσης (inverters) είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές, αλλά και σε Φ/Β συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο. Ρόλος τους είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα Φ/Β στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας 50 Hz, είτε για να χρησιμοποιηθεί άμεσα σε ηλεκτρικά φορτία AC, είτε για να διοχετευθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος. Οι αντιστροφείς των αυτόνομων συστημάτων είναι πιο ανεξάρτητοι, σε αντίθεση με αυτούς των διασυνδεδεμένων που πρέπει να αντιδρούν το ίδιο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών του δικτύου ηλεκτροδότησης και στις μεταβολές της απόδοσης των συλλεκτών. Ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά, οι αποδόσεις τους κυμαίνονται στο 90-98% (τιμές που μπορεί να μειωθούν σε μετατροπές χαμηλής ισχύος), ενώ και η χαμηλή κατανάλωση ρεύματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα επιλογής. Εκτός από την απόδοση στη μετατροπή της συνεχούς τάσης

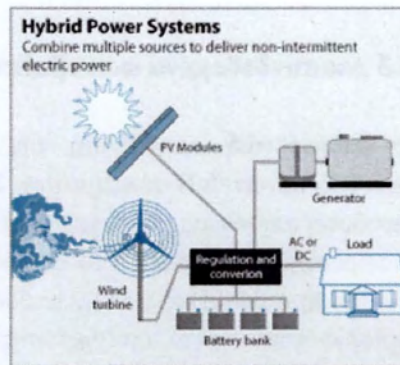
σε εναλλασσόμενη, τα ηλεκτρονικά του αντιστροφέα περιλαμβάνουν συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος. Φροντίζουν η λειτουργία να ξεκινά την κατάλληλη στιγμή το πρωί, όταν οι συλλέκτες παράγουν αρκετή ενέργεια, ενώ αποσυνδέουν αυτόματα το σύστημα αν εμφανισθούν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στους συλλέκτες. Ανεπιτυχής έναρξη της λειτουργίας απαιτεί ενέργεια από το δίκτυο και πρέπει να αποφεύγεται. Ο αντιστροφέας απαιτεί στην είσοδό του ένα συγκεκριμένο εύρος για την τάση λειτουργίας, έχοντας ένα ανώτατο όριο τάσης εισόδου. Το ανώτατο όριο δεν πρέπει να υπερβαίνεται, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος καταστροφής του. Τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφέων τάσης είναι εξοπλισμένα με συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y).

Όταν τα μη-διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποια άλλη πηγή παραγωγής ενέργειας, ονομάζονται υβριδικά (σχ. 3.17). Η επιπλέον πηγή ενέργειας προστίθεται, καθώς οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες, είτε για λόγους που οφείλονται στη μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (νυχτερινές ώρες, νεφοκάλυψη), είτε στην αυξημένη ζήτηση ισχύος, δεν είναι δυνατόν να καλύψουν τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, τα υβριδικά απομονωμένα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να περιορίσουν το μέγεθος των συσσωρευτών, κάτι που εξοικονομεί χώρο και κόστος. Η πιο αξιόπιστη λύση είναι μια βοηθητική συμβατική ηλεκτρογεννήτρια, η οποία τίθεται σε λειτουργία όταν αυτό είναι αναγκαίο. Συστήματα όπως αυτό του σχήματος, έχουν σχετικά απλή λειτουργία και είναι αρκετά συνηθισμένα σε απομακρυσμένες περιοχές. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία παρέχει ηλεκτρική ενέργεια μέσω του ελεγκτή φόρτισης με σταθερό ρεύμα (DC), ενώ η γεννήτρια παρέχει εναλλασσόμενο (AC). Φ/Β συστοιχία και γεννήτρια συνδέονται με ένα αντιστροφέα DC/AC και ένα ρυθμιστή φόρτισης, επιτρέποντας την ηλεκτρογεννήτρια να φορτίζει τους συσσωρευτές όταν αυτό είναι επιθυμητό. Επίσης, μέσω ενός κεντρικού διακόπτη οι δυο πηγές ενέργειας μπορούν να προσφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα στα φορτία (DC ή AC), παρακάμπτοντας τους συσσωρευτές, ανάλογα με τις απαιτήσεις κατανάλωσης.



Σχήμα 3.17 Διάγραμμα ενός μη-διασυνδεδεμένου, υβριδικού συστήματος με την υποστήριξη ηλεκτρογεννήτριας.

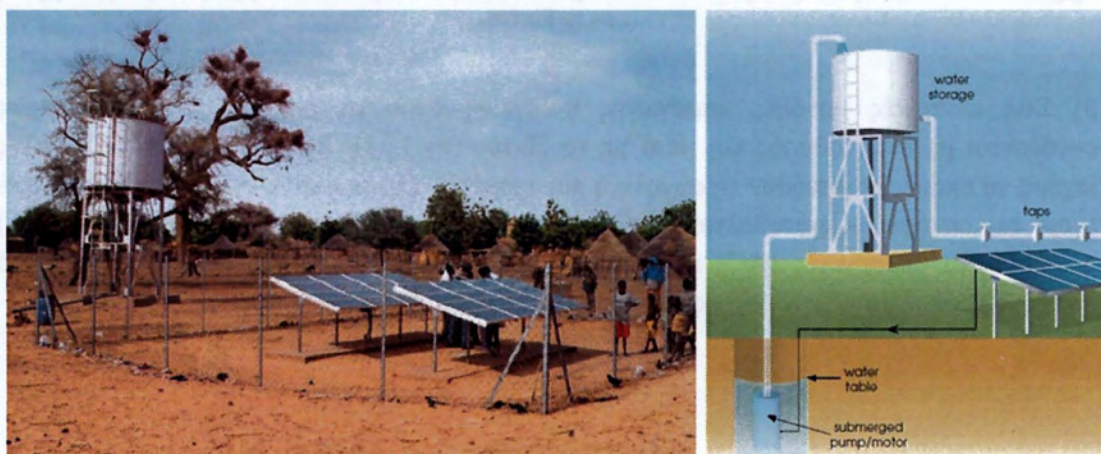
Επίσης, μπορούν να συνυπάρξουν και άλλες βοηθητικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα αποδοτικής εκμετάλλευσής τους, όπως μια ανεμογεννήτρια που μπορεί να φορτίζει τους συσσωρευτές κατά τη διάρκεια της νύχτας (σχ.3.18). Τα υβριδικά Φ/Β συστήματα με λειτουργία ανεμογεννήτριας είναι αρκετά διαδεδομένα στη δυτική Ευρώπη εξαιτίας των τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών, αφού τους



Σχήμα 3.18 Υβριδικό Φ/Β σύστημα με βοηθητική πηγή ανεμογεννήτρια.

χειμερινούς μήνες η εκμετάλλευση της μειωμένης ηλιοφάνειας μπορεί να συμπληρωθεί με αυτή της αιολικής ενέργειας. Γενικότερα, η χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων διαφορετικών πηγών ενέργειας αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος και ισχυροποιεί την ενεργειακή του ανεξαρτησία. Όλες οι διαθέσιμες ενεργειακές πηγές τοποθετούνται παράλληλα στο τοπικό μικροδίκτυο, με σκοπό την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή την τροφοδότηση μέσω των ρυθμιστών φόρτισης των συσσωρευτών.

Τα συστήματα που αποτελούνται κυρίως από μία φωτοβολταϊκή συστοιχία ονομάζονται αυτόνομα συστήματα. Οι αυτόνομες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν ίσως τις πληρέστερες εφαρμογές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, αφού λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με ηλεκτρικά δίκτυα διανομής. Συνδέονται απευθείας στο ηλεκτρικό φορτίο, δίχως να παρεμβάλλεται η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές ή τη χρήση κάποιου ιδιαίτερου ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Διακρίνονται για την απλότητα, την αξιοπιστία τους, καθώς και για το χαμηλό τους κόστος. Ωστόσο, απαιτούν το βέλτιστο δυνατό σχεδιασμό, ώστε να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο αποδοτικά με το ηλεκτρικό φορτίο που θα συνδεθούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τροφοδοσία αντλιών νερού, όπου η συστοιχία συνδέεται με ένα DC κινητήρα που κινεί μια αντλία νερού (σχ. 3.19). Για όσο διάστημα ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στα Φ/Β πάνελ, η διάταξη θα αντλεί νερό και θα το αποθηκεύει σε μια δεξαμενή. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η ηλεκτρική ενέργεια δεν αποθηκεύεται ως χημική, αλλά ως δυναμική, μια μέθοδος αποθήκευσης που παραπέμπει στην αντλησιοταμίευση. Ως το 2000, υπολογίζεται πως πάνω από 20.000 τέτοιες αντλίες έχουν εγκατασταθεί σε χώρες όπου δεν υπάρχει εύκολη πρόσβαση καθαρού νερού.



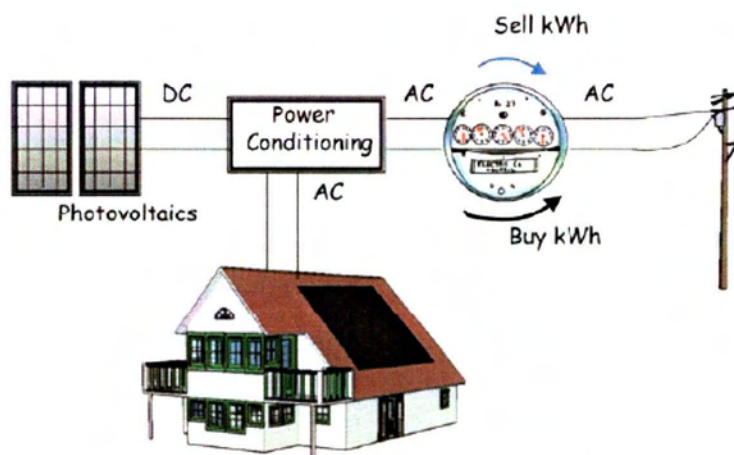
Εικόνα 3.19 Εφαρμογή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την άντληση νερού.

3.2.3 Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα (grid connected)

Μια διαφορετική προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων Φ/Β συστημάτων. Στα συνδεδεμένα συστήματα η φωτοβολταϊκή συστοιχία τροφοδοτεί απευθείας με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο, οπότε δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσσωρευτή. Η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος, θα είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με την απόδοση ενός απομονωμένου, αφού το δίκτυο έχει πρακτικά απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης και επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να διοχετεύεται προς κατανάλωση. Αντιθέτως, στις αυτόνομες εφαρμογές οι συσσωρευτές θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένοι, με την επιπλέον παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που δε μπορεί να αποθηκευτεί να χάνεται.

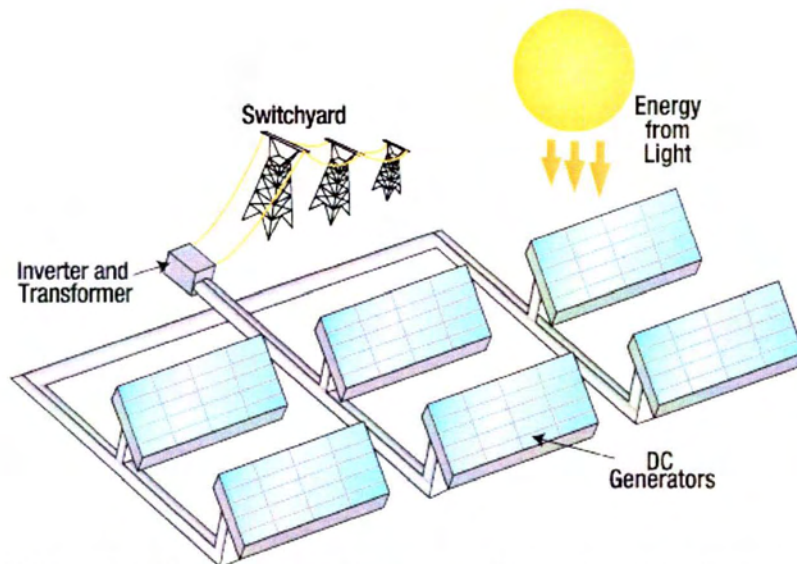
Στα διασυνδεδεμένα συστήματα η ηλεκτρική ενέργεια που τροφοδοτείται στο δίκτυο μπορεί να διοχετευθεί με δύο διαφορετικούς τύπους συστημάτων:

α) Στα συστήματα με κατανεμημένες φωτοβολταϊκές συστοιχίες όπου οι συστοιχίες είναι τοποθετημένες στις σκεπές σπιτιών και εμπορικών κέντρων με τους αυτοπαραγωγούς να μπορούν να χρησιμοποιούν την παραγόμενη ενέργεια για ίδια κατανάλωση (σχ. 3.20). Το πλεόνασμα της ενέργειας τροφοδοτείται στο δίκτυο, ενώ σε περιόδους έλλειψης (π.χ. τη νύχτα) καταναλώνεται συμπληρωματική ενέργεια από το δίκτυο (distributed systems).



Σχήμα 3.20 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα που επιτρέπει την "ανταλλαγή" ηλεκτρικής ενέργειας με το δίκτυο.

β) Στις κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας όπου οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες συνδέονται με υποσταθμούς και μετά με το δίκτυο (σχ.3.21). Είναι Φ/Β σταθμοί μεγάλης ισχύος, οι οποίοι διοχετεύουν τη συνολική παραγόμενη ενέργεια κατευθείαν στο δίκτυο, ενώ έχουν επικρατήσει ως φωτοβολταϊκά πάρκα. Το παραγόμενο συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα (DC) μετατρέπεται σε συνεχές (AC) και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, απ' όπου διανέμεται στους καταναλωτές (centralized systems).



Σχήμα 3.21 Φωτοβολταϊκό πάρκο που εγχέει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο.

Στην πρώτη περίπτωση ο καταναλωτής-ιδιοκτήτης που έχει τη συστοιχία, μπορεί να διοχετεύει και να καταναλώνει ενέργεια κάθε χρονική στιγμή. Είναι σε θέση να παίρνει την ενέργεια που χρειάζεται από τη συστοιχία και να χρησιμοποιεί το δίκτυο μόνο όταν είναι απαραίτητο (κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε πολύ συνεφιασμένες μέρες). Αυτό γίνεται εφικτό με την χρήση κατάλληλου μετρητή που έχει την ιδιότητα να είναι αμφίδρομος (διπλό ρολόι). Όταν η συστοιχία τροφοδοτεί το φορτίο του κτιρίου και της περισσεύει ενέργεια, την εγχέει στο δίκτυο. Όταν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την παραγωγή της συστοιχίας, τότε η ζήτηση ικανοποιείται με εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο. Τα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να φθάσουν μέχρι τα 10 kWp, ενώ για μεγάλα κτίρια η εγκατεστημένη ισχύς μπορεί να φθάσει σε εκατοντάδες kW.



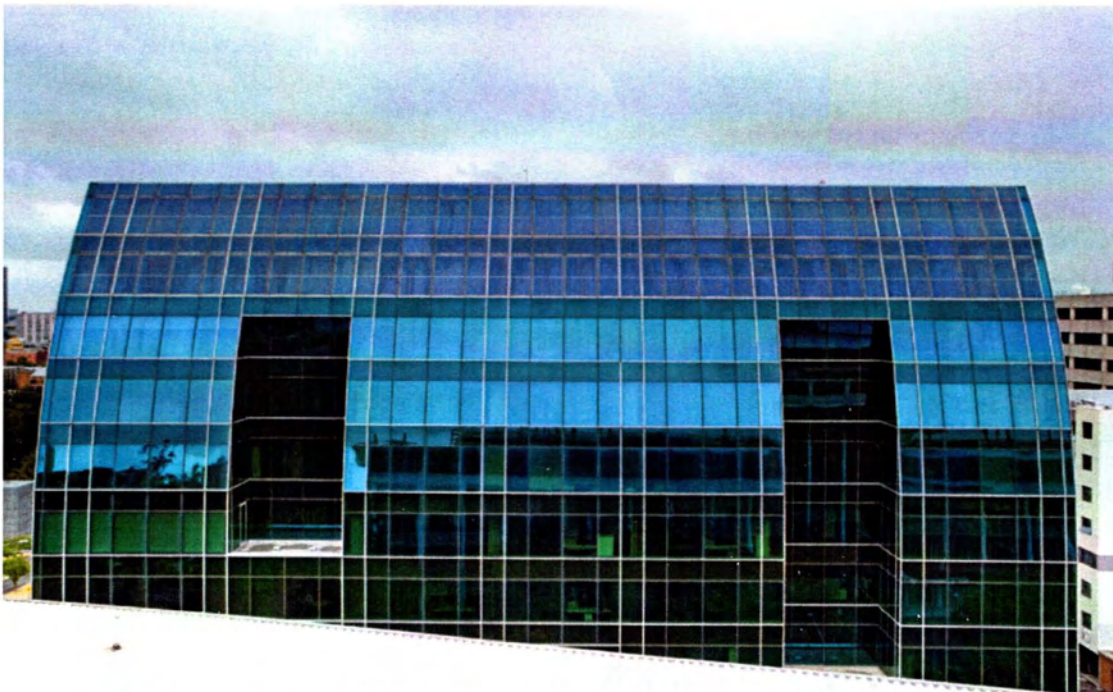
Εικόνα 3.22 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 9 kWp.

Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε ολόκληρες μονάδες παραγωγής που αποτελούνται από φωτοβολταϊκές συστοιχίες που εγκαθίστανται κοντά στα σημεία του δικτύου όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για κατανάλωση, ώστε να μειώνεται η απόσταση που πρέπει να διανύσει το ρεύμα και επιτυγχάνοντας μείωση των απωλειών μεταφοράς και διανομής. Τέλος, πρόβλημα δημιουργεί το ότι η παραγωγή δεν μπορεί να ακολουθήσει την ζήτηση την νύχτα ή όταν δεν έχει ηλιοφάνεια.



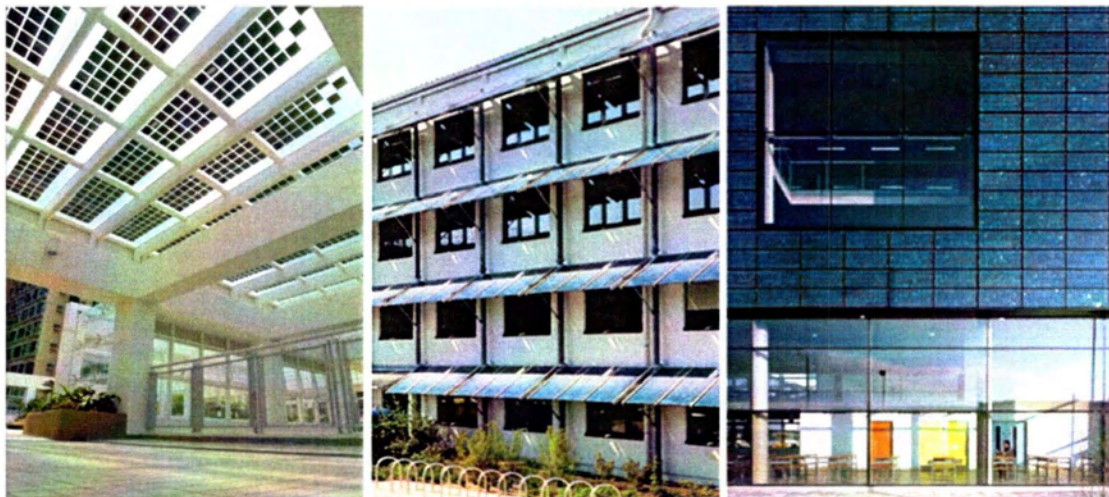
Εικόνα 3.23 Φωτοβολταϊκός σταθμός εγκατεστημένης ισχύος 1 MW στην Ιταλία.

