



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο νέο κτίριο των
Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ.Π.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Ι. ΜΑΝΙΚΗ

Επιβλέπων : Καβατζά Σταυρούλα

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο νέο
κτίριο των Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ.Π.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Ι. ΜΑΝΙΚΗ

Επιβλέπων : Καβατζά Σταυρούλα

Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Ιουλίου 2012.

.....
Καβατζά Σταυρούλα
Λέκτορας
Ε.Μ.Πολυτεχνείου

.....
Καραγιαννόπουλος
Κωνσταντίνος
Καθηγητής
Ε.Μ.Πολυτεχνείου

.....
Τσαραμπάρης
Παναγιώτης
Λέκτορας
Ε.Μ.Πολυτεχνείου

Αθήνα, Ιούλιος 2012

.....
Κωνσταντίνα Ι. Μανίκη

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

Copyright © Κωνσταντίνα Ι. Μανίκη, 2012.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Πρόλογος

Οι ανάγκες για ανταγωνιστικότητα, προστασία του περιβάλλοντος και ασφάλεια στην παροχή ενέργειας, είναι οι άξονες πάνω στους οποίους διαμορφώνεται η σύγχρονη ενεργειακή πολιτική των ευρωπαϊκών – και όχι μόνο – χωρών.

Για την κάλυψη των αναγκών αυτών, τα τελευταία χρόνια, έχει αναπτυχθεί πολύ η χρήση των ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας). Υπάρχει μια γενικότερη κινητοποίηση από κυβερνήσεις και από οργανωμένες ομάδες προς αυτήν την κατεύθυνση. Γενικά, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ή Ήπιες μορφές ενέργειας, είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας, που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος κ.ά.. Η ανάγκη χρήσης τους τα τελευταία χρόνια κρίνεται επιτακτική λόγω της έντονης κλιματικής αλλαγής, του φαινομένου του θερμοκηπίου και της μείωσης των ορυκτών καυσίμων. Ο πιο πρόσφατος ευρωπαϊκός στόχος προς αυτήν την κατεύθυνση, συνοψίζεται στο περίφημο “20-20-20”, το οποίο στοχεύει σε 20% μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, 20% αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και 20% διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, μέχρι το 2020.

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να οδηγήσει στην επίτευξη αυτών των στόχων. Είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική πρόταση για την παραγωγή καθαρής ενέργειας, ώστε να μπορεί να καλυφθεί μέρος των ενεργειακών αναγκών και απαιτήσεων σε ηλεκτρισμό. Στη συγκεκριμένη εργασία, θέλουμε να μελετήσουμε κατά πόσο μπορεί να επιτευχθεί ενεργειακή αυτονομία αρχικά ενός κτιρίου και κατ' επέκταση ολόκληρου του πανεπιστημίου. Υπάρχει ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας, εξοικονόμηση ενεργειακού κόστους, προστασία του περιβάλλοντος με χρήση καθόλου ή μειωμένου καυσίμου και τέλος αποκόμιση οικονομικού οφέλους από την πώληση ενεργειακών μονάδων. Τελικά, το πρόβλημα που ανακύπτει και πρέπει να αντιμετωπιστεί, είναι πώς το πανεπιστήμιο θα επιβαρύνεται με μικρότερο κόστος ενέργειας, συμβάλλοντας στον ενεργειακό σχεδιασμό του κράτους και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Ευχαριστίες

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

Την επιβλέπουσά μου, κυρία Σταυρούλα Καβατζά, για την βοήθεια , την άριστη καθοδήγηση και την συμπαράσταση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Την οικογένειά μου, για την αδιάκοπη αγάπη και την αμέριστη υποστήριξη, ηθική και υλική, που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια και συνεχίζει να μου παρέχει. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο μου Κεκάτο Νικόλαο για την υποστήριξη αυτούς τους τελευταίους 6 μήνες.