3.2.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα σε κτίρια (BIPV)



Εικόνα 3.24 Εφαρμογή φωτοβολταϊκού συστήματος στη πρόσοψη τελευταίου ορόφου κτιρίου.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, εκτός από την παραγωγή «καθαρής» ενέργειας, μπορούν με ορθό σχεδιασμό να ενσωματωθούν σε κτίρια και να παρέχουν επιπλέον λειτουργίες, όπως προστασία από τον ήλιο και το θόρυβο, μόνωση, αλλά και να αποτελέσουν αρχιτεκτονικά στοιχεία επένδυσης, βελτιώνοντας την αισθητική των κτιρίων. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θεωρείται ενσωματωμένο σε κτίριο (building integrated photovoltaics) όταν τα Φ/Β πλαίσια έχουν ενταχθεί στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και η τοποθέτησή τους γίνεται παράλληλα με την κατασκευή του κτιρίου, με την ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων στο κέλυφος του (εικ. 3.24). Μπορεί να αποτελούν διασυνδεδεμένα ή μη συστήματα, ενώ δεν είναι απαραίτητο να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Τα BIPV αποτελούν δομικό υλικό του κτιρίου και ταυτόχρονα λειτουργούν ως παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, με σημαντικό πλεονέκτημα την εξοικονόμηση κόστους, υλικών και ενέργειας. Κατά το σχεδιασμό ενός την ένταξη των Φ/Β στο κέλυφός του, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συνολικότερη απόδοσή τους και όχι μόνο η ενεργειακή διάσταση, συνδυάζοντας λειτουργικές ή αισθητικές παραμέτρους του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Οι δυνατότητες ενσωμάτωσης είναι απεριόριστες, καθώς βρίσκουν εφαρμογή οπουδήποτε είναι δυνατή η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης ή διάχυτης), όπως σε προσόψεις, σκίαστρα και στέγαστρα. Έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους (διαφανή υλικά, διαφόρων αποχρώσεων και υφών), ενώ απαιτούν συνήθως μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο παραγωγής ενέργειας.



Εικόνα 3.25 Εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων ως υαλοπίνακες (αριστερά), σκίαστρα (κέντρο) και ως πρόσοψη κτιρίου (δεξιά) (BIPV).

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- ❖ “*Electricity from Sunlight: An Introduction to Photovoltaics*”, Paul A. Lynn, Wiley 2010
- ❖ “*Renewable and Efficient Electric Power Systems*”, Gilbert M. Masters, Wiley 2004
- ❖ “*ENERGY FOR SUSTAINABILITY Technology, Planning, Policy*”, John Randolph, Gilbert M. Masters, Island Press 2008
- ❖ “*Planning and Installing Photovoltaic Systems A guide for installers, architects and engineers*”, second edition, The German Energy Society, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS LV Berlin BRB), earthscan 2008
- ❖ “*APPLIED PHOTOVOLTAICS*”, Second Edition, S.R. Wenham, M.A. Green, M.E. Watt, R. Corkish, ARC Centre for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics 2007
- ❖ “*Building integrated photovoltaics_ / a handbook*”, Simon Roberts & Nicolo Guariento, Birkhauser Verlag AG 2009
- ❖ “*Fundamentals of Renewable Energy Processes*”, Aldo Vieira da Rosa, Elsevier 2005
- ❖ “*Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*”, Antonio Luque, Steven Hegedus, Wiley 2003
- ❖ “*Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Τεχνολογία, Μελέτες, Εφαρμογές*”, Σ.Ν. Καπλάνης, Εκδόσεις ΙΩΝ 2004
- ❖ “*Μετάδοση Θερμότητας II- Ηλιακή Τεχνική*”, σημειώσεις προπτυχιακού μαθήματος, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Αικ. Α. Μπαξεβάνου, Βόλος 2007

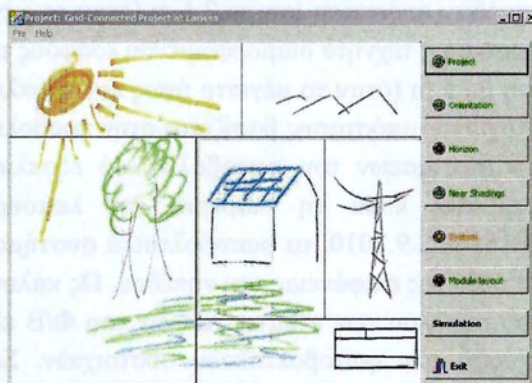
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Εφαρμογή διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με το πρόγραμμα PVsyst.

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα προσομοιωθεί, μέσω του λογισμικού PVsyst, ένας διασυνδεδεμένος φωτοβολταϊκός σταθμός ισχύος 500 kWp. Πιο συγκεκριμένα, θα εξεταστούν δυο περιπτώσεις Φ/Β πάρκου αποτελούμενο, αρχικά από πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου εγκατεστημένα, σε σταθερές βάσεις και στη συνέχεια σε ηλιοστάτες 2 αξόνων.

Το PVsyst είναι ένα πακέτο λογισμικού υπολογιστή για την μελέτη, μέτρηση και ανάλυση δεδομένων ολοκληρωμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Απευθύνεται σε μηχανικούς και ερευνητές και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την εκπαίδευση. Το PVsyst δημιουργήθηκε από το πανεπιστήμιο της Γενεύης και δέχεται συνεχώς ανανεώσεις από τους κατασκευαστές του (παρούσα έκδοση PVsyst V5.42), ώστε αυτή τη στιγμή να θεωρείται ένα από τα καλύτερα λογισμικά της αγοράς. Δίνει πολύ καλά αποτελέσματα με δυνατότητα ευρείας παρέμβασης από τον χρήστη, προσφέροντας δυνατότητες παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Ασχολείται με φωτοβολταϊκά συστήματα διαφόρων τύπων όπως διασυνδεδεμένα, απομονωμένα από το δίκτυο, συστήματα άντλησης νερού και DC δικτύου, ενώ περιλαμβάνει και εκτενείς βάσεις δεδομένων μετεωρολογικών στοιχείων και στοιχείων των φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως επίσης και γενικά στοιχεία ηλιακής ενέργειας. Το σχεδιαστικό μέρος του προγράμματος πραγματοποιεί λεπτομερή προσομοίωση σε ωριαίες τιμές, αξιολογεί την μηνιαία παραγωγή και τυχούσες απώλειες του συστήματος, ενώ έχει την

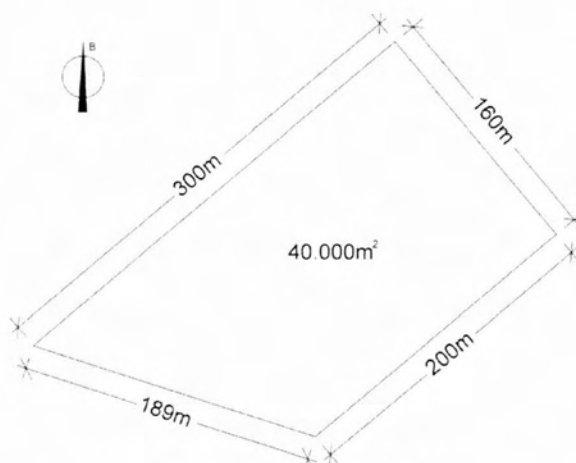


Εικόνα 4.1 Το "περιβάλλον" του PVsyst.

δυνατότητα προκαταρκτικής οικονομικής αξιολόγησης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με την ικανότητα τρισδιάστατης απεικόνισης της σκίασης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, επιτρέπει τον χρήστη να ορίσει πλήρως το Φ/Β πεδίο και να επιλέξει τον κατάλληλο εξοπλισμό, δίνοντας τη δυνατότητα δημιουργίας μιας πλήρους έκθεσης με όλες τις παραμέτρους και τα κύρια αποτελέσματα.

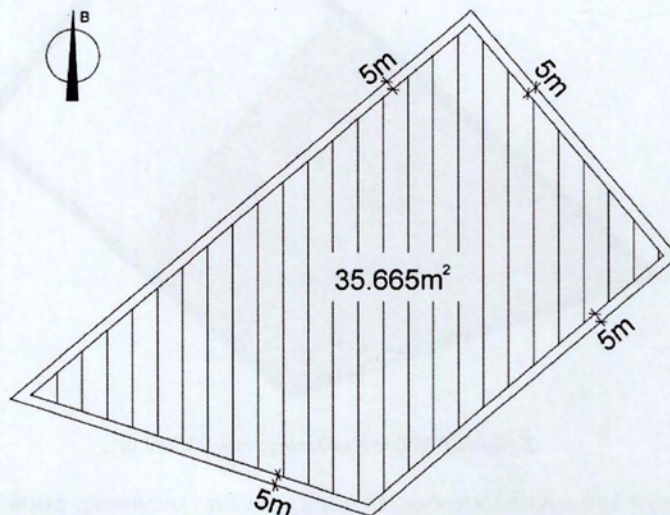
Τα απαραίτητα, για τους υπολογισμούς, στοιχεία της μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια, το ποσοστό της διάχυτης προς την ολική ακτινοβολία, καθώς και η μέση ημερήσια θερμοκρασία, εισήχθησαν στο PVsyst από το PVGIS. Το PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) αποτελεί μια βάση δεδομένων από το κέντρο ερευνών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που συνδυάζει γεωγραφικά, μετεωρολογικά και ηλιακής ακτινοβολίας δεδομένα. Τα στοιχεία της κάθε περιοχής αφορούν διάστημα 10 ετών και συγκεκριμένα την περίοδο 1981-1990.

Επιλέχθηκε οικόπεδο 40 στρεμμάτων τυχαίου προσανατολισμού έξω από τα Φάρσαλα του ν. Λάρισας, με συντεταγμένες $[39^{\circ}19', 22^{\circ}21']$ και υψόμετρο 126m από το επίπεδο της θάλασσας. Το οικόπεδο έχει τραπέζιο σχήμα με διαστάσεις και προσανατολισμό που δίνονται από το ακόλουθο σχήμα.



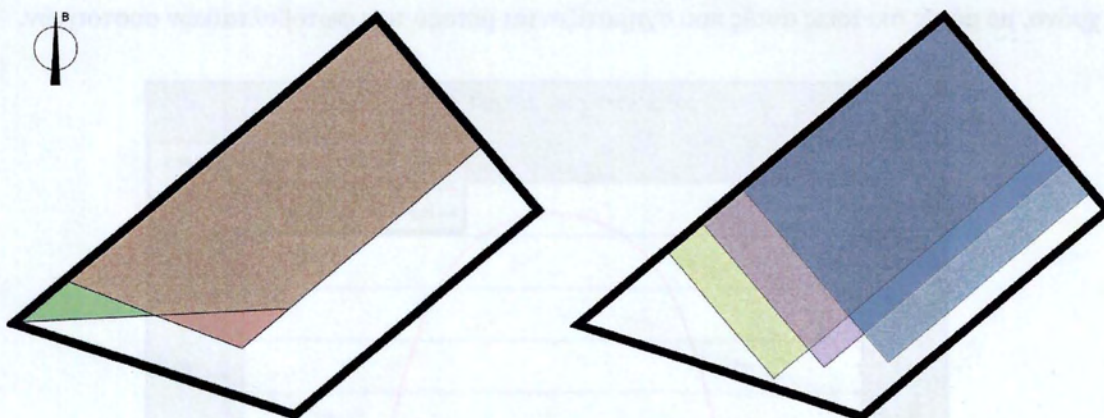
Σχήμα 4.2 Κάτοψη του οικοπέδου.

Βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας (ΦΕΚ Β'583/14.4.2011), η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τυχόν οικίσκος που χρησιμοποιείται για τη στέγαση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού των συστημάτων αυτών πρέπει να απέχει από τα όρια των γηπέδων απόσταση ίση με 2,5 m, (όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων είναι μέχρι και 2,5 m), ή απόσταση ίση με 5 m (όταν το μέγιστο ύψος του εξοπλισμού υπερβαίνει τα 2,5 m). Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης βασίζεται στην προβολή επί του οριζοντίου επιπέδου του συνόλου των εγκαταστάσεων του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού για όλες τις πιθανές θέσεις που αυτός λαμβάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Επίσης σύμφωνα με το ΦΕΚ Β'1556/22.9.2010, τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιτρέπεται να υπερβαίνουν σε κάλυψη το 60% της επιφάνειας του γηπέδου. Ως κάλυψη, θεωρείται η προβολή στο οριζόντιο επίπεδο του συνόλου των εγκαταστάσεων του Φ/Β εξοπλισμού, ενώ δεν συνυπολογίζονται τα κενά μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Σε περίπτωση ανέγερσης και άλλων χρήσεων δομικών κατασκευών εντός του γηπέδου (όπως κατοικία, γεωργικές αποθήκες κ.λ.π.), αυτές συνυπολογίζονται στο παραπάνω καθοριζόμενο ποσοστό κάλυψης.



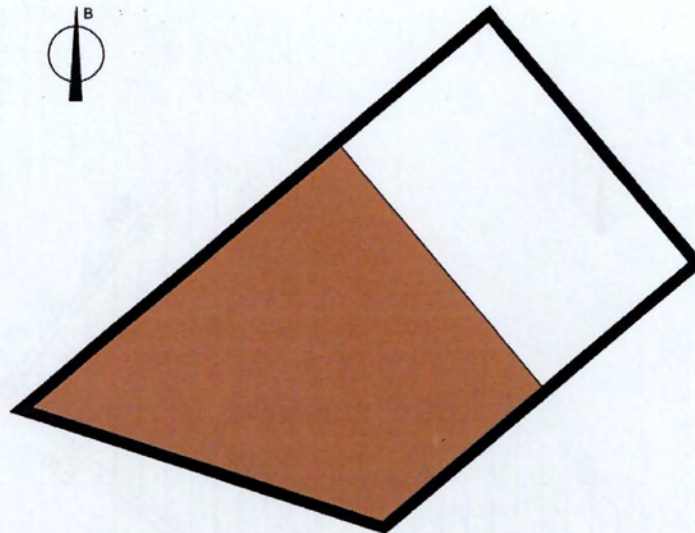
Σχήμα 4.3 Ο περιορισμός των 5 m, για Φ/Β εξοπλισμό που ξεπερνά σε ύψος τα 2,5 m.

Με τους παραπάνω περιορισμούς και υπολογίζοντας συντελεστή κάλυψης 55%, σε περίπτωση που χρειασθεί να καλυφθεί έκταση για άλλες χρήσεις, η επιτρεπόμενη έκταση προς κάλυψη από φωτοβολταϊκό σταθμό μειώνεται στα $0,55 \times 40.000 \text{ m}^2 = 22.000 \text{ m}^2$ (αντί για 24.000 m^2).



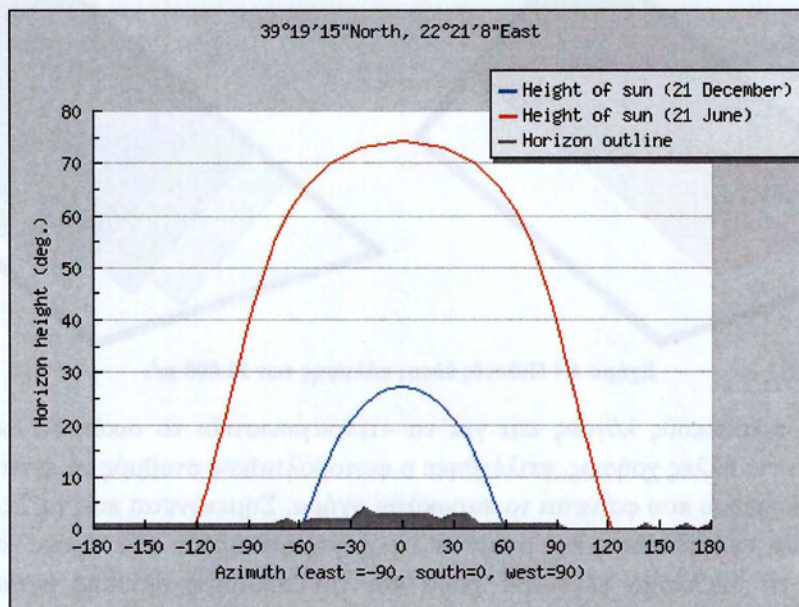
Σχήμα 4.4 Πιθανές θέσης κάλυψης των 22.000 m².

Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους και για να «τετραγωνιστεί» το οικοπέδο ώστε να είναι διαθέσιμο και για άλλες χρήσεις, επιλέχθηκε ο φωτοβολταϊκός σταθμός να εγκατασταθεί στο τμήμα του οικοπέδου που φαίνεται το παρακάτω σχήμα. Σημειώνεται πως τα 22.000 m² είναι διαθέσιμα προς εγκατάσταση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα, ή ένα κομμάτι τους, ανάλογα με το διαθέσιμο ελεύθερο χώρο και την αποφυγή σκίασης μεταξύ των Φ/Β πλαισίων.



Σχήμα 4.5 Η θέση κάλυψης των 22.000 m².

Η ευρύτερη περιοχή του οικοπέδου δεν περιορίζεται από σκιάσεις, παρά μόνο από υψόμετα 300m σε απόσταση 7-8 km και 600m σε απόσταση 16 km, νότιου προσανατολισμού. Η γραμμή του ορίζοντα από το προς εξέταση οικόπεδο φαίνεται στο σχήμα 4.6. Μόνιμες σκιάσεις εμφανίζονται κυρίως κατά τις πρώτες και τελευταίες ώρες (κατά την ανατολή και δύση του ήλιου, αντίστοιχα) στο χειμερινό ηλιοστάσιο, όπου ο ήλιος διαγράφει τη χαμηλότερη πορεία στον ουράνιο θόλο. Εξαιτίας του χαμηλού επιπέδου σκίασης στη συνέχεια έγινε η παραδοχή πως το οικόπεδο παραμένει εκτεθειμένο στον ήλιο καθ' όλο το χρόνο, με μόνες σκιάσεις αυτές που σχηματίζονται μεταξύ των φωτοβολταϊκών συστοιχιών.

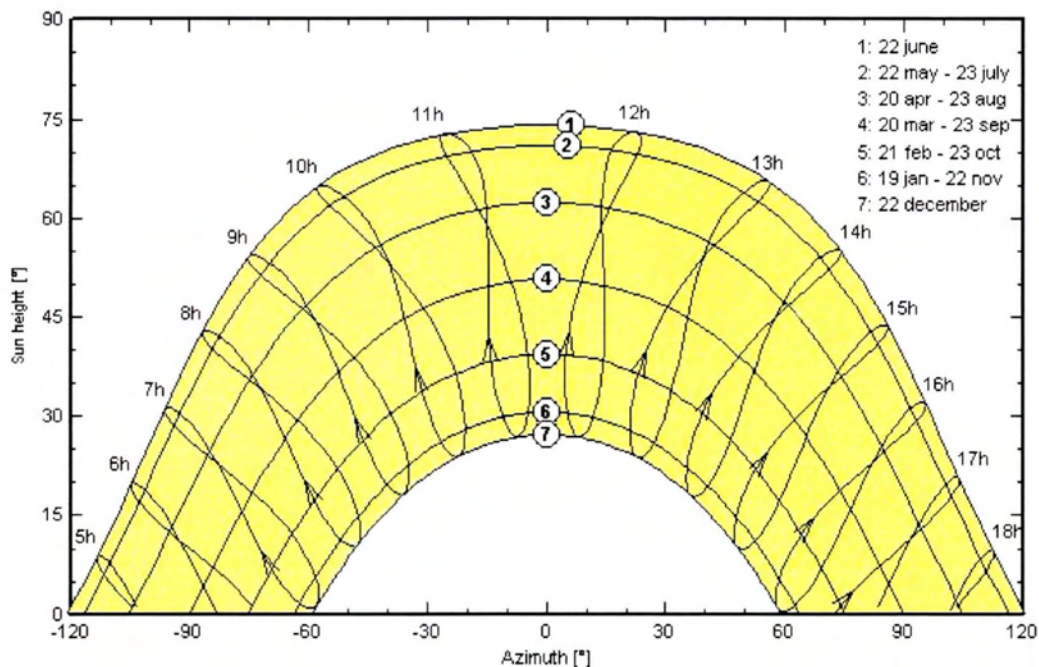


Σχήμα 4.6 Η γραμμή του ορίζοντα, κοιτώντας τον νότο από τον προς εξέταση χώρο.

Στη συνέχεια δίνεται ο ηλιακός χάρτης στον εξεταζόμενο χώρο. Ηλιακοί χάρτες είναι τα διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τις φαινόμενες τροχιές του ήλιου στο επίπεδο ορθής προβολής, για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος. Με τα διαγράμματα αυτά προσδιορίζεται η θέση του ήλιου-ύψος και αζιμούθιο- για κάθε μήνα-συνήθως στην 21^η ημέρα- για όλες τις ώρες της ημέρας. Σε κάθε ηλιακό χάρτη απεικονίζονται 7 φαινόμενες τροχιές, από τις οποίες

αυτή του Δεκεμβρίου έχει τη χαμηλότερη τροχιά, ενώ του Ιουνίου έχει τη μεγαλύτερη. Οι υπόλοιπες φαινόμενες τροχιές αντιστοιχούν σε δυο μήνες, φθινόπωρο και άνοιξη.

Solar paths at Farsala, (Lat. 39.3°N, long. 22.3°E, alt. 126 m)



Σχήμα 4.7 Ο ηλιακός χάρτης στις συντεταγμένες του οικοπέδου.

4.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο 500 kWp με σταθερές βάσεις

Ο φωτοβολταϊκός σταθμός αποτελείται από 2.265 φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου των 220 Wp (μοντέλο PM 220P), της εταιρείας Conergy διαστάσεων 1,66m×1m, βάρους 20 kg και απόδοσης 13,2%. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν 45 αντιστροφείς SMC 11000 TL ονομαστικής ισχύος 11 kW ο καθένας. Η απαιτούμενη επιφάνεια κάλυψης των πλαισίων φθάνει τα 3.737 m² με κλίση 30° από το επίπεδο, έχοντας νότιο προσανατολισμό (γωνία αζιμούθιου 0°).

Η επιλογή του τύπου του αντιστροφέα έγινε βάσει μιας σειράς περιορισμών. Βάσει προδιαγραφών της ΔΕΗ και προκειμένου να μην γίνεται ασύμμετρη φόρτιση του μετασχηματιστή της ΔΕΗ, θα πρέπει ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του κάθε πάρκου να είναι έτσι ώστε η παραγόμενη ισχύς ανά φάση να μην παρουσιάζει απόκλιση πάνω από 20% σε σχέση με τις υπόλοιπες 2 φάσεις. Έτσι, επιλέγεται αριθμός αντιστροφέων ακέραιο πολλαπλάσιο του 3 και στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι 45 αντιστροφείς.

Για την ομαδοποίηση των πλαισίων και την δημιουργία των string (αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων στη σειρά) λαμβάνουμε υπ' όψιν τους εξής παράγοντες:

- Στον ίδιο αναστροφέα φροντίζουμε να δημιουργούμε ομάδες με τον ίδιο αριθμό πλαισίων έτσι ώστε να έχουμε στα άκρα κάθε string την ίδια τάση. Σημειώνεται, ότι υπάρχουν αντιστροφείς, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να συνδέονται με δύο διαφορετικές σε αριθμό πλαισίων συστοιχίες, λειτουργία που υποστηρίζει ο εν λόγω αντιστροφέας.

- Τα string που θα δημιουργηθούν θα πρέπει να έχουν τάση στα άκρα τους (τάση ανοιχτού κυκλώματος) που να βρίσκεται εντός των ορίων λειτουργίας του αναστροφέα.

- Η τάση στα άκρα κάθε string πρέπει να πλησιάζει κατά το δυνατό στα υψηλότερα όρια του εύρους λειτουργίας του αναστροφέα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση του συστήματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η χαμηλότερη ακτινοβολία δημιουργεί χαμηλότερη τάση στα Φ/Β πλαίσια. Μειούμενη όμως η τάση στα άκρα των strings κάτω από ένα κρίσιμο όριο, χαρακτηριστικό για κάθε αναστροφέα, αυτός τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι λοιπόν όσο πιο μεγάλη είναι η τάση λειτουργίας έπειτα από την ομαδοποίηση, τόσο πιο χαμηλή θα είναι η κρίσιμη ακτινοβολία που θα θέτει εκτός λειτουργίας τον αναστροφέα.
- Η ομαδοποίηση θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερβαίνει την μέγιστη ένταση ρεύματος που ορίζει ο κατασκευαστής των αναστροφέων.
- Η ονομαστική ισχύς εισόδου συνεχούς ρεύματος δίνεται από τον κατασκευαστή. Όλοι οι αναστροφέες έχουν την δυνατότητα υπερφόρτισης σε ποσοστό που στους περισσότερους κατασκευαστές είναι 20%.

Για την ομαδοποίηση των πλαισίων καθοριστικός παράγοντας είναι τα χαρακτηριστικά των πλαισίων (τάσης και έντασης) όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά των αντιστροφέων:

για τα πλαίσια σύμφωνα με τον κατασκευαστή ισχύει:

- Ονομαστική ισχύς 220 Wp.
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος 36,9 V.
- Ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης 7,85 A.
- Τάση λειτουργίας 30,2 V.
- Ένταση ρεύματος λειτουργίας 7,28 A.

τα κυριότερα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα SMC 11000TL:

- Ονομαστική ισχύς εξόδου 11 kW
- Μέγιστη ισχύς εξόδου 7 kW
- Μέγιστη ισχύς εισόδου 11,4 kW
- Μέγιστη ένταση ρεύματος εισόδου 35 A
- Μέγιστη DC τάση εισόδου: 800 V
- Εύρος DC τάσης MPP: 333 – 500 V
- Μέγιστος βαθμός απόδοσης: 98,1%
- Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης: 97,7%

Ο κάθε αντιστροφέας δέχεται μέγιστη ένταση ρεύματος εισόδου 35 A. Συνεπώς,

$$35 \div 7,28(I_{MPP}) = 4,80 \rightarrow 4 \text{ strings συνδεδεμένα παράλληλα}$$

Επίσης, επειδή το εύρος DC τάσης MPP είναι 333 – 500 V, με την απαίτηση να προσεγγίζεται το μέγιστο, έχουμε

$$500 \div 36,9(V_{oc}) = 13,55 \rightarrow 13 \text{ πλαίσια σε κάθε string (μέγιστη τιμή)}$$

Οπότε, προκύπτουν

18 αντιστροφείς, όπου ο καθένας συνδέεται 4 strings συνδεδεμένα παράλληλα, όπου το κάθε string αποτελείται από 12 πλαίσια ($18 \times 4 \times 12 = 864$ πλαίσια),

26 αντιστροφείς, όπου ο καθένας συνδέεται 4 strings συνδεδεμένα παράλληλα, όπου το κάθε string αποτελείται από 13 πλαίσια ($26 \times 4 \times 13 = 1352$ πλαίσια) και

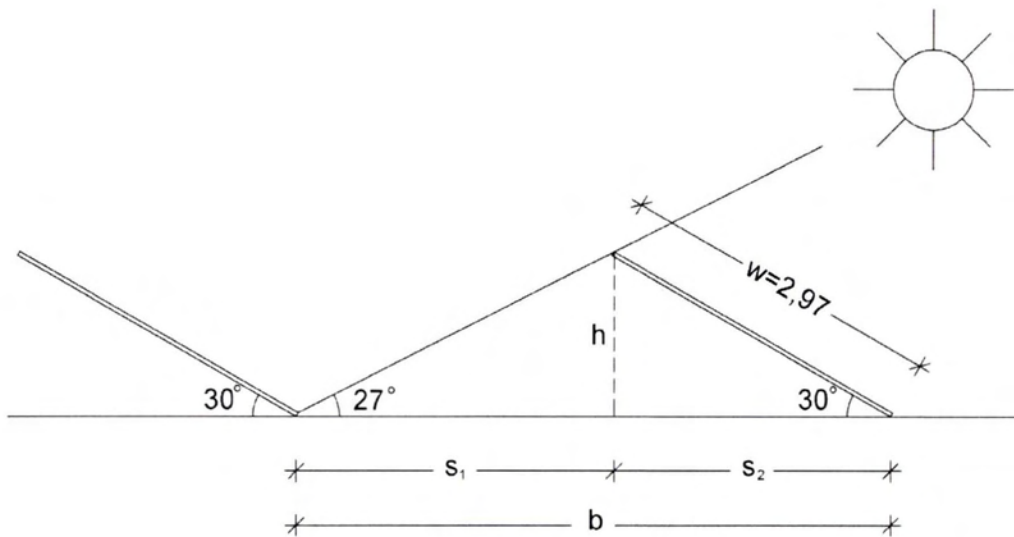
1 αντιστροφή που αποτελείται από 3 strings συνδεδεμένα παράλληλα, όπου το καθένα αποτελείται από 12 πλαίσια ($3 \times 12 = 36$ πλαίσια) και 1 string των 13 πλαισίων ($36 + 12 = 49$ πλαίσια).

Συνολικά προκύπτουν $864 + 1352 + 49 = 2265$ πλαίσια, χωρισμένα σε 45 μονοφασικούς αντιστροφείς, όπου στις 2 φάσεις συνδέονται από 6 αντιστροφείς των 12 πλαισίων και 9 των 13 πλαισίων, ενώ στην 3^η φάση 6 αντιστροφείς των 12 πλαισίων, 8 των 13 πλαισίων και ο 1 αντιστροφέας με τα διαφορετικά strings. Σε κάθε μια από τις δυο φάσεις τροφοδοτείται ισχύς 166,36 kW, ενώ στην 3^η ισχύς 166,56 kW τιμές που δεν ξεπερνούν τον περιορισμό του 20% της ΔΕΗ.

Τα πλαίσια θα έχουν τον βέλτιστο προσανατολισμό (αζιμούθιο 0°) και κλίση 30° . Η κλίση των 30° αποτελεί γενικό κανόνα για την περιοχή της Ελλάδας (αντί των 39° , σύμφωνα με το κριτήριο του γεωγραφικού πλάτους), καθώς εκμεταλλεύεται περισσότερο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία τους καλοκαιρινούς μήνες και τη διάχυτη κατά τους χειμερινούς. Οι συστοιχίες θα έχουν ύψος 3m και μήκη που θα ποικίλουν εξαιτίας της ιδιαιτερότητας της γεωμετρίας του οικοπέδου με συνολική επιφάνεια πλαισίων 3.737 m^2 . Τα πλαίσια θα εγκατασταθούν οριζόντια, ώστε καθ' ύψος να τοποθετούνται ανά 3,

$$3 \times 0,99m (\text{πλάτος πλαισίου}) = 2,97m \approx 3m$$

Σημαντική παράμετρος ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι η χωροθέτηση των πλαισίων, ώστε να εξασφαλιστεί η όσο το δυνατόν (λόγω του διαθέσιμου ελεύθερου χώρου), αποφυγή δημιουργίας σκιάσεων μεταξύ των πλαισίων (σχ. 4.8). Αυτό επιτυγχάνεται με την επιλογή κατάλληλης απόστασης μεταξύ διαδοχικών πλαισίων που βρίσκονται το ένα πίσω από το άλλο. Στην περίπτωση, που τα πλαίσια είναι του ίδιου ύψους και τοποθετημένα σε οριζόντιο επίπεδο, το κριτήριο της μεταξύ τους απόστασης b , ορίζεται από την γωνία ηλιακού ύψους κατά το ηλιακό μεσημέρι του χειμερινού ηλιοστασίου, όπου ο ήλιος σχηματίζει τη χαμηλότερη τροχιά στον ουράνιο θόλο. Η αποφυγή σκιάσεων τους χειμερινούς μήνες, όταν ο ήλιος ανατέλει ή δύει, απαιτεί μεγάλες τιμές της απόστασης b , γεγονός μη εφικτό πρακτικά. Γι' αυτό το λόγο, συνήθως, αρκεί να ικανοποιείται η αποφυγή σκίασης περίπου ± 2 ώρες από το ηλιακό μεσημέρι του χειμερινού ηλιοστασίου. Η γωνία ηλιακού ύψους είναι $26,9^\circ \approx 27^\circ$.
Συνεπώς από



Σχήμα 4.8 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ φωτοβολταϊκών συστοιχιών.

$$b = s_1 + s_2 = \frac{h}{\tan 27^\circ} + w \cos 30^\circ = 2,97 \left(\frac{\sin 30^\circ}{\tan 27^\circ} + \cos 30^\circ \right) = 5,48 \text{ m}$$

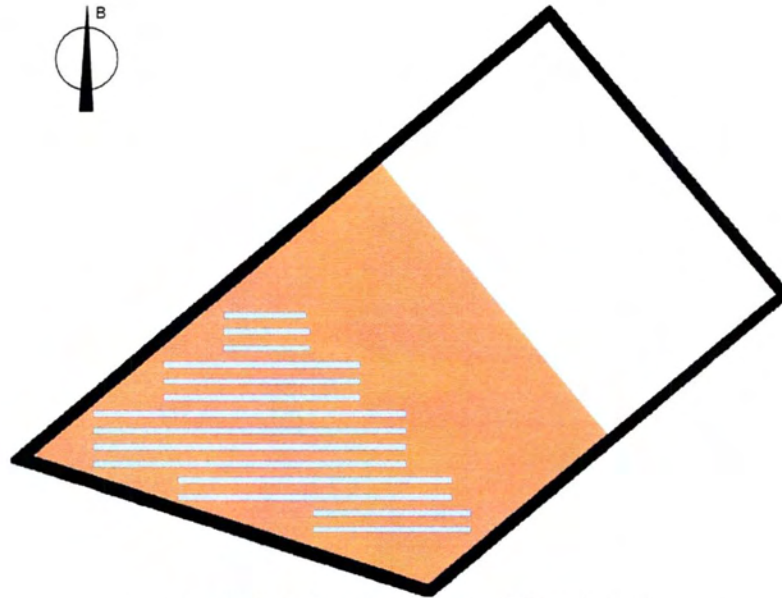
Ωστόσο, εξαιτίας την διάθεσης χώρου, επιλέχθηκε η απόσταση b να αυξηθεί στα 7 m, ώστε να αποφευχθούν σκιάσεις πριν και μετά το ηλιακό μεσημέρι. Σημειώνεται πως σε περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χώρος, είναι προτιμότερο να μειώνεται η γωνία κλίσης των πλαισίων, αντί της περαιτέρω μείωσης της απόστασης. Επίσης, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφορές την παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που απελευθερώνεται στο δίκτυο, συναρτήσει της απόστασης που έχουν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες μεταξύ τους,

Μήνες	5,48m	7m	10,96m(2×5,48m)
Ιανουάριος	28.396	29.301	29.728
Φεβρουάριος	33.742	34.254	34.534
Μάρτιος	47.978	48.448	48.813
Απρίλιος	60.656	61.148	61.549
Μάιος	67.016	67.575	68.041
Ιούνιος	69.219	69.722	70.132
Ιούλιος	71.906	72.413	72.822
Αύγουστος	66.689	67.176	67.558
Σεπτέμβριος	56.459	56.870	57.177
Οκτώβριος	48.179	48.745	49.041
Νοέμβριος	31.293	32.134	32.503
Δεκέμβριος	21.732	22.674	23.081
Σύνολο	603.265	610.460	614.979

Πίνακας 4.9 Μηνιαία ηλεκτροπαραγωγή σε kWh, συναρτήσει της απόστασης μεταξύ των Φ/Β συστοιχιών.

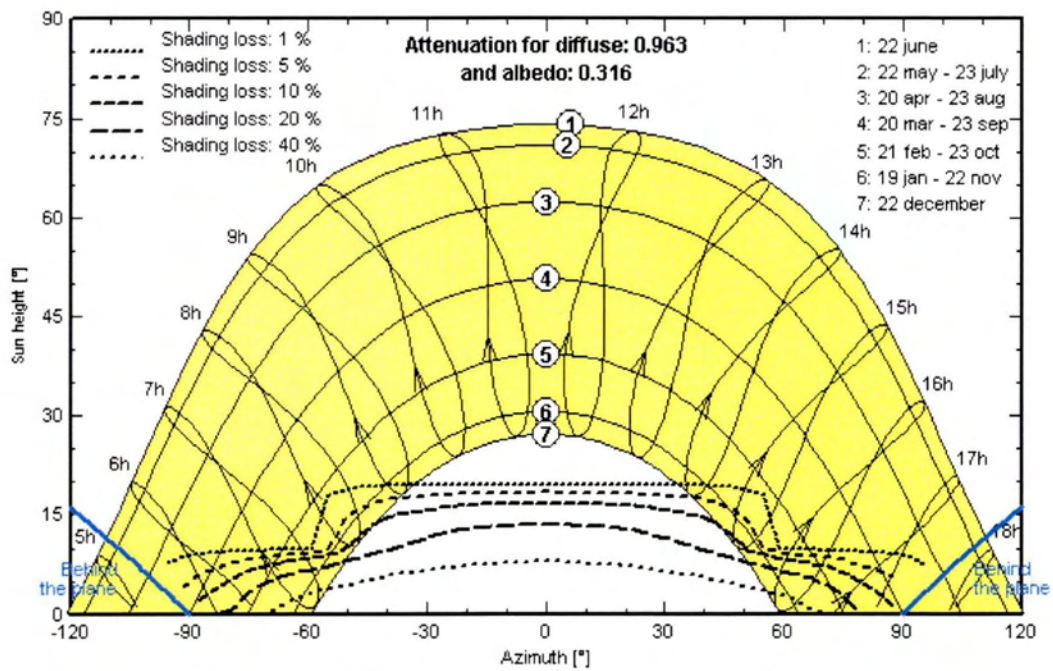
Η χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών έγινε σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, (από τον Βορά προς το Νότο) σε :

- 1 συστοιχία των 63 πλαισίων διαστάσεων 35m×3m,
- 2 συστοιχίες των 66 πλαισίων διαστάσεων 36,63m×3m,
- 3 συστοιχίες των 150 πλαισίων διαστάσεων 83,25m×3m,
- 4 συστοιχίες των 240 πλαισίων διαστάσεων 133,2m×3m,
- 2 συστοιχίες των 210 πλαισίων διαστάσεων 116,55m×3m και
- 2 συστοιχίες των 120 πλαισίων διαστάσεων 66,6m×3m



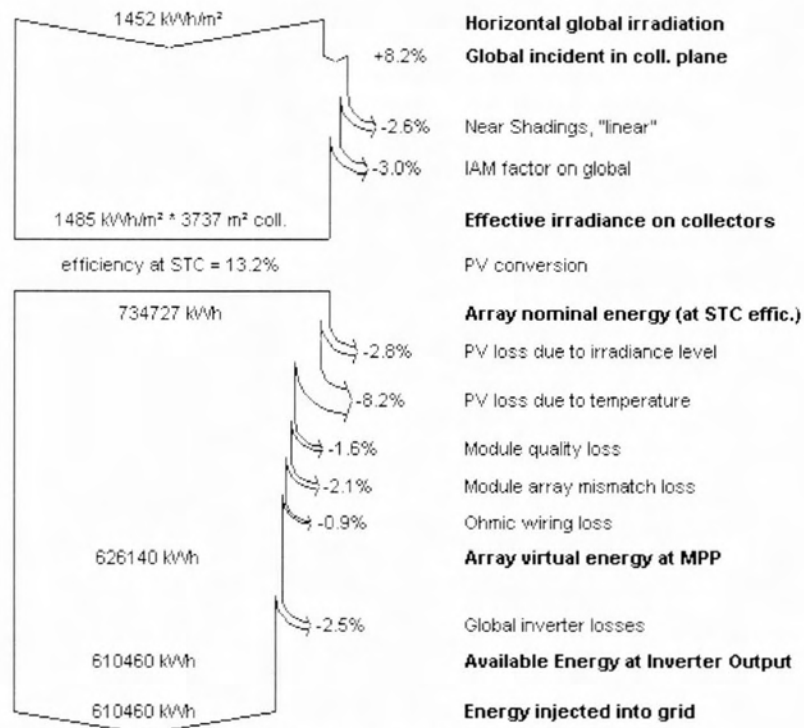
Σχήμα 4.10 Χωροθέτηση σταθερών Φ/Β συστοιχιών.