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος	1
Ευχαριστίες	2
Περίληψη	7
Abstract	9
Κεφάλαιο 1^ο:Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	11
1.1 Η κλιματική αλλαγή	13
1.2 Το πρωτόκολλο του Κιότο	14
1.4 Σύνοδος Κοπεγχάγης	16
1.5 Ευρωπαϊκή Δράση	17
1.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	19
1.6.1. Πλεονεκτήματα	19
1.6.2 Μειονεκτήματα	20
1.7 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).....	20
1.7.1. Ηλιακή ενέργεια.....	20
1.7.2. Γεωθερμία	22
1.7.3. Βιομάζα	22
1.7.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	23
1.7.5. Ενέργεια ωκεανών	23
1.7.6. Αιολική ενέργεια	24
1.8 ΑΠΕ & Αγροτικές Περιοχές	25
Κεφάλαιο 2^ο : Ηλιακή Ενέργεια	27
2.1 Ηλιακή Ενέργεια	29
2.2 Η Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο	30
2.3 Βασικά στοιχεία της ηλιακής γεωμετρίας.....	31
2.4 Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας	35
2.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία	38
Κεφάλαιο 3^ο: Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία.....	41
3.1 Ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	43
3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	44
3.3 Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί.....	48
3.3.1 Ημιαγωγοί	49

3.4 Υλικά και Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών Στοιχείων	50
3.4.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si).....	50
3.4.2 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)	54
3.4.3 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).....	55
3.4.4 Κελιά χαλκού-Ινδίου/Γαλλίου- Δισεληνιούχου	55
3.4.5. Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία	56
3.4.6. Άλλες τεχνολογίες.....	56
3.4.7. Συγκεντρωτικό για όλες τεχνολογίες.....	57
3.5 Φωτοβολταϊκή Γεννήτρια	61
3.5.1. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV Module)	61
3.5.2. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	62
3.5.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	63
3.6 Βασική λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος	65
3.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	66
3.8 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον.....	68
3.9 Περιβαλλοντικά οφέλη.....	69
3.10 Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα	69
Κεφάλαιο 4^ο: Φωτοβολταϊκό Σύστημα	71
4.1. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων	73
4.2 Τρόποι Στήριξης Φ/Β πάνελ.....	76
4.2.1. Σταθερές Βάσεις	77
4.2.2. Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (trackers)	86
4.2.3 Κριτική και γενικά συμπεράσματα για τους ηλιακούς ιχνηλάτες (solar trackers)	88
4.3 Σκίαση.....	90
4.4 Αντιστροφείς (inverters)	91
4.4.1 Η χρήση του μετασχηματιστή στους αντιστροφείς	92
4.4.2 Οικογένειες αντιστροφέων.....	94
4.4.3 Σημαντικοί παράμετροι λειτουργίας	97
4.5 Καλωδιώσεις.....	105
4.6. Υποσταθμοί Μέσης Τάσης	107
4.6.1. Υπολογισμός μέσων προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση.....	109

4.6.2. Είδη παροχών μέσης τάσης από τη ΔΕΗ	110
4.7 Γειώσεις	111
Κεφάλαιο 5^ο: Νομοθεσία- Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	113
5.1 Εισαγωγή.....	115
5.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα έως 10 ΚWp σε Στέγες Κτιρίων	116
5.2.1 Οικιακοί Παραγωγοί.....	117
5.2.2. Μικρές Επιχειρήσεις	118
5.3 Διαδικασία σύνδεσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης για φωτοβολταϊκά 10 ΚWp σε Στέγες Κτιρίων	119
5.3.1 Αίτηση προς Δ.Ε.Η. Α.Ε. (Τοπική Υπηρεσία, Περιοχή)	119
5.4. Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές & Εμπορικές Στέγες (>10kWp). 121	
5.4.1. Μονάδες Δυναμικότητας από 10 kWp έως 100 kWp	121
5.4.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 100 kWp έως 1000 kWp.....	122
5.4.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp.....	122
5.5 Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί Εδάφους	122
5.5.1. Μονάδες Δυναμικότητας.....	123
5.5.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα για Αγρότες.....	127
5.6 Μη διασυνδεδεμένα Νησιά	127
5.7 Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας	130
Κεφάλαιο 6^ο: Βασικοί οικονομικοί παράμετροι	131
6.1. Εισαγωγή.....	133
6.2. Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων	133
6.3 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων για ενεργειακά συστήματα....	135
6.3.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV- Net Present Value)	135
6.3.2. Κριτήριο του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR / ROI – Internal rate of Return / Return on Investment)	137
6.3.3. Κριτήριο της περιόδου αποπληρωμής ή ανάκτησης της επένδυσης.....	137
6.3.4. Λόγος οφέλους κόστους (BCR- Benefit to Cost Ratio)	139
Κεφάλαιο 7^ο: Μελέτη Εγκατάστασης	141
7.1. Το κτίριο και ο περιβάλλον χώρος.....	143
7.2 Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής	147
7.2.1. Εισαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων στο PVsyst.....	150
7.3 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίων.....	152
7.4. Διάταξη των Φ/Β πλαισίων	153
7.5. Υπολογισμός ηλιακής ενέργειας	156