Οι σκιάσεις που δημιουργούνται μεταξύ των συστοιχιών μπορούν να απεικονιστούν με διακεκομμένες γραμμές, ανάλογες του ποσοστού απωλειών που προκαλούν, στον ηλιακό χάρτη για τη συγκεκριμένη τοποθεσία (σχ. 4.11). Παρατηρείται πως οι σκιάσεις σχηματίζονται κυρίως κατά τις πρώτες ή τελευταίες ώρες της ημέρας, όπου ο ήλιος βρίσκεται σε χαμηλό ύψος, με αποτέλεσμα η σκιά ενός αντικειμένου να μεγαλώνει αυτές τις ώρες.



Σχήμα 4.11 Ο ηλιακός χάρτης του οικοπέδου με τις σκιάσεις μεταξύ των συστοιχιών.

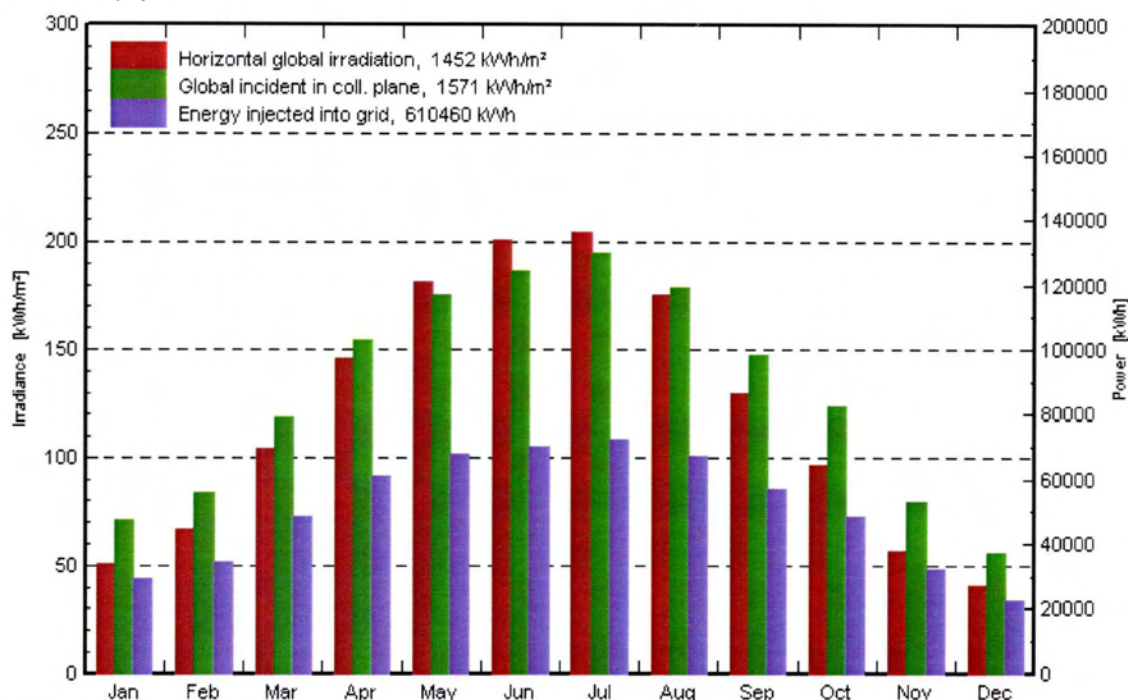
Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα απωλειών του σταθμού κατά τη διάρκεια ενός έτους.



Σχήμα 4.12 Διάγραμμα απωλειών σταθμού 500 kWp με σταθερές βάσεις.

Αρχικά, δίνεται η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια ανά m². Στη συνέχεια σημειώνεται το ποσοστό προσαύξησης της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας, εξαιτίας της κλίσης των συλλεκτών, ενώ ακολουθούν οι απώλειες λόγω των σκιάσεων μεταξύ των πλαισίων και της ανάκλασης που πραγματοποιείται σ' αυτά. Ο όρος IAM (Incidence Angle Modifier), δηλώνει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που χάνεται εξαιτίας της ανάκλασης της στο προστατευτικό γυαλί, αλλά και στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Έπειτα, δίνεται το ποσό της ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από τον σταθμό, δίχως να λαμβάνονται υπόψιν οι απώλειες λόγω της μεταβολής του επιπέδου της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Τα φωτοβολταϊκά κελιά, και κατ' επέκταση τα Φ/Β πλαίσια, ίδιου τύπου και κατασκευαστή δεν είναι πανομοιότυπα, αφού κατασκευάζονται βιομηχανικά, και παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους (mismatch). Οι διαφοροποιήσεις αυτές παρουσιάζουν συγκεκριμένες ανοχές και δίνονται από τον κατασκευαστή, ενώ οδηγούν σε χαμηλά ποσοστά απωλειών. Αντίστοιχα ορίζεται και ένα ποσοστό απωλειών εξαιτίας της διαφοράς στην ποιότητα των Φ/Β στοιχείων κατά τη βιομηχανική παραγωγή. Οι ωμικές αντιστάσεις που παρουσιάζονται στα ηλεκτρικά κυκλώματα του συστήματος ευθύνονται για ένα μικρό ποσοστό απωλειών, όπως και η μετατροπή του DC ρεύματος σε AC, μέσω των αντιστροφών. Τέλος, δίνεται η συνολική ποσότητα ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο κατά τη διάρκεια του έτους.

Παρακολουθώντας τη συμπεριφορά του συστήματος κατά τη διάρκεια του χρόνου, είναι δυνατόν να κατανοηθούν καλύτερα οι διάφοροι παράμετροι του. Αρχικά, στο σχήμα 4.13, παρατηρείται το κέρδος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες, σε σχέση με τη ποσότητα της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια ανά m^2 , για κάθε μήνα του έτους, με τις αντίστοιχες τιμές να δίνονται στον πίνακα. Η κλίση των 30° δρα θετικά, σχεδόν για το σύνολο των μηνών, εκτός από τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, όπου το ύψος του ήλιου φθάνει στις μέγιστες τιμές και συνεπώς απαιτείται μικρότερη κλίση των πλαισίων, ώστε οι ακτίνες να πέφτουν κάθετα. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μικρότερη εκμετάλλευση του ηλιακού δυναμικού κατά το καλοκαίρι, αλλά σε μεγαλύτερη εκμετάλλευση κατά το υπόλοιπο έτος. Επίσης, στο ίδιο διάγραμμα δίνεται η ηλεκτρική ενέργεια που απελευθερώνεται στο δίκτυο ανά μήνα.

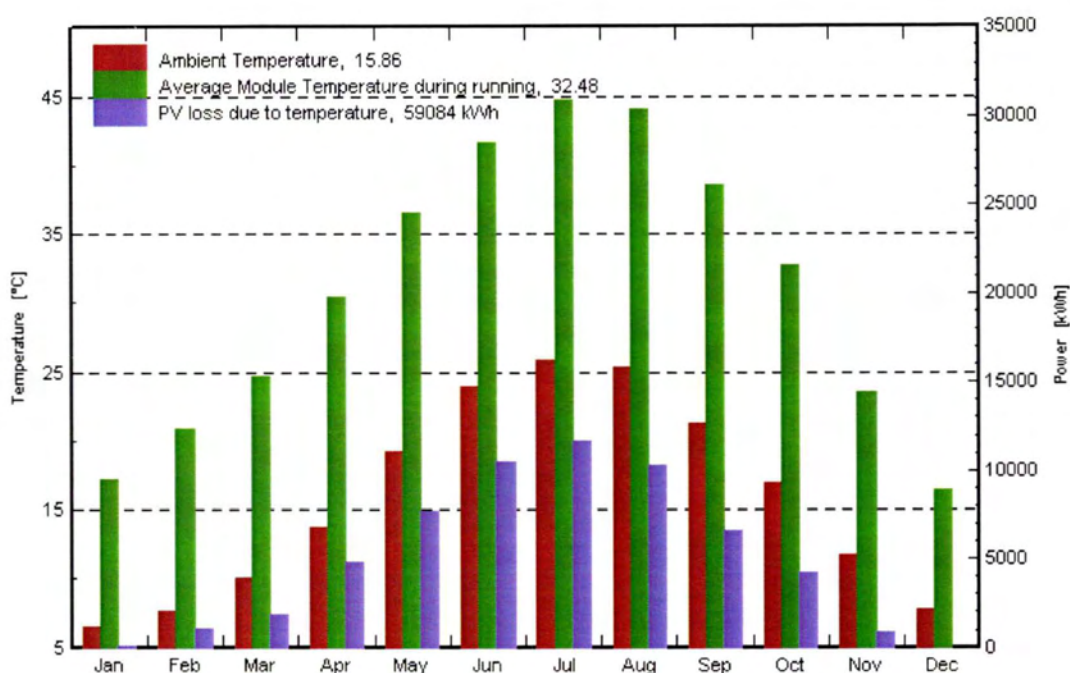


Σχήμα 4.13 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των σταθερών συλλεκτών.

Μήνες	Συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στους συλλέκτες (kWh/m ²)	Συνολική έγχυση στο δίκτυο (kWh)
Ιανουάριος	50,50	71,33	29.301
Φεβρουάριος	66,40	84,15	34.254
Μάρτιος	103,80	118,77	48.448
Απρίλιος	146,09	153,87	61.148
Μάιος	181,70	175,86	67.575
Ιούνιος	200,71	186,74	69.722
Ιούλιος	204,31	194,65	72.413
Αύγουστος	175,80	179,25	67.176
Σεπτέμβριος	129,30	147,14	56.870
Οκτώβριος	96,40	123,57	48.745
Νοέμβριος	56,71	79,38	32.134
Δεκέμβριος	40,29	55,79	22.674
Σύνολο	1.452,01	1.570,51	610.460

Πίνακας 4.14 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των σταθερών συλλεκτών.

Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοσή τους. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας ανά μήνα, καθώς και η μέση θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων, ενώ από τον δεξί κάθετο άξονα διακρίνονται οι απώλειες ενέργειας εξαιτίας της θερμοκρασίας. Όπως είναι αναμενόμενο οι απώλειες παίρνουν τις μέγιστες τιμές κατά το καλοκαίρι, όπου η μέση θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων κυμαίνεται στους 40-45 °C, αντίθετα με τους ψυχρούς μήνες του έτους, όπου οι απώλειες λόγω θερμοκρασίας πρακτικά μηδενίζονται.

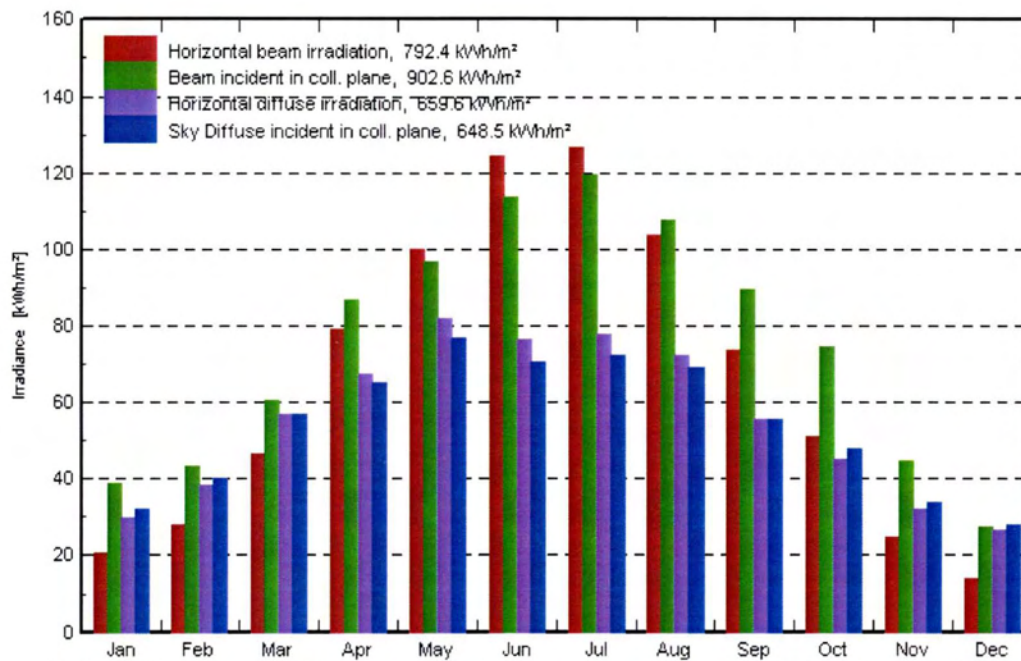


Σχήμα 4.15 Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των σταθερών πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.

Μήνες	Μέση θερμοκρασία ατμόσφαιρας (°C)	Μέση θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων (°C)	Απώλειες ενέργειας εξαιτίας της θερμοκρασίας (kWh)
Ιανουάριος	6,5	17,1	8
Φεβρουάριος	7,6	20,8	1.051
Μάρτιος	10	24,6	1.803
Απρίλιος	13,7	30,3	4.731
Μάιος	19,2	36,5	7.643
Ιούνιος	23,9	41,5	10.345
Ιούλιος	25,8	44,6	11.561
Αύγουστος	25,4	43,9	10.168
Σεπτέμβριος	21,3	38,6	6.524
Οκτώβριος	16,9	32,6	4.156
Νοέμβριος	11,7	23,5	868
Δεκέμβριος	7,8	16,3	9
Μέση τιμή/Σύνολο	15,9	32,5	59.084

Πίνακας 4.16 Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των σταθερών πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.

Πέρα από την άμεση ακτινοβολία που χτυπά απευθείας την επιφάνεια των πλαισίων, η διάχυτη ακτινοβολία αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ακτινοβολίας, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος. Το διάγραμμα που ακολουθεί, δείχνει την ενέργεια που λαμβάνουν οι συλλέκτες ανά μήνα από την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του χρόνου. Υπενθυμίζεται πως λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την συνιστώσα της διάχυτης ακτινοβολίας, μικρή κλίση των συλλεκτών μεταφράζεται σε μεγαλύτερη εκμετάλλευση της, καθώς η επιφάνεια των συλλεκτών «βλέπει περισσότερο ουρανό».



Σχήμα 4.17 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο σταθερό κεκλιμένο επίπεδο.

Μήνες	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών (30°) (kWh/m ²)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών (30°) (kWh/m ²)
Ιανουάριος	20,69	38,66	29,81	31,99
Φεβρουάριος	27,89	43,31	38,50	39,95
Μάρτιος	46,70	60,40	57,10	56,98
Απρίλιος	78,88	86,65	67,21	65,27
Μάιος	100,01	96,66	81,69	76,77
Ιούνιος	124,42	113,63	76,29	70,43
Ιούλιος	126,72	119,56	77,59	72,36
Αύγουστος	103,71	107,65	72,10	69,25
Σεπτέμβριος	73,70	89,69	55,60	55,72
Οκτώβριος	51,10	74,49	45,30	47,79
Νοέμβριος	24,91	44,62	31,81	34,01
Δεκέμβριος	13,69	27,25	26,61	28,00
Σύνολο	792,42	902,57	659,60	648,52

Πίνακας 4.18 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο σταθερό κεκλιμένο επίπεδο.

4.3 Φωτοβολταϊκό πάρκο 500 kWp με ηλιοστάτες 2 αξόνων

Για την εφαρμογή του πάρκου με το διαξονικό σύστημα παρακολούθησης, χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αριθμός (2.265) και τύπος πλαισίων (PM 220P, Conergy) συνδεδεμένα με τον ίδιο τρόπο όπως και στην εγκατάσταση της προηγούμενης εφαρμογής, με τη διαφορά όμως τώρα τα πλαίσια εδράζονται στις κινούμενες βάσεις, έναντι των σταθερών.

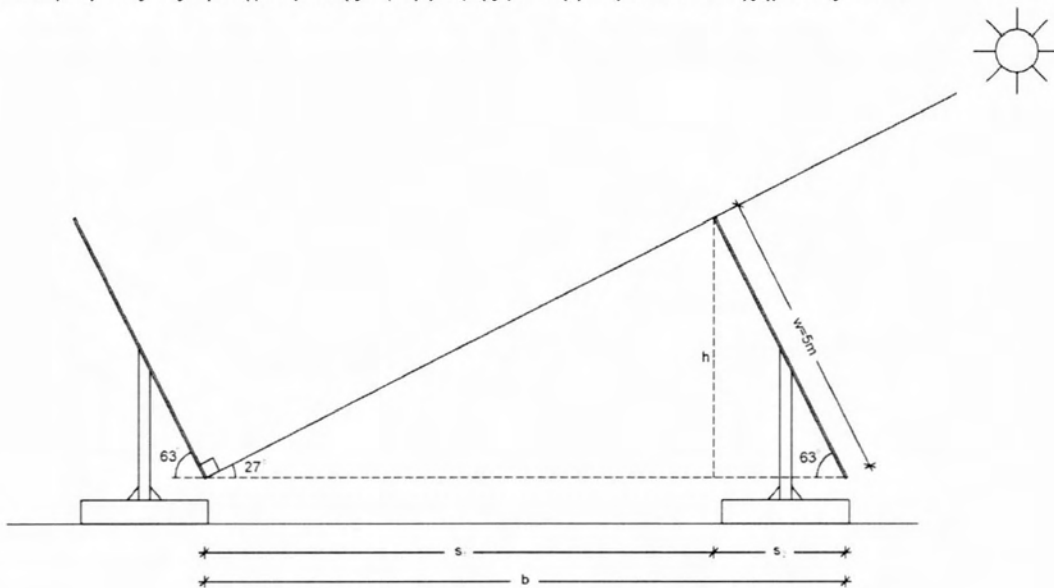
Επιλέχθηκαν ηλιοστάτες 2 αξόνων, της εταιρίας ELBITYL και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ IV, το οποίο αποτελείται από μεταλλική ψάθα τοποθετημένη πάνω σε κολόνα και όλη η διάταξη κινείται σε δύο άξονες (ανατολή δύση και βοράς νότος) μέσω ηλεκτροκινητήρων. Οι ηλιοστάτες θα μπορούν να περιστρέφονται κατά τον κάθετο άξονα ($-90^{\circ}, 90^{\circ}$) σε σχέση με το αζιμούθιο, δηλαδή Ανατολή-Δύση και ($0^{\circ}, 90^{\circ}$), κατά τον οριζόντιο άξονα. Οι διαστάσεις επιφάνειας στήριξης των πλαισίων είναι $5\text{m} \times 6\text{m}$ και συγκρατούν βάρος πλαισίων 750 kg , ενώ κάθε πλαίσιο έχει διαστάσεις $1,665\text{m} \times 0,99\text{m}$ και βάρος 20 kg . Τα πλαίσια θα τοποθετηθούν σε κάθε ηλιοστάτη κάθετα σε 3 σειρές των 6 τεμαχίων η κάθε σειρά, δημιουργώντας μια επιφάνεια $4,995\text{m} \times 5,94\text{m}$ και βάρους.

$$18 \text{ πλαίσια} \times 20 \frac{\text{kg}}{\text{πλαίσιο}} = 360 \text{ kg} .$$

Θα τοποθετηθούν συνολικά 124 ηλιοστάτες των 18 τεμαχίων, 1 ηλιοστάτης των 17 και 1 ηλιοστάτης των 16 πλαισίων, ώστε να προκύπτουν στο τέλος,

$$124 \times 18 + 1 \times 17 + 1 \times 16 = 2.265 \text{ πλαίσια} .$$

Προκειμένου να αποφευχθούν όσο το δυνατόν οι σκιάσεις, επαναλαμβάνουμε τους υπολογισμούς της προηγούμενης εφαρμογής με τη βοήθεια του σχήματος 4.19.



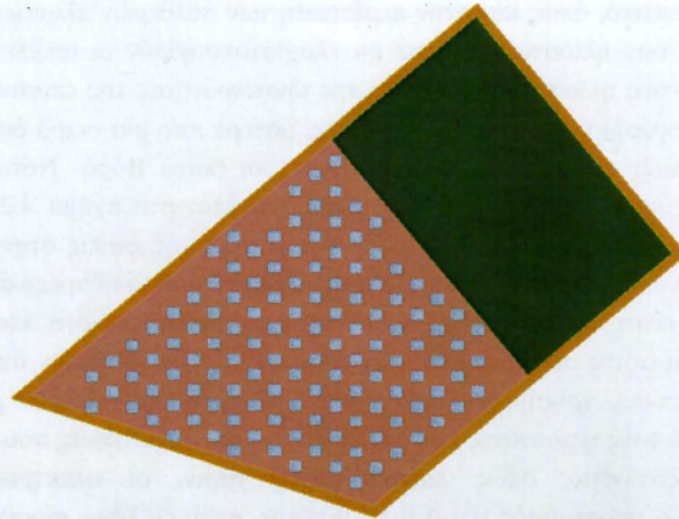
Σχήμα 4.19 Ελάχιστη απόσταση μεταξύ ηλιοστατών.

$$b = s_1 + s_2 = \frac{h}{\tan 27^{\circ}} + w \cos 63^{\circ} = 5 \left(\frac{\sin 63^{\circ}}{\tan 27^{\circ}} + \cos 63^{\circ} \right) = 11,01 \text{ m}$$

Με αντίστοιχο σκεπτικό, όπως και στην περίπτωση των σταθερών πλαισίων, αυξάνουμε την απόσταση μεταξύ των ηλιοστατών, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες λόγω σκίασης από τους μπροστινούς ηλιοστάτες. Εξαιτίας της ιδιαιτερότητας της επιφάνειας κάλυψης και προκειμένου να χωρέσουν και οι 124 ηλιοστάτες, ύστερα από μια σειρά δοκιμών επιλέχθηκε οι αποστάσεις μεταξύ των ηλιοστατών να είναι 15m (κατά Βορά- Νότο) και 10m (κατά Ανατολή -Δύση), με «σταυρωτή» διάταξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.21. Οι αποστάσεις μετρώνται από το κέντρο της κάτω πλευράς της μεταλλικής ψάθας όταν έχουν κλίση 90° (παράλληλες με το επίπεδο του εδάφους), οπότε ουσιαστικά οι «καθαρές» αποστάσεις μεταξύ των ηλιοστατών είναι 10m και 4m, κατά τη γραμμή Βορά-Νότο και Ανατολή-Δύση, αντίστοιχα. Αν και αυτές οι αποστάσεις δεν είναι οι πιο «αποδοτικές» όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί, χρησιμοποιήθηκαν γιατί με αυτές προκύπτουν μικρές ακάλυπτες περιοχές γύρω από τους ηλιοστάτες που προορίζονται για κατασκευές που θα καλύψουν τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, όπως παραδείγματος χάριν, οι ηλεκτρικοί πίνακες των καλωδιώσεων και ο υποσταθμός της Δ.Ε.Η.. Επίσης, στον εν λόγω πίνακα παρουσιάζονται κάποιες αποστάσεις μεταξύ των ηλιοστατών που δε μπορούν να πραγματοποιηθούν καθώς απαιτούνται μεγαλύτερες επιφάνειες κάλυψης, αλλά είναι ενδεικτικές του πόσο μειώνεται η σκίαση μεταξύ των ηλιοστατών, όταν αυξάνονται οι μεταξύ τους αποστάσεις.

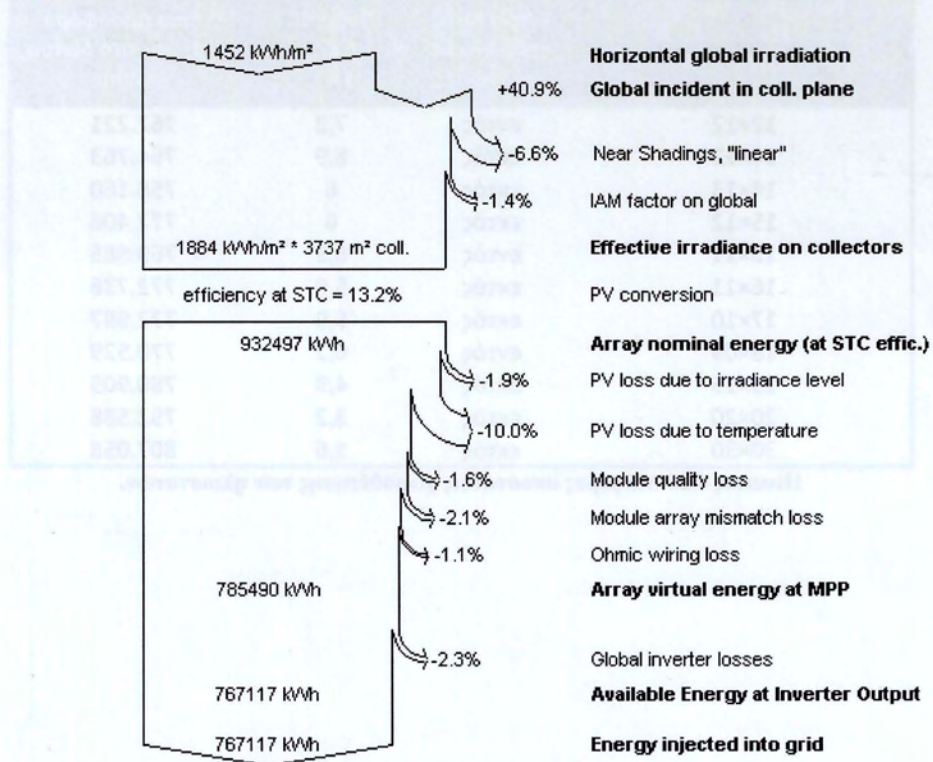
Αποστάσεις μεταξύ ηλιοστατών (Βορά-Νότο×Ανατολή-Δύση) (m×m)	Εντός/εκτός επιφάνειας κάλυψης	Ποσοστό σκίασης (%)	Ετήσια προσφορά ενέργειας στο δίκτυο (kWh)
12×12	εντός	7,2	762.221
14×12	εντός	6,9	764.763
14×13	εκτός	6	758.160
15×12	εκτός	6	772.406
15×11	εντός	6,3	769.885
16×11	εκτός	5,9	772.736
17×10	εκτός	5,9	772.987
18×09	εντός	6,2	770.529
15×15	εκτός	4,9	780.905
20×20	εκτός	3,2	792.588
30×30	εκτός	1,6	807.058

Πίνακας 4.20 Διάφορες αποστάσεις χωροθέτησης των ηλιοστατών.



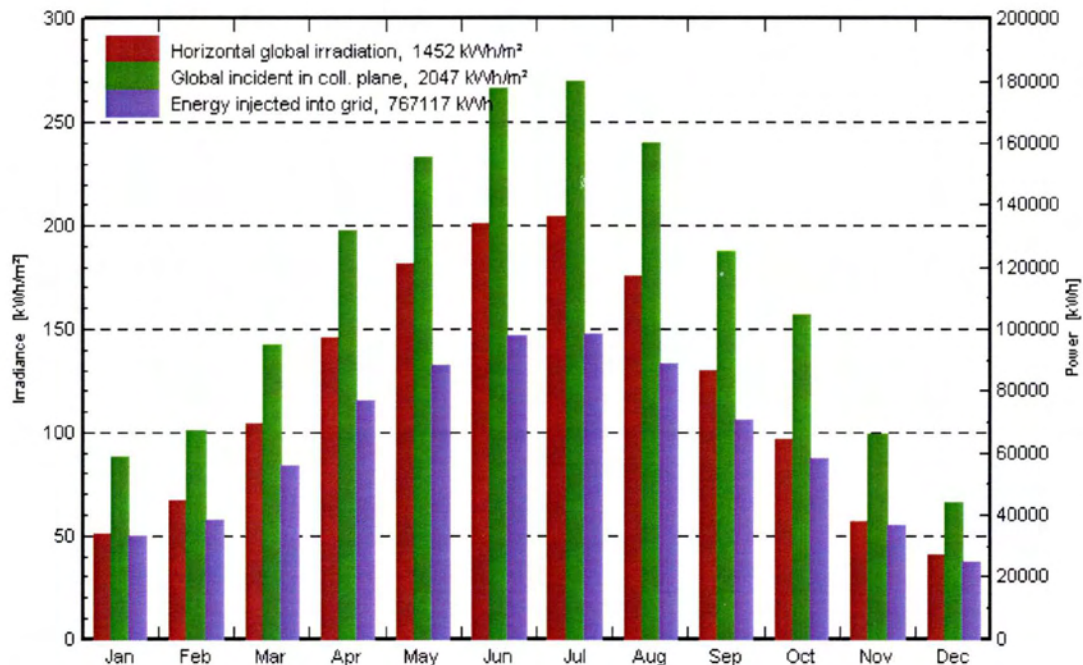
Σχήμα 4.21 Χωροθέτηση ηλιοστατών 2 αξόνων.

Στη συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα απωλειών του σταθμού κατά τη διάρκεια ενός έτους.



Σχήμα 4.22 Διάγραμμα απωλειών σταθμού 500 kWp με ηλιοστάτες.

Στο διάγραμμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των ηλιοστατών σε kWh ανά m² (σχ. 4.23), γίνεται φανερή η μεγάλη αύξηση της ακτινοβολίας που χτυπά τις επιφάνειες των ηλιοστατών, όπως και η μεγάλη ποσότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται προς κατανάλωση από το δίκτυο.

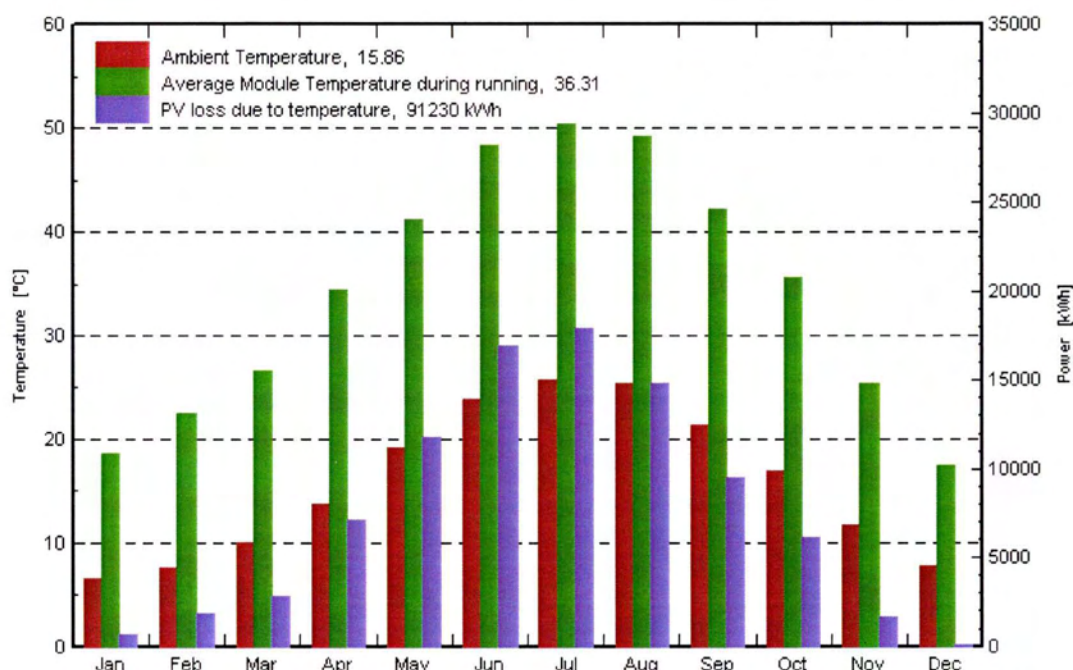


Σχήμα 4.23 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των κινούμενων συλλεκτών.

Μήνες	Συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στους συλλέκτες (kWh/m ²)	Συνολική έγχυση στο δίκτυο (kWh)
Ιανουάριος	50,50	87,72	33.104
Φεβρουάριος	66,40	100,71	38.173
Μάρτιος	103,80	142,11	56.017
Απρίλιος	146,09	197,49	76.784
Μάιος	181,70	232,84	88.114
Ιούνιος	200,71	266,48	97.593
Ιούλιος	204,31	269,35	98.343
Αύγουστος	175,80	240,03	88.648
Σεπτέμβριος	129,30	187,61	70.479
Οκτώβριος	96,40	156,97	58.162
Νοέμβριος	56,71	99,17	36.836
Δεκέμβριος	40,29	66,11	24.862
Σύνολο	1.452,01	2.046,59	767.117

Πίνακας 4.24 Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και στο επίπεδο των κινούμενων συλλεκτών.

Οι ηλιοστάτες, αφού παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου ώστε οι ηλιακές ακτίνες να χτυπούν συνεχώς κάθετα την επιφάνεια των συλλεκτών, είναι αναμενόμενο να αναπτύσσονται στις επιφάνειες υψηλότερες θερμοκρασίες, σε σχέση με αυτές των σταθερών βάσεων. Η μέση θερμοκρασία λειτουργίας των συστοιχιών μπορεί να φθάσει και τους 50°C τον Ιούνιο, κάτι που προκαλεί αντίστοιχες απώλειες σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορούν να προσεγγίσουν τις 18.000kWh.

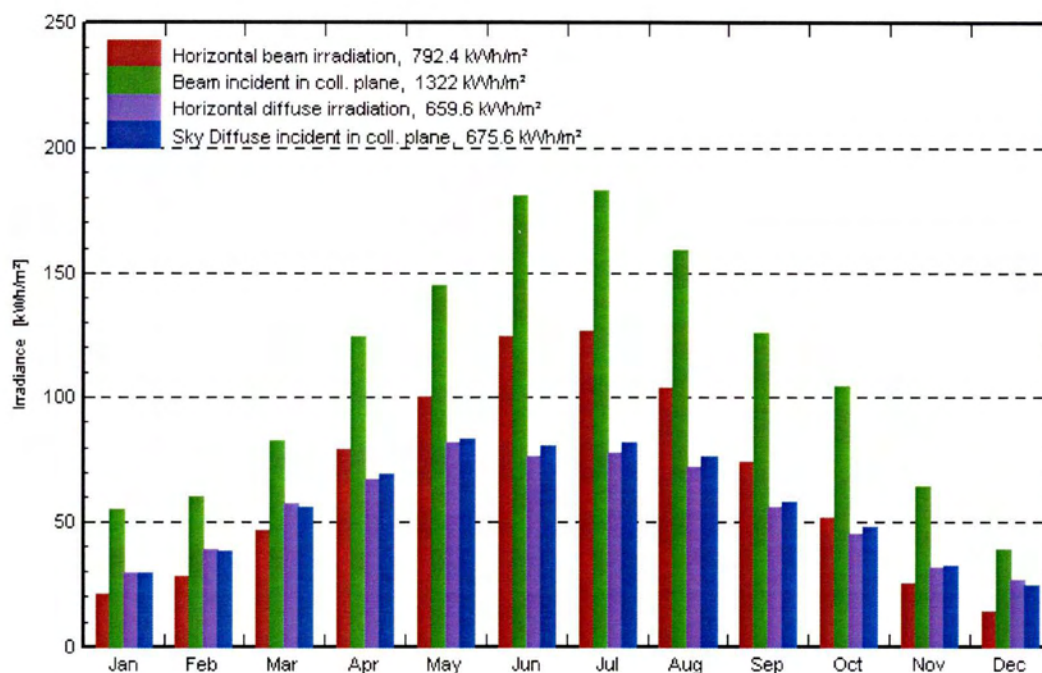


Σχήμα 4.25 Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των κινούμενων πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.

Μήνες	Μέση θερμοκρασία ατμόσφαιρας (°C)	Μέση θερμοκρασία λειτουργίας των πλαισίων (°C)	Απώλειες ενέργειας εξαιτίας της θερμοκρασίας (kWh)
Ιανουάριος	6,5	18,7	633
Φεβρουάριος	7,6	22,5	1.847
Μάρτιος	10	26,7	2.812
Απρίλιος	13,7	34,5	7.126
Μάιος	19,2	41,3	1.1788
Ιούνιος	23,9	48,3	16.950
Ιούλιος	25,8	50,3	17.923
Αύγουστος	25,4	49,3	14.790
Σεπτέμβριος	21,3	42,2	9.473
Οκτώβριος	16,9	35,5	6.111
Νοέμβριος	11,7	25,4	1.687
Δεκέμβριος	7,8	17,4	90
Μέση τιμή/Σύνολο	15,9	36,3	91.230

Πίνακας 4.26 Η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, των κινούμενων πλαισίων και οι απώλειες που προκαλούνται.

Ενώ στη συνέχεια, ακολουθεί το διάγραμμα των συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας που εκμεταλλεύονται οι κινούμενοι συλλέκτες.



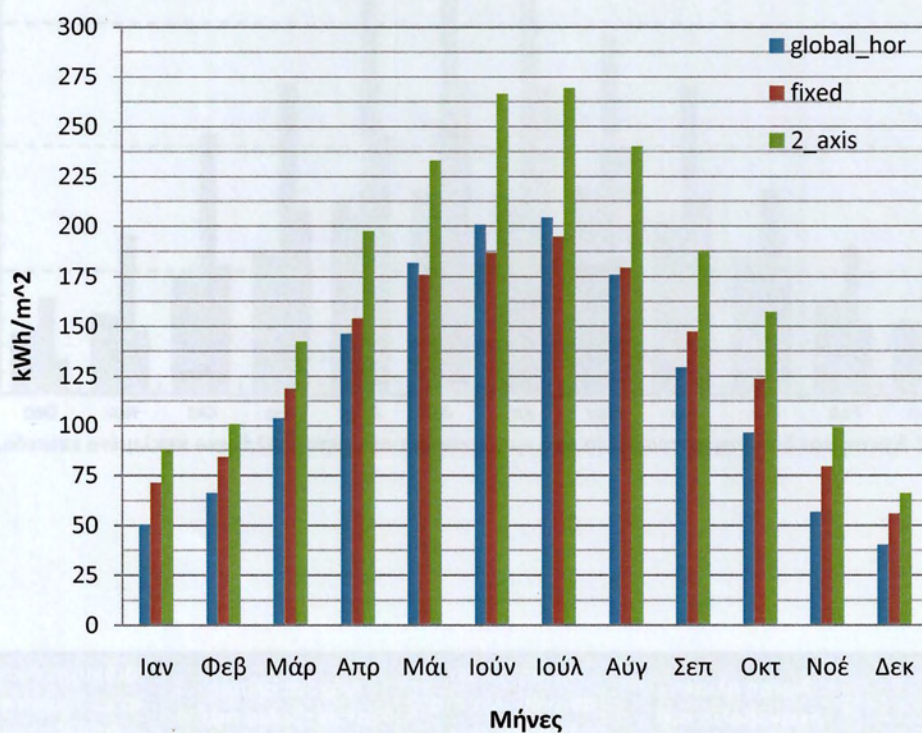
Σχήμα 4.27 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο μεταβαλλόμενο κεκλιμένο επίπεδο.