7.6 Επιλογή Φ/Β πλαισίων	161
7.7 Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων	164
7.8 Μελέτη μηχανικής αντοχής	175
7.9 Διαστασιολόγηση Διασυνδεδεμένου συστήματος	178
7.10. Ανάλυση κόστους διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος	189
7.10.1 Ανάλυση εσόδων και τρόπου χρηματοδότησης.....	192
7.10.2. Υπολογισμός Οικονομικών κριτηρίων αξιολόγησης.....	198
Κεφάλαιο 8^ο: Αυτόνομο Σύστημα.....	201
8.1 Διαστασιολόγηση Αυτόνομου συστήματος	203
8.1.1 Διαστασιολόγηση Αυτόνομου συστήματος με το PVsyst.....	207
Κεφάλαιο 9^ο: Συμπεράσματα	217
Κεφάλαιο 10^ο:Βιβλιογραφία	223
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	227

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματική εργασίας είναι η διερεύνηση της βιωσιμότητας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στο νέο κτίριο του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ουσιαστικά, θα μελετηθεί και θα υπολογιστεί το πιθανό οικονομικό κέρδος που μπορεί να έχει το πανεπιστήμιο μέσα από την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται με πληρότητα οι κανονισμοί που διέπουν την αγορά των φωτοβολταϊκών, καθώς και τα κίνητρα και εμπόδια που εμφανίζονται σε τέτοιου είδους επενδύσεις λόγω του υπάρχοντος θεσμικού πλαισίου. Γίνεται αναφορά στις διεθνείς συμφωνίες (π.χ. πρωτόκολλο Κιότο) που προωθούν την ανάπτυξη των ΑΠΕ σε παγκόσμια κλίμακα και εν συνεχεία αναλύονται οι αξιοσημείωτες δράσεις και οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα αυτόν. Επίσης, παρουσιάζονται με σαφήνεια τόσο η τρέχουσα κατάσταση της αγοράς στην Ελλάδα, όσο και οι στόχοι και οι πολιτικές για το μέλλον.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται λεπτομερώς η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γή και οι εξισώσεις που προσδιορίζουν φαινόμενη κίνηση του ήλιου στον ουράνιο θόλο. Αναφέρονται τα βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη θέση του τόπου και την ηλιακή γεωμετρία. Ακόμη, αναφέρονται οι τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας και οι παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και επιχειρείται μια περιγραφή των σπουδαιότερων υλικών και τεχνολογιών κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ακόμα αναλύονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων και οι σημαντικότεροι παράγοντες που τα επηρεάζουν. Περιγράφεται αναλυτικά η βασική λειτουργία ενός φ/β συστήματος. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, πως επηρεάζουν το περιβάλλον σήμερα καθώς και οι παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή και ανάλυση των επιμέρους στοιχείων, που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Ακόμη, αναφέρονται τα θεμελιώδη στοιχεία που αφορούν τους τρόπους στήριξης των φ/β πάνελ, τους αντιστροφείς, τις καλωδιώσεις, τους υποσταθμούς μέσης τάσης, τα μέσα προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση και τις γειώσεις.

Στο κεφάλαιο πέντε παρουσιάζεται αναλυτικά το νομοθετικό, αδειοδοτικό και οικονομικό πλαίσιο που αφορά τις εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα.

Στο έκτο κεφάλαιο, εξηγούνται βασικές οικονομικές έννοιες και δίνονται τρόποι αξιολόγησης μια επένδυσης.