Μήνες	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών (kWh/m ²)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών (kWh/m ²)
Ιανουάριος	20,69	55,09	29,81	29,64
Φεβρουάριος	27,89	59,69	38,50	37,71
Μάρτιος	46,70	82,53	57,10	55,55
Απρίλιος	78,88	124,26	67,21	68,79
Μάιος	100,01	144,91	81,69	83,33
Ιούνιος	124,42	181,12	76,29	80,53
Ιούλιος	126,72	182,89	77,59	81,49
Αύγουστος	103,71	158,85	72,10	76,21
Σεπτέμβριος	73,70	125,55	55,60	57,47
Οκτώβριος	51,10	104,35	45,30	48,18
Νοέμβριος	24,91	63,94	31,81	32,01
Δεκέμβριος	13,69	38,88	26,61	24,72
Σύνολο	792,42	1.322	659,67	675,63

Πίνακας 4.28 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο μεταβαλλόμενο κεκλιμένο επίπεδο.

4.4 Σύγκριση των φωτοβολταϊκών σταθμών

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι συνολικές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτουν ανά m^2 επιφάνειας συλλέκτη, ανά μήνα, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Γίνεται ξεκάθαρο πως το σύστημα παρακολούθησης δυο αξόνων είναι πιο αποδοτικό σε σχέση με το σύστημα των σταθερών βάσεων, με την αύξηση της ακτινοβολίας με τη χρήση ηλιοστατών να μπορεί να φθάσει έως και το 74,9% (για τον Νοέμβριο), ενώ των σταθερών βάσεων έως το 41,2% (για τον Ιανουάριο).

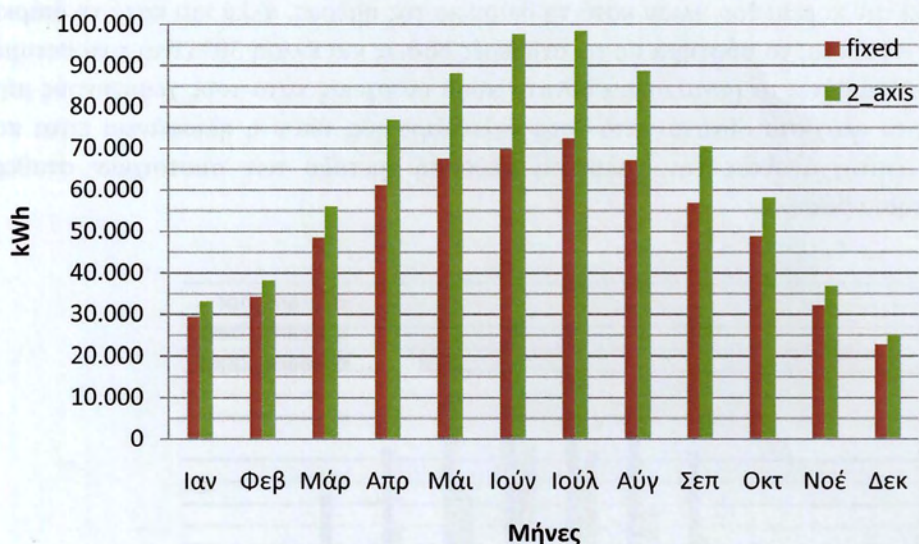


Σχήμα 4.29 Σύγκριση συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τους δυο Φ/Β σταθμούς.

Μήνες	Οριζόντιο επίπεδο (kWh/m ²)	Σταθεροί συλλέκτες (kWh/m ²)	Επί % αύξηση στους σταθερούς συλλέκτες	Κινούμενοι συλλέκτες (kWh/m ²)	Επί % αύξηση στους κινούμενους συλλέκτες
Ιανουάριος	50,50	71,33	41,2	87,72	73,7
Φεβρουάριος	66,40	84,15	26,7	100,71	51,7
Μάρτιος	103,80	118,77	14,4	142,11	36,9
Απρίλιος	146,09	153,87	5,3	197,49	35,2
Μάιος	181,70	175,86	-3,2	232,84	28,1
Ιούνιος	200,71	186,74	-7	266,48	33,8
Ιούλιος	204,31	194,65	-4,7	269,35	31,8
Αύγουστος	175,80	179,25	2	240,03	36,5
Σεπτέμβριος	129,30	147,14	13,8	187,61	45,1
Οκτώβριος	96,40	123,57	28,2	156,97	62,8
Νοέμβριος	56,71	79,38	40	99,17	74,9
Δεκέμβριος	40,29	55,79	38,5	66,11	64,1
Μέση Τιμή/Σύνολο	1.452,01	1.570,51	8,2	2.046,59	40,9

Πίνακας 4.30 Σύγκριση συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τους δυο Φ/Β σταθμούς.

Αντίστοιχα, το σύστημα 2 αξόνων παρουσιάζει μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να προσφέρει μεγαλύτερες ποσότητες στο δίκτυο, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα που ακολουθεί (σχ. 4.31). Συνολικά, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετημένα στα ηλιοτρόπια μπορούν να προσφέρουν 25,66% περισσότερη ενέργεια στο δίκτυο ανά έτος, σε σχέση με την εγκατάσταση σταθερών βάσεων.

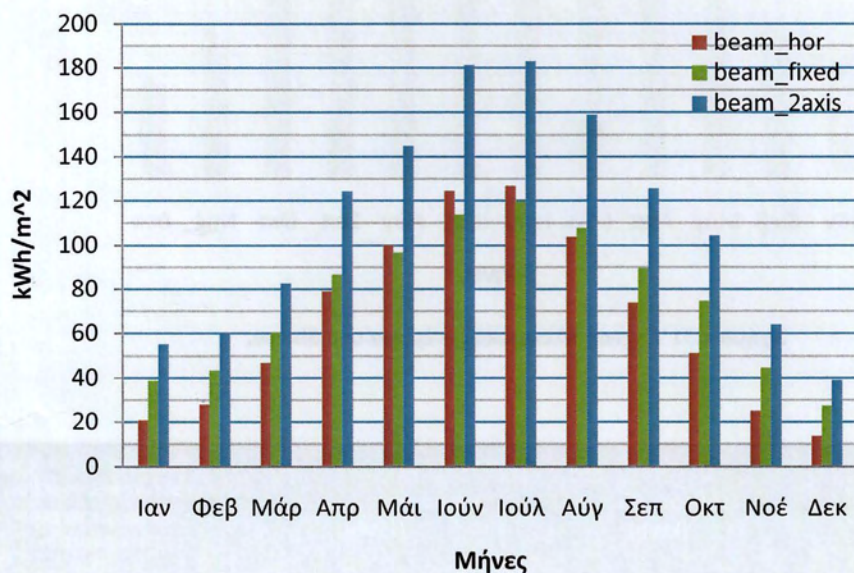


Σχήμα 4.31 Έγχυση ηλεκτρικής ενέργεια στο δίκτυο.

Μήνες	Σταθερές βάσεις (kWh)	Ηλιοστάτες 2 αξόνων (kWh)	Ποσοστό αύξησης της ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο με τη χρήση ηλιοστατών (%)
Ιανουάριος	29.301	33.104	12,98
Φεβρουάριος	34.254	38.173	11,44
Μάρτιος	48.448	56.017	15,62
Απρίλιος	61.148	76.784	25,57
Μάιος	67.575	88.114	30,39
Ιούνιος	69.722	97.593	39,97
Ιούλιος	72.413	98.343	35,81
Αύγουστος	67.176	88.648	31,96
Σεπτέμβριος	56.870	70.479	23,93
Οκτώβριος	48.745	58.162	19,32
Νοέμβριος	32.134	36.836	14,63
Δεκέμβριος	22.674	24.862	9,65
Σύνολο	610.460	767.117	25,66

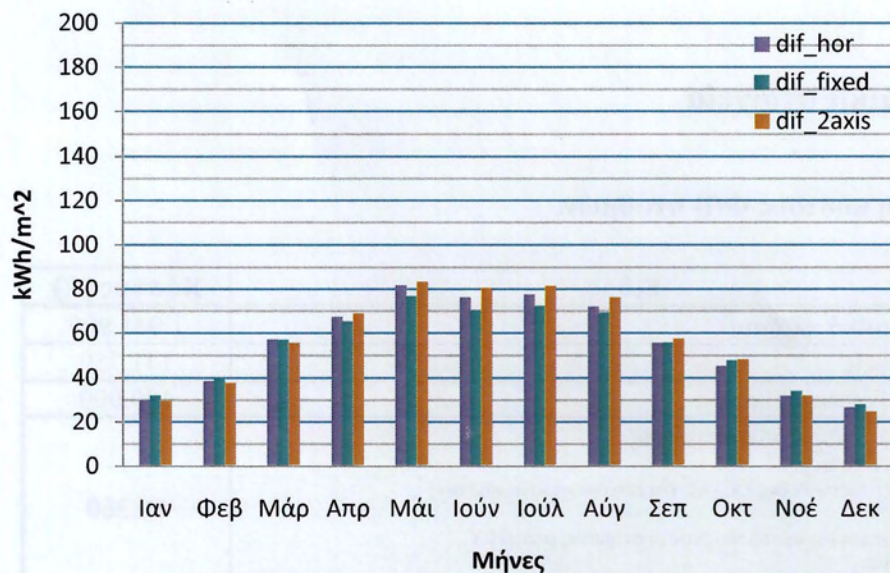
Πίνακας 4.32 Έγχυση ηλεκτρικής ενέργεια στο δίκτυο.

Τέλος, δίνονται δυο διαγράμματα σύγκρισης της εκμετάλλευσης της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας από τα δυο συστήματα. Στο πρώτο διάγραμμα (σχ. 4.33) παρατηρείται πως το κινούμενο στους δυο άξονες σύστημα, απορροφά πολύ μεγαλύτερα ποσά άμεσης ακτινοβολίας, συγκριτικά με το σταθερό σύστημα, αφού έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και κατά τη διάρκεια των εποχών. Αντίθετα, το σύστημα με τις σταθερές βάσεις και κλίση 30° είναι τοποθετημένο έτσι, ώστε να λαμβάνει τα μεγαλύτερα δυνατά ποσά ενέργειας κατά τους χειμερινούς μήνες και να χάνει τα ελάχιστα δυνατά κατά τους καλοκαιρινούς, όπου η ηλιοφάνεια είναι πολύ μεγαλύτερη, επιτυγχάνοντας την καλύτερη απόδοση (μεταξύ των συστοιχιών σταθερής κλίσης) σε ετήσια βάση.



Σχήμα 4.33 Σύγκριση δέσμευσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο δεύτερο διάγραμμα (σχ. 4.34) διακρίνεται πως κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η κλίση των ηλιοστατών είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την κλίση του σταθερού συστήματος (πιο συγκεκριμένα, η κλίση των πρώτων φθάνει τις 63°, στο χειμερινό ηλιοστάσιο), οι σταθερές συστοιχίες εκμεταλλεύονται περισσότερο την διάχυτη ακτινοβολία («βλέπουν περισσότερο ουρανό»). Με την πάροδο των μηνών όμως αυτό βαθμιαία αλλάζει, όπου κατά το θερινό ηλιοστάσιο οι ηλιοστάτες, έχοντας κλίση 17° (συμπληρωματική των 73°) έχουν καλύτερη θέση, σε σχέση με τα πλαίσια του σταθερού συστήματος (που παραμένουν στις 30°) και συνεπώς, δεσμεύουν περισσότερη διάχυτη ακτινοβολία. Στη συνέχεια, μέχρι τον ερχομό του χειμερινού ηλιοστασίου οι ισορροπίες πάλι θα αλλάξουν, κλείνοντας ένα κύκλο που συνεχώς επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 4.34 Σύγκριση δέσμησης της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

Μήνες	beam_hor (kWh/m ²)	dif_hor (kWh/m ²)	beam_fixed (kWh/m ²)	dif_fixed (kWh/m ²)	beam_2axis (kWh/m ²)	dif_2axis (kWh/m ²)
Ιανουάριος	20,69	29,81	38,66	31,99	55,09	29,64
Φεβρουάριος	27,89	38,5	43,31	39,95	59,69	37,71
Μάρτιος	46,7	57,1	60,4	56,98	82,53	55,55
Απρίλιος	78,88	67,21	86,65	65,27	124,26	68,79
Μάιος	100,01	81,69	96,66	76,77	144,91	83,33
Ιούνιος	124,42	76,29	113,63	70,43	181,12	80,53
Ιούλιος	126,72	77,59	119,56	72,36	182,89	81,49
Αύγουστος	103,71	72,1	107,65	69,25	158,85	76,21
Σεπτέμβριος	73,7	55,6	89,69	55,72	125,55	57,47
Οκτώβριος	51,1	45,3	74,49	47,79	104,35	48,18
Νοέμβριος	24,91	31,81	44,62	34,01	63,94	32,01
Δεκέμβριος	13,69	26,61	27,25	28	38,88	24,72
Σύνολο	792,42	659,61	902,57	648,52	1322,06	675,63

Πίνακας 4.35 Σύγκριση δέσμησης της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

4.5 Οικονομικά στοιχεία

4.5.1 Ανάλυση κόστους Φ/Β σταθμών.

Είδος	Κόστος (€)
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	1.041.900
Αντιστροφείς	141.750
Σταθερές βάσεις στήριξης	100.000
Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις - Πίνακες/Υποπίνακες - Καλωδιώσεις Διασύνδεσης DC, AC και επικοινωνίας με inverter - Γειώσεις - Σύστημα επιτήρησης φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω Η/Υ - Αντικεραυνικά - Υποσταθμός Μ/Τ	90.360
Θεμελίωση βάσεων και οικίσκου	80.000
Τοποθέτηση εγκατάστασης (εργατικά)	25.000
Σύνολο (χωρίς Φ.Π.Α)	1.479.010
Σύνολο (συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α)	1.819.182
Αναπροσαρμογή βάσει Δ.Τ.Κ (5%)	1.910.141
Τελικό ποσό κόστους	1.910.141

*Η αναπροσαρμογή έγινε καθώς η προσφορά πραγματοποιήθηκε τον 07/10, με προβλεπόμενο Δ.Τ.Κ. Ιουλίου 5%

Πίνακας 4.36 Ανάλυση κόστους σταθμού σταθερών βάσεων.

Είδος	Κόστος (€)
Φωτοβολταϊκά πλαίσια	1.041.900
Αντιστροφείς	141.750
Ηλιοστάτες 2 αξόνων	387.450
Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις - Πίνακες/Υποπίνακες - Καλωδιώσεις Διασύνδεσης DC, AC και επικοινωνίας με inverter - Γειώσεις - Σύστημα επιτήρησης φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω Η/Υ - Αντικεραυνικά - Υποσταθμός Μ/Τ	115.575
Θεμελίωση βάσεων και οικίσκου	94.000
Τοποθέτηση εγκατάστασης (εργατικά)	33.000
Σύνολο (χωρίς Φ.Π.Α)	1.813.675
Σύνολο (συμπεριλαμβανομένου Φ.Π.Α)	2.230.820
Αναπροσαρμογή βάσει Δ.Τ.Κ (5%)	2.342.361
Τελικό ποσό κόστους	2.342.361

*Η αναπροσαρμογή έγινε καθώς η προσφορά πραγματοποιήθηκε τον 07/10, με προβλεπόμενο Δ.Τ.Κ Ιουλίου 5%

Πίνακας 4.37 Ανάλυση κόστους σταθμού κινούμενων βάσεων.

4.5.2 Προβλεπόμενα έσοδα κατά την 20ετή σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας

Υποθέτοντας πως η σύμβασης πώλησης υπογράφεται κατά την περίοδο Φεβρουάριος-Αύγουστος 2011 η τιμή πώλησης της kWh ανέρχεται στα 0,37283 €.

Πέρα της τιμής πώλησης της kWh, αν συμπεριληφθούν

- τα κόστη συντήρησης 2.500 € και 5.000 €, ανά έτος για το σύστημα σταθερών και κινούμενων βάσεων, αντίστοιχα,
- η μείωση της απόδοσης των Φ/Β πλαισίων κατά 1% ανά έτος (90% μείωση απόδοσης στα 10 χρόνια και 80% στα 25 χρόνια κατά τον κατασκευαστή),
- η αναθεώρηση τιμών πώλησης της kWh ανά έτος, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία κατά 25% του Δ.Τ.Κ του προηγούμενου έτους (υποθέτουμε σταθερό Δ.Τ.Κ 3,5% για την 20ετή περίοδο) και
- η φορολόγηση εισοδήματος κατά 20%,

τα προβλεπόμενα έσοδα κατά τον 1^ο χρόνο έχουν ως εξής:

Μήνες	kWh σταθερών βάσεων	Έσοδα σταθερών βάσεων (€)	kWh κινούμενων βάσεων	Έσοδα κινούμενων βάσεων (€)
Ιανουάριος	29.301	10.924	33.104	12342
Φεβρουάριος	34.254	12.771	38.173	14232
Μάρτιος	48.448	18.063	56.017	20885
Απρίλιος	61.148	22.798	76.784	28627
Μάιος	67.575	25.194	88.114	32852
Ιούνιος	69.722	25.994	97.593	36386
Ιούλιος	72.413	26.998	98.343	36665
Αύγουστος	67.176	25.045	88.648	33051
Σεπτέμβριος	56.870	21.203	70.479	26277
Οκτώβριος	48.745	18.174	58.162	21685
Νοέμβριος	32.134	11.981	36.836	13734
Δεκέμβριος	22.674	8.454	24.862	9269
Σύνολο	610.460	227.598	767.117	286003
Ετήσιο κόστος συντήρησης (2.500€ , 5000€)		225.098		281003
Φορολόγηση (20%)		180.078		224803
Ετήσια έσοδα		180.078		224.803

Πίνακας 4.38 Προβλεπόμενα έσοδα.

Ενώ, τα ετήσια έσοδα με τις αντίστοιχες μεταβολές που αναφέρθηκαν παραπάνω σε ορίζοντα 20ετίας, έχουν:

Έτος Σύμβασης	Έσοδα σταθερών βάσεων (€)	Σωρευτικά έσοδα σταθερών βάσεων (€)	Έσοδα κινούμενων βάσεων (€)	Σωρευτικά έσοδα κινούμενων βάσεων (€)
1 ^ο	180.078	180.078	224.803	224.803
2 ^ο	179.835	359.913	224.497	449.301
3 ^ο	179.573	539.486	224.168	673.469
4 ^ο	179.293	718.779	223.816	897.286
5 ^ο	178.994	897.772	223.441	1.120.726
6 ^ο	178.676	1.076.448	223.041	1.343.767
7 ^ο	178.338	1.254.786	222.617	1.566.383
8 ^ο	177.981	1.432.767	222.168	1.788.551
9 ^ο	177.603	1.610.370	221.693	2.010.244
10 ^ο	177.206	1.787.575	221.193	2.231.438
11 ^ο	176.787	1.964.362	220.668	2.452.105
12 ^ο	176.348	2.140.710	220.115	2.672.220
13 ^ο	175.887	2.316.597	219.536	2.891.757
14 ^ο	175.404	2.492.001	218.930	3.110.686
15 ^ο	174.899	2.666.900	218.295	3.328.982
16 ^ο	174.372	2.841.272	217.633	3.546.615
17 ^ο	173.822	3.015.094	216.942	3.763.557
18 ^ο	173.249	3.188.344	216.222	3.979.779
19 ^ο	172.653	3.360.997	215.473	4.195.251
20 ^ο	172.033	3.533.029	214.693	4.409.944
Συνολικά Έσοδα	3.533.029		4.409.944	

Πίνακας 4.39 Συνολικά έσοδα της 20ετίας.

4.5.3 Βιωσιμότητα επένδυσης

Στη συνέχεια, για την πραγματοποίηση της επένδυσης των 2 σταθμών θα εξετασθούν 3 σενάρια χρηματοδότησης με κάλυψη από ίδια κεφάλαια κατά 0%, 25% και 50%. Το υπόλοιπο ποσό θα καλυφθεί με δανειοδότηση σταθερού ετήσιου επιτοκίου 8% και αποπληρωμή του μέσω τοκοχρεολυσίων με χρονικό ορίζοντα 20 ή 10 έτη.

α) Πιθανές χρηματοδοτήσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα σταθερών βάσεων

χρηματικά ποσά (€)	0%	25%	50%
Κόστος Επένδυσης	1.910.141	1.910.141	1.910.142
Ίδια Κεφάλαια	-	477.535	955.071
Δάνειο	1.910.141	1.432.606	955.071
20 χρόνια			
Μηνιαία Δόση	15.977	11.983	8.323
Ετήσια Δόση	191.724	143.796	99.876
Συνολικό Ποσό Εξόφλησης	3.834.480	2.875.920	1.997.520
Τόκοι	1.924.339	1.443.314	1.042.449

10 χρόνια			
Μηνιαία Δόση	23.175	17.381	12.072
Ετήσια Δόση	278.100	208.572	144.864
Συνολικό Ποσό Εξόφλησης	5.562.000	4.171.440	2.897.280
Τόκοι	3.651.859	2.738.834	1.942.209

Πίνακας 4.40 Πιθανές χρηματοδοτήσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα σταθερών βάσεων.

Βάσει των ετήσιων εισόδων του φωτοβολταϊκού σταθμού με τις σταθερές βάσεις (Πίνακας 4.39), τα συνολικά έσοδα της επένδυσης κατά την 20ετία ανέρχονται στα 3.533.029€, ποσό που δεν καλύπτει την εξόφληση του δανείου στην περίπτωση που δε υπάρχει αρχικό κεφάλαιο (ίδια κεφάλαια 0%). Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση της 10ετούς αποπληρωμής του δανείου, όταν ο επενδυτής καλύπτει το 25%. Συνεπώς, αυτές οι προτάσεις απορρίπτονται. Επίσης, η δανειοδότηση 10ετούς διάρκειας με κάλυψη ιδίων κεφαλαίων κατά 50% απορρίπτεται και αυτή, καθώς με τη συμπλήρωση των 10 ετών λειτουργίας του σταθμού τα συνολικά έσοδα φθάνουν 1.787.575€, ποσό που δε καλύπτει την εξόφληση του δανείου (2.897.280 €). Από τις δυο εναπομείναντες περιπτώσεις, μπορούν να προκύψουν τα καθαρά ετήσια έσοδα της επένδυσης αφαιρώντας από τα ετήσια έσοδα, την ετήσια δόση αποπληρωμής του δανείου.

Έτος Σύμβασης	Καθαρά έσοδα με δάνειο το 75% του κόστους (€)	Καθαρά έσοδα με δάνειο το 50% του κόστους (€)
1 ^ο	36.282	80.202
2 ^ο	36.039	79.959
3 ^ο	35.777	79.697
4 ^ο	35.497	79.417
5 ^ο	35.198	79.118
6 ^ο	34.880	78.800
7 ^ο	34.542	78.462
8 ^ο	34.185	78.105
9 ^ο	33.807	77.727
10 ^ο	33.410	77.330
11 ^ο	32.991	76.911
12 ^ο	32.552	76.472
13 ^ο	32.091	76.011
14 ^ο	31.608	75.528
15 ^ο	31.103	75.023
16 ^ο	30.576	74.496
17 ^ο	30.026	73.946
18 ^ο	29.453	73.373
19 ^ο	28.857	72.777
20 ^ο	28.237	72.157
Συνολικά Καθαρά Έσοδα	657.109	1.535.509

Πίνακας 4.41 Τα συγκεντρωτικά ετήσια καθαρά έσοδα του συστήματος σταθερών βάσεων.

Ωστόσο, αν από τα συνολικά καθαρά έσοδα του παραπάνω πίνακα αφαιρεθούν τα ίδια κεφάλαια επένδυσης 477.535€ και 955.071 € για τα δάνεια του 75% και του 50% του κόστους του έργου, το καθαρό κέρδος στο πέρασμα της 20ετούς σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι $657.109 - 477.535 = 179.574$ € και $1.535.509 - 955.071 = 580.438$ €, αντίστοιχα. Παρατηρείται, πως τα καθαρά κέρδη δεν είναι ανάλογα του αρχικού κεφαλαίου, αφού στην πρώτη περίπτωση το κέρδος ανέρχεται στο

37,60% των ιδίων κεφαλαίων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα περιθώρια κέρδους φθάνουν στο 60,77% .

β) Πιθανές χρηματοδοτήσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα κινούμενων βάσεων

χρηματικά ποσά (€)	0%	25%	50%	40,77%
Κόστος Επένδυσης	2.342.361	2.342.361	2.342.361	2.342.361
Ίδια Κεφάλαια	-	585.590	1.171.181	955.071
Δάνειο	2.342.361	1.756.771	1.171.181	1.387.290
20 χρόνια				
Μηνιαία Δόση	19.592	14.694	9.796	11.630
Ετήσια Δόση	235.104	176.328	117.552	139.560
Συνολικό Ποσό Εξόφλησης	4.702.080	3.526.560	2.351.040	2.791.200
Τόκοι	2.791.939	2.093.954	1.395.969	1.836.129
10 χρόνια				
Μηνιαία Δόση	28.419	21.315	14.210	16.832
Ετήσια Δόση	341.028	255.780	170.520	201.984
Συνολικό Ποσό Εξόφλησης	6.820.560	5.115.600	3.410.400	4.039.680
Τόκοι	4.910.419	3.682.994	2.455.329	3.084.609

Πίνακας 4.42 Πιθανές χρηματοδοτήσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα κινούμενων βάσεων.

Παρόμοια, στον σταθμό με τους ηλιοστάτες 2 αξόνων τα συνολικά έσοδα φθάνουν τα 4.409.944€, με αποτέλεσμα να απορρίπτονται οι προσφορές δανειοδότησης με 0% αρχικό κεφάλαιο και τα 10ετή δάνεια του 75% και του 50% του κόστους του έργου, με το αντίστοιχο σκεπτικό της περίπτωσης α). Εργαζόμενοι αντίστοιχα, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

Έτος Σύμβασης	Καθαρά έσοδα με δάνειο το 75% του κόστους (€)	Καθαρά έσοδα με δάνειο το 50% του κόστους (€)
1 ^ο	48.475	107.251
2 ^ο	48.169	106.945
3 ^ο	47.840	106.616
4 ^ο	47.488	106.264
5 ^ο	47.113	105.889
6 ^ο	46.713	105.489
7 ^ο	46.289	105.065
8 ^ο	45.840	104.616
9 ^ο	45.365	104.141
10 ^ο	44.865	103.641
11 ^ο	44.340	103.116
12 ^ο	43.787	102.563
13 ^ο	43.208	101.984
14 ^ο	42.602	101.378
15 ^ο	41.967	100.743
16 ^ο	41.305	100.081
17 ^ο	40.614	99.390
18 ^ο	39.894	98.670
19 ^ο	39.145	97.921
20 ^ο	38.365	97.141
Συνολικά Καθαρά Έσοδα	883.384	2.058.904

Πίνακας 4.43 Τα συγκεντρωτικά ετήσια καθαρά έσοδα του συστήματος κινούμενων βάσεων.

Όπως και πριν, εάν αφαιρεθούν τα ίδια κεφάλαια επένδυσης 585.590 € και 1.171.181€ για τα δάνεια του 75% και του 50% του κόστους του έργου, το καθαρό κέρδος στο πέρασμα της 20ετούς σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι $883.384 - 585.590 = 297.794$ € και $2.058.904 - 1.171.181 = 887.723$ €, αντίστοιχα. Τα καθαρά κέρδη επίσης δεν είναι ανάλογα του αρχικού κεφαλαίου, αφού στην πρώτη περίπτωση το κέρδος ανέρχεται στο 50,85% των ιδίων κεφαλαίων, ενώ στη δεύτερη περίπτωση τα περιθώρια κέρδους φθάνουν στο 75,79% .

Στην τελευταία στήλη του πίνακα 4.42, τοποθετήθηκε ακόμη μια επιλογή, το 40,99% του συνολικού κόστους εγκατάστασης να χρηματοδοτείται από ίδια κεφάλαια. Το χρηματικό ποσό είναι 995.071€ και αναλογεί στο 50% του επένδυσης του συστήματος με τις σταθερές βάσεις. Μέσα από αυτή τη σύγκριση, έχοντας κοινό παρανομαστή το αρχικό κεφάλαιο, θα αξιολογήσουμε κατά πόσο συμφέρει η μια, ή η άλλη επένδυση. Καταρχήν, απορρίπτεται η επιλογή της 10ετούς δανειοδότησης για το σύστημα των κινούμενων βάσεων. Στη συνέχεια αφαιρώντας την ετήσια δόση 99.876€ και 139.560€ , για τον σταθμό των σταθερών βάσεων και τον σταθμό των κινούμενων αντίστοιχα, προκύπτουν τα καθαρά έσοδα.

Έτος Σύμβασης	Καθαρά έσοδα με δάνειο το 50% του κόστους του συστήματος σταθερών βάσεων (€)	Καθαρά έσοδα με δάνειο το 40,77% του κόστους του συστήματος κινούμενων βάσεων (€)
1 ^ο	80.202	85.243
2 ^ο	79.959	84.937
3 ^ο	79.697	84.608
4 ^ο	79.417	84.256
5 ^ο	79.118	83.881
6 ^ο	78.800	83.481
7 ^ο	78.462	83.057
8 ^ο	78.105	82.608
9 ^ο	77.727	82.133
10 ^ο	77.330	81.633
11 ^ο	76.911	81.108
12 ^ο	76.472	80.555
13 ^ο	76.011	79.976
14 ^ο	75.528	79.370
15 ^ο	75.023	78.735
16 ^ο	74.496	78.073
17 ^ο	73.946	77.382
18 ^ο	73.373	76.662
19 ^ο	72.777	75.913
20 ^ο	72.157	75.133
Συνολικά Καθαρά Έσοδα	1.535.509	1.618.744

Πίνακας 4.44 Σύγκριση καθαρών εσόδων των συστημάτων με το ίδιο αρχικό κεφάλαιο.

Από τα καθαρά έσοδα αφαιρείται το αρχικό κεφάλαιο των 995.071€, ώστε να προκύψουν τα κέρδη της επένδυσης στον 20ετή ορίζοντα.

$$1.535.509 - 995.071 = 540.438 \text{ € και } 1.618.744 - 995.071 = 623.673 \text{ €}.$$

Δηλαδή, αν ο επενδυτής κάλυπτε ο ίδιος το κόστος του φωτοβολταϊκού σταθμού κατά 995.071€ και το υπόλοιπο κεφάλαιο καλυπτόταν με τη μορφή δανεισμού, εάν επέλεγε τα Φ/Β πλαίσια να στηριχθούν σε ηλιοστάτες 2 αξόνων, θα είχε συνολικό κέρδος 83.235€ περισσότερα (15,4%), αντί του συστήματος με σταθερές βάσεις.

Συνοψίζοντας, γίνεται αντιληπτό πως είτε ο ένας Φ/Β σταθμός που εξετάστηκε, είτε ο άλλος, δε γίνεται να υλοποιηθούν με 100% δανειοδότηση, ενώ επίσης δεν είναι δυνατή η εξόφληση των εξεταζόμενων περιπτώσεων δανειοδότησης με 10ετή διάρκεια. Ακόμη, τόσο στην περίπτωση του σταθμού με σταθερές βάσεις, όσο και στην περίπτωση των κινούμενων βάσεων, μεγαλύτερο ποσοστό ιδίων κεφαλαίων (έναντι της τραπεζικής δανειοδότησης), αυξάνει τα καθαρά κέρδη της επένδυσης, καθώς ο επενδυτής μειώνει την επιβάρυνση των τόκων. Τέλος, όσον αφορά τη σύγκριση τους κέρδους των δυο σταθμών, χρησιμοποιώντας το ίδιο αρχικό κεφάλαιο (995.071€) το φωτοβολταϊκό πάρκο των κινούμενων βάσεων θα πρόσφερε συνολικά 15,4% περισσότερα κέρδη.

Βιβλιογραφία Κεφαλαίου

- ❖ “Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων (Πόρισμα Ομάδας Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ όπως εγκρίθηκε με την απόφαση Α159/Σ9/11.04.2011 της Διοικούσας Επιτροπής)”, Τ.Ε.Ε., Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας, Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2011.
- ❖ “Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις”, Κ.Α.Π.Ε., Αύγουστος 2009.
- ❖ “Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Τεχνολογία, Μελέτες, Εφαρμογές”, Σ.Ν. Καπλάνης, Εκδόσεις ΙΩΝ 2004
- ❖ “User's Guide PVsyst Contextual Help”, University of Geneva 1994-2010.
- ❖ Διαδικτυακή πηγή: Ελληνική Κοινότητα Μηχανικών, forum: www.michanikos.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ



CONERGY

Conergy PM 220P-230P

The Conergy PM 220P-230P solar modules offer a high level of module output at an attractive price/performance ratio. They are equipped with 60 efficient, polycrystalline cells and come with a positive performance tolerance. They are characterised by high yields and a long service life. Their production is approved by the high quality standards of Conergy. Thanks to the high quality of manufacture and standardised dimensions, the Conergy PM 220P-230P can be used for nearly all applications.

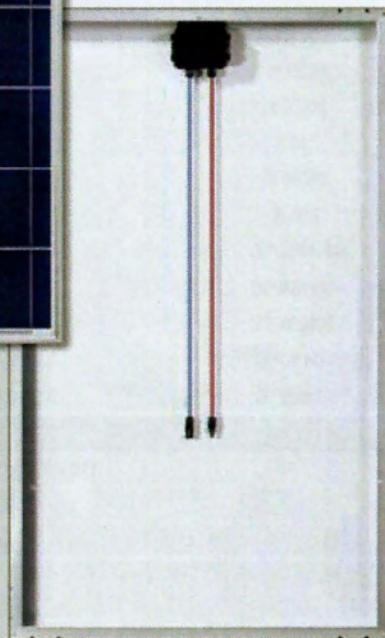


Benefits for the system operator

- | Attractive price/performance ratio
- | High module output
- | Certification in accordance with IEC/EN 61215 Ed. 2 and IEC/EN 61730
- | Positive performance tolerance
- | Secure investment decision thanks to a 5-year product warranty

Benefits for the installer

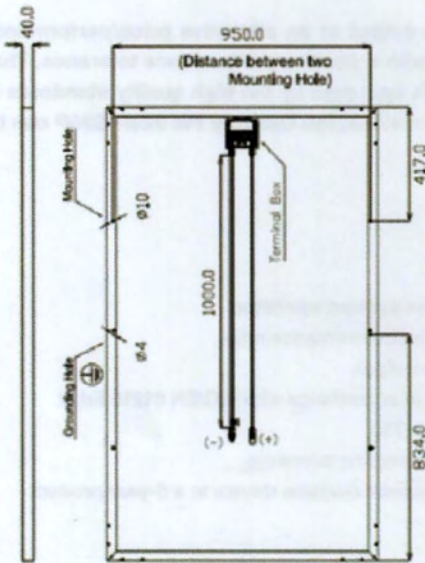
- | Simple installation thanks to functional connection technology
- | Option to combine with Conergy inverters and mounting systems





CONERGY

Conergy PM 220P-230P



Module dimensions

(L × W × H): 1,668 × 1,000 × 40 mm
 Cell dimensions: 156 × 156 mm
 Number of cells: 60
 Cells: polycrystalline
 Weight: 20 kg
 Certification: in accordance with IEC/EN 61215 Ed. 2 and IEC/EN 61730
 Product warranty: 5 years
 Warranted power: 90 % of the nominal power for 10 years
 80 % of the nominal power for 25 years
 Maximum system voltage: 1,000V

	Conergy PM 220P	Conergy PM 225P	Conergy PM 230P
Electrical values			
Nominal output (P_{nom}) according to STC ¹	220W	225W	230W
Module efficiency factor	13.20 %	13.50 %	13.80 %
MPP voltage (V_{MPP})	30.20V	30.50V	30.84V
MPP current (I_{MPP})	7.28A	7.37A	7.48A
Off-load voltage (V_{oc})	36.90V	37.00V	37.32V
Short-circuit current (I_{sc})	7.85A	7.89A	8.00A
Temperature coefficient (P_{MPP})	-0.44 %/°C	-0.44 %/°C	-0.44 %/°C
Temperature coefficient (V_{oc})	-0.118V/°C	-0.119V/°C	-0.119V/°C
Temperature coefficient (V_{oc})	-0.32 %/°C	-0.32 %/°C	-0.32 %/°C
Temperature coefficient (I_{sc})	0.04 %/°C	0.04 %/°C	0.04 %/°C
Temperature coefficient (I_{sc})	3.2 mA/°C	3.3 mA/°C	3.3 mA/°C
Junction box specifications			
Socket dimensions (L × W × H)	110 x 115 x 22.5 mm		
Protection type	IP 65		
DC connector	Tyco		

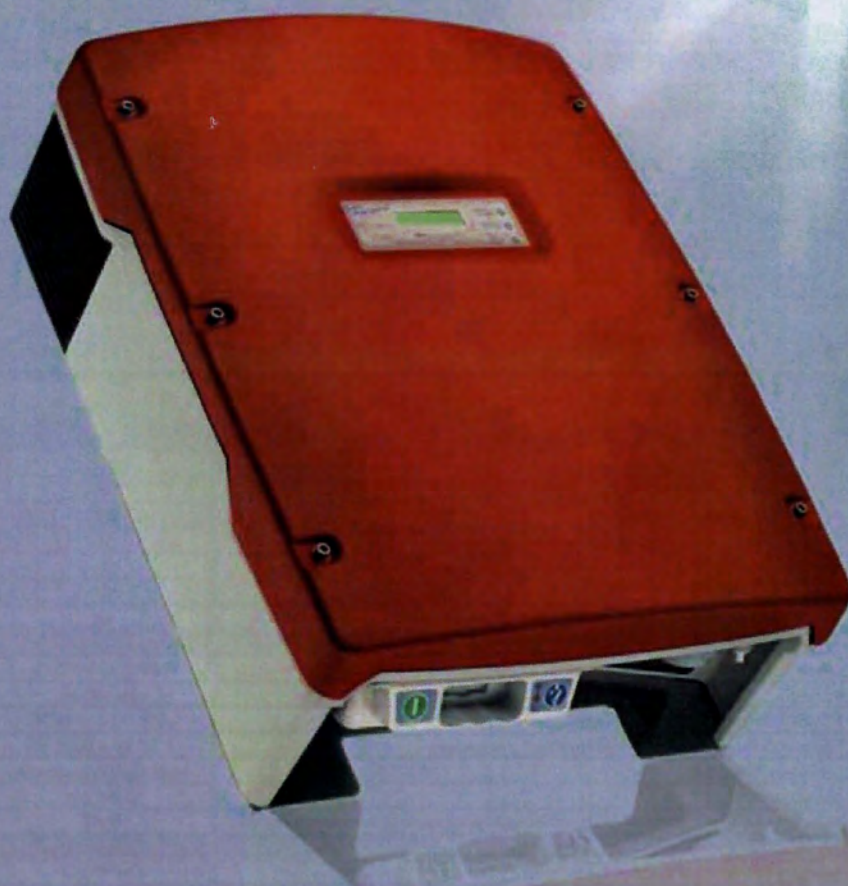
¹ Standard Test Conditions defined as follows: 1,000W/m² radiant power at a spectral density of AM 1.5 (ASTM E892), cell temperature of 25°C.