Στο κεφάλαιο επτά, με χρήση του προγράμματος PVsyst, παρουσιάζεται μία οικονομοτεχνική μελέτη σχεδίασης και εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού στο νέο κτίριο των Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ.Π.

Στο κεφάλαιο οκτώ γίνεται η μελέτη εγκατάστασης του αυτόνομου φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο νέο κτίριο των Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ.Π.,

Στο κεφάλαιο εννιά παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την εργασία.

Λέξεις κλειδιά: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, μελέτη βιωσιμότητας, διασυνδεδεμένο σύστημα, αυτόνομο σύστημα, θεσμικό πλαίσιο

Abstract

“Sustainability design and feasibility of a photovoltaic power station installation for the coverage of energy needs at new building of Engineering and Computer Science, N.T.U.A.”

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

The main purpose of this thesis is to assess the sustainability of a photovoltaic power station at the new building of Engineering and Computer Science, N.T.U.A. In particular, the objective of this study is to present the possible financial benefits that can be drawn and estimated through the successful installation of the specific photovoltaic system.

In the first chapter, I present the regulations governing the PV market, and the incentives and barriers appearing in such investments because of the existing institutional frame. I refer to international agreements (i.e. protocol Kyoto) which promote the development of renewable energy worldwide and then I analyze the remarkable actions and objectives of the European Union in this field. Also, I present clearly both the current market situation in Greece, and the objectives and policies of the future.

In the second chapter, I analyze in detail the solar radiation reaching the Earth and the equations that determine the sun's apparent motion in the sky. I mention the fundamental points that characterize the location of the place and the solar geometry. Also, I indicate how transmission of solar radiation and the factors affecting the incoming radiation.

In the third chapter, there is a detailed analysis of the photovoltaic phenomenon and attempt of a description of the main materials and photovoltaic manufacturing technologies. Also, we analyze electrical characteristics of the PV data and the most important factors affect them. There are details of the basic operation of PV systems. Indicate the advantages and disadvantages of solar systems, how they affect the environment today and the factors that contribute to the development of photovoltaic in Greece.

The fourth chapter gives a description and analysis of individual elements, which form a photovoltaic system. Also, I mention the key points of the PV panels, inverters, wiring, MV substations, protection means in the medium and low voltage and grounding.

In chapter five, I show in detail the legislative, economic and regulatory framework related to solar energy in Greece.

In chapter six, I explain basic economic concepts and ways of evaluating a given investment.

In chapter seven, using the program PVsyst, I present a feasibility study, design and establishment of a solar power grid in the new building of the NTUA.

In the chapter eight, there is a study of installation of an autonomous PV power station in the new building of the NTUA.

In the chapter nine, I present the conclusions that have been drawn through the present project.

Keywords: Photovoltaic installation, Sustainability design, PVsyst, autonomous system, economical study,

Κεφάλαιο 1^ο:

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Η κλιματική αλλαγή

Κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, δισεκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) καθώς και των άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αλλάζοντας τη σύσταση των αερίων που παρέμενε σταθερή για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ανατροπή αυτή αναμένεται να αλλάξει δραστικά το κλίμα τις επρχόμενες δεκαετίες. Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται υπεύθυνο για το 50% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας. Σε λιγότερο από 2 αιώνες, αυξήσαμε κατά 25% την συνολική ποσότητα CO₂ της ατμόσφαιρας. Κάθε χρόνο επιβαρύνουμε την ατμόσφαιρα με 6 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα ανέβει τα επόμενα 100 χρόνια από 2 έως 6 βαθμούς Celsius.

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης της γης δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλα τα μήκη και τα πλάτη. Πρόσφατες έρευνες σε Αμερική και Ευρώπη δείχνουν ότι κάτω από τις συνθήκες αυτές προβληματικά, κλιματολογικά φαινόμενα, όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες, το el Nino και άλλα, αναμένονται να εμφανίζονται πιο συχνά. Οι σίγουρες συνέπειες της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι:

1. Η μείωση στα αποθέματα νερού
2. Οι απότομες μεταβολές στη θερμοκρασία του πλανήτη
3. Οι υψηλές θερμοκρασίες στην θερινή περίοδο
4. Η είσοδος των θαλάσσιων υδάτων στον παράκτιο υδροφόρο ορίζοντα και η υποβάθμισή του.
5. Οι σημαντικές μετακινήσεις πληθυσμού και αγαθών.
6. Η δραματική μείωση του αριθμού των ειδών.