Available from:

SMC 9000TL / 10000TL / 11000TL



- > Βαθμός απόδοσης > 98 %
- > Με το σύστημα ανίχνευσης σφάλματος ρεύματος ισχύος OptiTrac-MPP, έχετε τον βέλτιστο βαθμό απόδοσης
- > Ιδιαίτερα αποδοτικό σύστημα ψύξης OptiCool
- > Χωρίς μετασχηματιστή
- > Ενσωματωμένος διακόπτης απόζευξης DC ESS
- > Παγκόσμια υπηρεσία εξυπηρέτησης και γραμμή επικοινωνίας της SMA
- > Για εξωτερική και εσωτερική τοποθέτηση
- > Συνδυάζεται ιδανικά με SMC 6000TL, 7000TL και 8000TL



SUNNY MINI CENTRAL

Κανείς δεν κάνει ταχύτερη απόσβεση

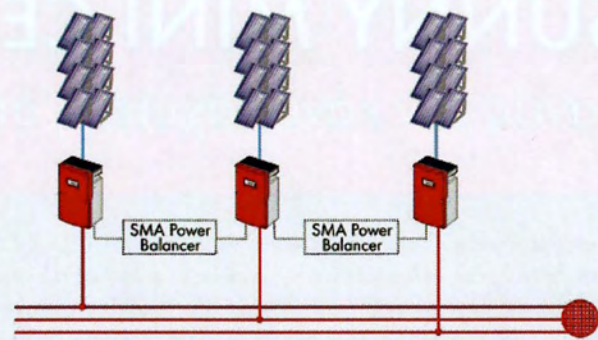
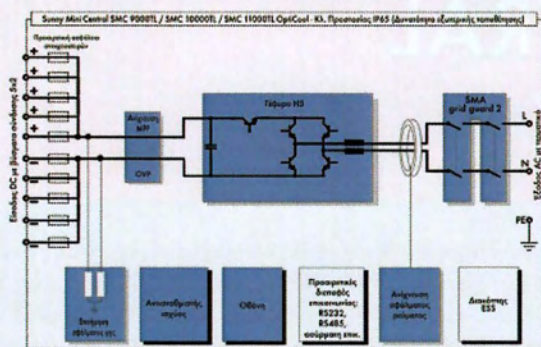
Με τους μετατροπείς Sunny Mini Central 9000TL, 10000TL και 11000TL, η SMA διεύρυνε την κορυφαία κατηγορία της κατά τρεις συσκευές. Εξοπλισμένοι με τις δοκιμασμένες τεχνολογίες τοπολογίας H5 και τον ηλεκτρονικό διακόπτη απόζευξης φορτίου DC ESS, αυτή η οικογένεια προϊόντων προσφέρει τώρα διαβαθμισμένες με ακρίβεια κατηγορίες ισχύος από 6 έως 11 kW. Το ευρύ αυτό φάσμα ισχύος μέσα σε ένα συμπαγές κέλυφος διελασμένου αλουμινίου επιτυγχάνεται χάρη στον εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης (πάνω από 98 %), τη δυνατότητα ρύθμισης για ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος OptiTrac-MPP και την τεχνολογία ψύξης OptiCool. Οι συσκευές διαθέτουν τον πρωτοποριακό σχεδιασμό Power Balancer για τη συμμετροποίηση της τροφοδοτούμενης ισχύος, είναι οι ιδανικές για χρήση σε μεγάλες μονάδες παραγωγής φωτοβολταϊκής ενέργειας, ισχύος από 20 kW έως μερικές εκατοντάδες κιλοβάτ. Ο εκπληκτικός βαθμός απόδοσης, η χαμηλή ειδική τιμή και, επιπλέον, η δυνατότητα τοποθέτησης κοντά στη γεννήτρια, αποτελούν ένα μοναδικό συνδυασμό ο οποίος αποδίδει με κάθε ακτίνα του ήλιου.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Mini Central 9000TL / 10000TL / 11000TL

	SMC 9000TL	SMC 10000TL	SMC 11000TL
Είσοδος (DC)			
Μέγ. ισχύς DC	9300 W	10350 W	11400 W
Μέγ. τάση DC	700 V	700 V	700 V
Περιοχή φωτοβολταϊκής τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (μέσω ανιχνευτή MPP)	333 V - 500 V	333 V - 500 V	333 V - 500 V
Μέγ. ρεύμα εισόδου	29 A	32 A	35 A
Αριθμός ανιχνευτών σημείου μέγιστης ισχύος MPP-Tracker	1	1	1
Μέγ. αριθμός στοιχειοσειρών (σε παράλληλη σύνδεση)	5	5	5
Έξοδος (AC)			
Ονομαστική ισχύς AC	9000 W	10000 W	11000 W
Μέγ. ισχύς AC	9000 W	10000 W	11000 W
Μέγ. ρεύμα εξόδου	40 A	44 A	48 A
Ονομαστική τάση / Περιοχή τάσεων AC	220V - 240V / 180V - 260V	220V - 240V / 180V - 260V	220V - 240V / 180V - 260V
Συχνότητα δικτύου AC (αυτορυθμιζόμενη) / Περιοχή	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	1	1	1
Σύνδεση AC / Αντιστάθμιση ισχύος	μονοφασικό / ●	μονοφασικό / ●	μονοφασικό / ●
Βαθμός απόδοσης			
Μέγ. βαθμός απόδοσης	98,1 %	98,1 %	98,1 %
ημερο	97,7 %	97,7 %	97,7 %
Συστήματα προστασίας			
Προστασία αντιστροφής πόλων DC	●	●	●
Ενσωματωμένος διακόπτης ESS απόζευξης φορτίου DC	●	●	●
Ανοχή σε βραχυκύκλωμα AC	●	●	●
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος γης	●	●	●
Επιτηρούμενες ασφάλειες στοιχειοσειρών	○	○	○
Επιτήρηση δικτύου (SMA grid guard)	●	●	●
Ενσωματωμένη διάταξη προστασίας από σφάλματα ρεύματος RCD ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα	●	●	●
Γενικά χαρακτηριστικά			
Διαστάσεις (Πλάτος / Ύψος / Βάθος) σε mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Βάρος	περ. 40 kg	περ. 40 kg	περ. 40 kg
Περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Ίδια κατανάλωση: Λειτουργία (Αναμονής) / νυχτερινή	< 10 W / 0,25 W	< 10 W / 0,25 W	< 10 W / 0,25 W
Τοπολογικά στοιχεία	χωρίς μετασχηματιστή	χωρίς μετασχηματιστή	χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Τύπος συναρμολόγησης: εσωτερικά / εξωτερικά (ηλεκτρονικά συστήματα με κλάση προστασίας IP65)	●/●	●/●	●/●
Εξοπλισμός			
Σύνδεση DC: MC3 / MC4 / Tyco	○/●/○	○/●/○	○/●/○
Σύνδεση AC: Βιδωτό βύσμα	●	●	●
Οθόνη LCD	●	●	●
Διεπαφές: RS232 / RS485 / ασύρματη	○/○/○	○/○/○	○/○/○
Εγγύηση: 5 έτη / 10 έτη	●/○	●/○	●/○
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις	www.SMA-Hellas.com	www.SMA-Hellas.com	www.SMA-Hellas.com

● Βασικός εξοπλισμός ○ Προαιρετικά

Τα στοιχεία ισχύουν υπό ονομαστικές συνθήκες (προσωρινά στοιχεία, Έκδοση Ιουλίου 2007)



SMC 9000TL, 10000TL, 11000TL 8C3807 SMA OptiCool με grid guard αποτελείται από εγκαταστάσεις της SMA Technologie AG. Τα στοιχεία και οι κωδικοί αναφέρονται στο τεχνολογικό δελτίο της εγκατάστασης της SMA Technologie AG. Τα στοιχεία και οι κωδικοί αναφέρονται στο τεχνολογικό δελτίο της εγκατάστασης της SMA Technologie AG. Τα στοιχεία και οι κωδικοί αναφέρονται στο τεχνολογικό δελτίο της εγκατάστασης της SMA Technologie AG.



ΔΙΑΞΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΤΗΣ ΒΑΣΗΣ "ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ"

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ-1	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ-3	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ-4
Δυνατότητα αυτόματης κίνησης και στους δύο άξονες	OXI	NAI	NAI
Δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής σε περίπτωση θύελλας	NAI (ΣΕ ΕΝΑΝ ΑΞΟΝΑ)	NAI	NAI
Δυνατότητα για πάνελ	12 m ²	26 m ²	30 m ²
Διαστάσεις επιφάνειας στήριξης πάνελ	3 x 4 m	4,3 x 6,2 m	5,0 x 6,0 m
Περιστροφή του συστήματος	ΜΕ ΚΟΧΛΙΑ	ΜΕ ΚΟΧΛΙΑ	ΜΕ ΚΟΧΛΙΑ
Τρόπος προσανατολισμού στον ήλιο	ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΟ PLC ΑΝΑ ΠΑΡΚΟ	ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΟ PLC ΑΝΑ ΠΑΡΚΟ	ΜΕ ΚΕΝΤΡΙΚΟ PLC ΑΝΑ ΠΑΡΚΟ
Μέγιστο ύψος	3,7 m	4,5 m	5,5 m
Βάρος επιφάνειας στήριξης πάνελ	278 kgr	626 kgr	750 kgr
Συνολικό βάρος	358 kgr	710 kgr	834 kgr
Ονομαστική ισχύς τριφασικών κινητήρων	0,09 Kw	2 x 0,09 Kw	2 x 0,09 Kw
Αντοχή σε ανέμους	150 km/h	150 km/h	150 km/h
Ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανα τράκερ	10 KWh	12 KWh	12 KWh
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20 εως +70 °C	-20 εως +70 °C	-20 εως +70 °C

	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ-1	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ-3	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ-4
Στατική επίλυση σύμφωνα με τον ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Έχει προσομοιωθεί η λειτουργία του για διάστημα	30 ΧΡΟΝΩΝ	20 ΧΡΟΝΩΝ	20 ΧΡΟΝΩΝ
Γαλβάνισμα εν θερμώ ή άλλη ισοδύναμη αντοχής επιμετάλωση του συνόλου του τράκερ πλην των μηχανισμών	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Απαιτούμενη συντήρηση	ΓΡΑΣΣΑΡΙΣΜΑ ΣΤΟΝ ΚΟΧΛΙΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΡΑΚΕΡ	ΓΡΑΣΣΑΡΙΣΜΑ ΣΤΟΝ ΚΟΧΛΙΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΡΑΚΕΡ	ΓΡΑΣΣΑΡΙΣΜΑ ΣΤΟΝ ΚΟΧΛΙΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΑΡΘΡΩΣΕΙΣ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΡΑΚΕΡ
Δυνατότητα ενημέρωσης βλαβών και απόδοσης μέσω SMS	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Δυνατότητα εγγύησης 20 ετών	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Δυνατότητα αποζημίωσης για απώλεια κερδών	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

ΠΡΟΤΥΠΑ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ

- ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 3/1.1,1.5 για τις Στατικές Φορτίσεις και ο Ελληνικός Αντισεισμικός ΕΑΚ 2000 (τροπ. ΦΕΚ Β' 781/18.06.2003) για τις Σεισμικές.
- Κανονισμός για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα (Ε.Κ.Ω.Σ. : ΦΕΚ 1329 Β 6.11.2000).
- CENELEC HD 21.1, HD 21.2 και HD 21.3
- CENELEC HD 383 και ELOT 563.3
- ISO 6722 και ISO 4892-2
- IEC 60332-1 και UL94-V0
- EN 50081-2: 1993 και EN 50082-2: 1995
- VDE 0160: 1998 (EN 50178: 1995)
- EN 61131-2: 1995



ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΒΑΣΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ
ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Το *Ηλιοτρόπιο* είναι ένα διαξονικό σύστημα παρακολούθησης της Πορείας του Ήλιου. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε την κάθετη πρόσπτωση των ακτίνων του ήλιου στους συλλέκτες τις περισσότερες ώρες της ημέρας.

Η αύξηση της παραγωγής ξεπερνάει το 45% σε ημερήσια βάση σύμφωνα με μετρήσεις που έχουν γίνει και από την Εταιρεία μας την Περίοδο 2006 - 2009 στις περιοχές της Θεσσαλονίκης και της Κατερίνης. Η παρακολούθηση του ορίζοντα από το σύστημα γίνεται με PLC, στο οποίο επάνω εσείς μπορείτε να προσθέσετε επιπλέον Συναγερμό, Πυρασφάλεια κλπ.

Γιατί << ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ >> ;

- Διαθέτει τριφασικό κινητήρα στεγανό σε συνθήκες θερμοκρασίας από -20 έως +70 °C.
- Η διάρκεια κίνησης του κινητήρα σε ένα εικοσιτετράωρο είναι είκοσι με τριάντα λεπτά (20 – 30 min) και η ετήσια κατανάλωση σε ηλεκτρισμό είναι μόνο 10 KWH.
- Η συντήρηση του είναι ελάχιστη.

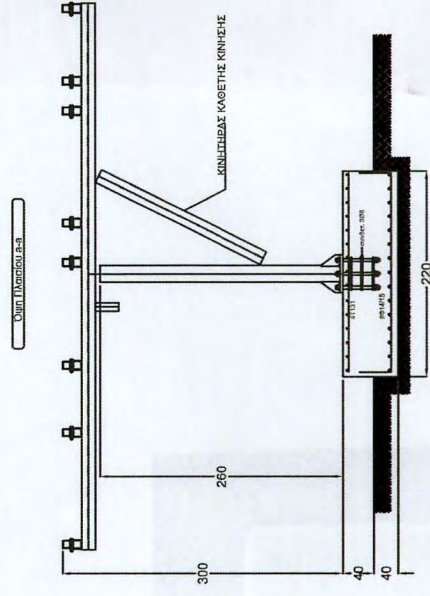
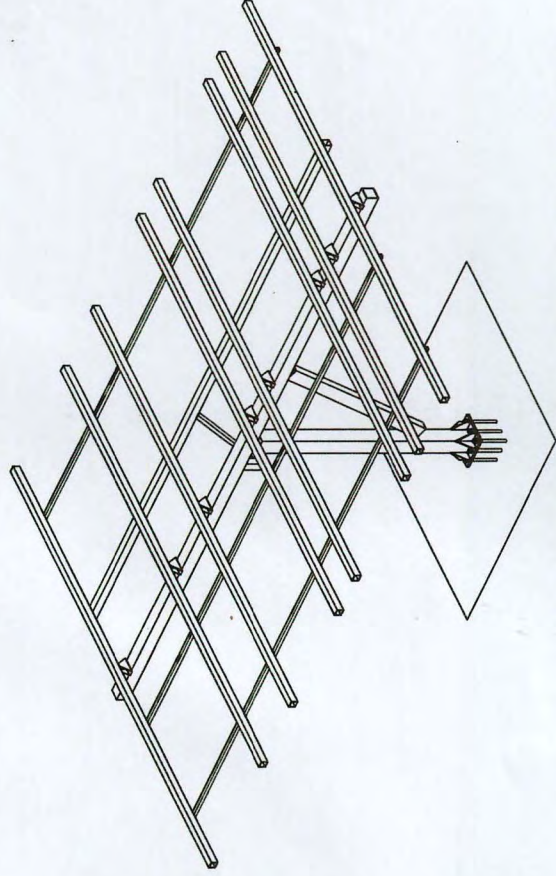
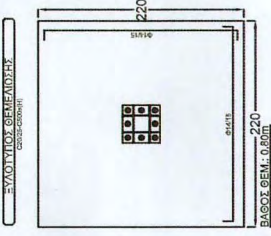
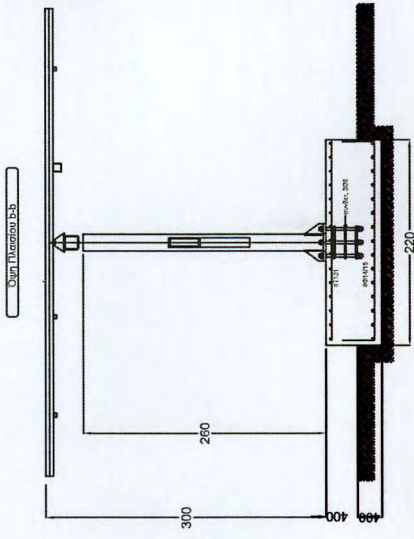
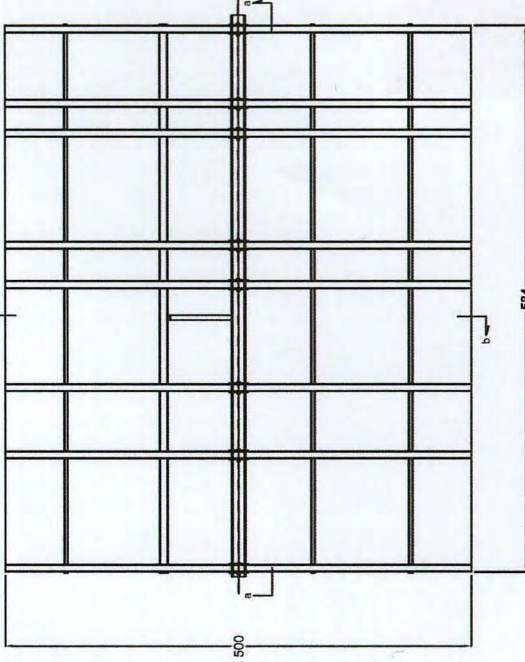
- Τα υλικά κατασκευής του μεταλλικού μέρους είναι γαλβανισμένα εν θερμώ ή έχουν κατάλληλη ειδική επικάλυψη.
- Η όλη κατασκευή είναι υπολογισμένη ώστε να αντέχει σε ανέμους που υπερβαίνουν τα 150 Km/h. Η κατασκευή είναι βασισμένη στις απαιτήσεις του ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ.
- Όλα τα μέρη του έχουν δοκιμαστεί σε συνθήκες τεχνητής γήρανσης για 20 και πλέον χρόνια και έχει προσομοιωθεί η λειτουργία του για 30 χρόνια συνεχής λειτουργίας.
- Έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί τον άνεμο και να δίνει εντολές για τροποποίηση της κλίσης σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων (Οριζοντιοποίηση).
- Το PLC έχει τη Δυνατότητα να στέλνει μήνυμα SMS στο κινητό σας, αν το επιθυμείτε, όταν αντιληφθεί διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος ή μείωση απόδοσης σε όλο το πάρκο ή σε μέρος αυτού.
- Δίνεται εγγύηση 20 χρόνων καθώς και εγγύηση απώλειας κερδών για συμφωνημένη χρονική περίοδο, κατόπιν συμφωνίας.

ΓΙΑΤΙ ΤΟ ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΕ ΚΑΤΑ ΒΑΣΗ ΓΙΑ ΜΙΚΡΑ ΠΑΡΚΑ, ΜΕΧΡΙ 150 KW, ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ Ο ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ ΤΟΥ ΧΩΡΙΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΘΑ ΧΕΙΡΙΖΕΤΑΙ ΤΑ “ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΑ” ΤΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΑΤΗΜΑ ΔΥΟ ΜΟΝΟ ΚΟΥΜΠΙΩΝ, ΕΝΩ ΘΑ ΕΙΝΑΙ ΣΕ ΘΕΣΗ ΝΑ ΤΑ ΣΥΝΤΗΡΕΙ ΜΟΝΟΣ ΤΟΥ.

ΑΠΛΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΙΒΑΡΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

ΕΥΚΟΛΙΑ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

ΕΓΓΥΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ



ΜΕΛΕΤ. ΣΧΕΔ. ΕΛΕΓΘΗ ΜΟΝΑΔΑ	ΗΜΕΡΟΜ. ΥΠΟΓΡΑΦΗ	ΑΜΜΑΤΑ		
7-4-2010	ΜΗΤΖΙΑΣ Θ.	a	b	c
ΚΛΙΜΑΞ 1:1	ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΟ - 4	Αντικαθιστά το - ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ		



ΕΥΒΕΛΛΗ

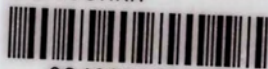


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210 06300 - 1



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000106337