Η αλλαγή του κλίματος αμφισβητήθηκε στο παρελθόν και σε όποιες προσπάθειες για την έγκαιρη αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού αντέδρασαν λόγω ισχυρών συμφερόντων. Πλέον, όμως, αυτή η πραγματικότητα είναι αδιαμφισβήτητη, καθώς οι συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ήδη πραγματικότητα. Την τελευταία δεκαετία εκδηλώθηκαν τρεις φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές-κυρίως πλημμύρες και τυφώνες- στον κόσμο από ότι την δεκαετία του 60, ενώ τετραπλασιάστηκε το κόστος των καταστροφών από παρόμοια φαινόμενα.

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με την καύση λιγνίτη, λιθάνθρακα, πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων, ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος της περιβαλλοντικής κρίσης, προκαλώντας αλόγιστη ρύπανση στον αέρα, το έδαφος, το υπέδαφος, τον υδροφόρο ορίζοντα αλλά και την υγεία των πολιτών. Στην Ευρώπη, οι πιο ρυπογόνοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν στην Ελλάδα, στην Γερμανία, στην Πολωνία και στην Ισπανία.

1.2 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Σημαντικό καρπύ των προσπαθειών που συντελέστηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο για την προστασία του περιβάλλοντος και κατ επέκταση την προώθηση των ΑΠΕ αποτέλεσε το Πρωτόκολλο του Κιότο, που υπογράφηκε στις 10/12/1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας αλλά τέθηκε σε ισχύ πολύ αργότερα, στις 16/02/2005 μετά την επικύρωση του και από τη Ρωσία. Το πρωτόκολλο συμφωνήθηκε από το τρίτο conference of the parties. Πρόκειται για διεθνή συμφωνία που δεσμεύει νομικά τις ανεπτυγμένες χώρες να μειώσουν τις εκπομπές των 6 αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 5% σε σχέση με τις εκπομπές του 1990, με καθορισμένα ποσοστά για κάθε χώρα, κατά την περίοδο 2008-2012.

Συγκεκριμένα, οι αναπτυσσόμενες χώρες δεν έχουν ποσοτικοποιημένους στόχους, ενώ ο στόχος για τις ΗΠΑ είναι μείωση κατά 7% και για την Ευρώπη 8%. Στο Πρωτόκολλο λοιπόν εγκαθιδρύει ένα νομικό πλαίσιο για την παγκόσμια πολιτική πάνω στο κλίμα. Συνεπώς μέσω των περιορισμών που επιβάλλει, προωθεί ουσιαστικά τη χρησιμοποίηση ΑΠΕ και την κατασκευή των απαραίτητων για αυτές τεχνολογικών εξοπλισμών, αφού μόνο έτσι θα καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες ενώ ταυτόχρονα θα επιτευχθεί και ο στόχος της μείωσης εκπομπών.

Η υλοποίηση του Πρωτοκόλλου επιχειρείται με τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

❖ **Εμπορία εκπομπών**

Μία βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα που έχει μειώσει τις εκπομπές της πέραν των αρχικών στόχων που προβλέπει το Πρωτόκολλο, μπορεί να “πουλήσει” αυτή την επιπλέον μείωση σε άλλη χώρα που αντιμετωπίζει δυσκολίες στο να πετύχει το στόχο της.

❖ **Δημιουργία ενός “Μηχανισμού Καθαρής Ανάπτυξης”**

Ο τελικός στόχος αυτού του μηχανισμού είναι οι αναπτυσσόμενες χώρες να αναπτύξουν καθαρές τεχνολογίες για να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης παρέχει κίνητρα έτσι ώστε οι βιομηχανικά αναπτυγμένες χώρες να χρησιμοδοτήσουν προγράμματα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες χώρες. Έτσι, μια βιομηχανικά αναπτυγμένη χώρα, αντί να μειώσει τις δικές της εκπομπές, μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών σε κάποια φτωχότερη χώρα όπου η μείωση αυτή είναι ευκολότερη και φθηνότερη.

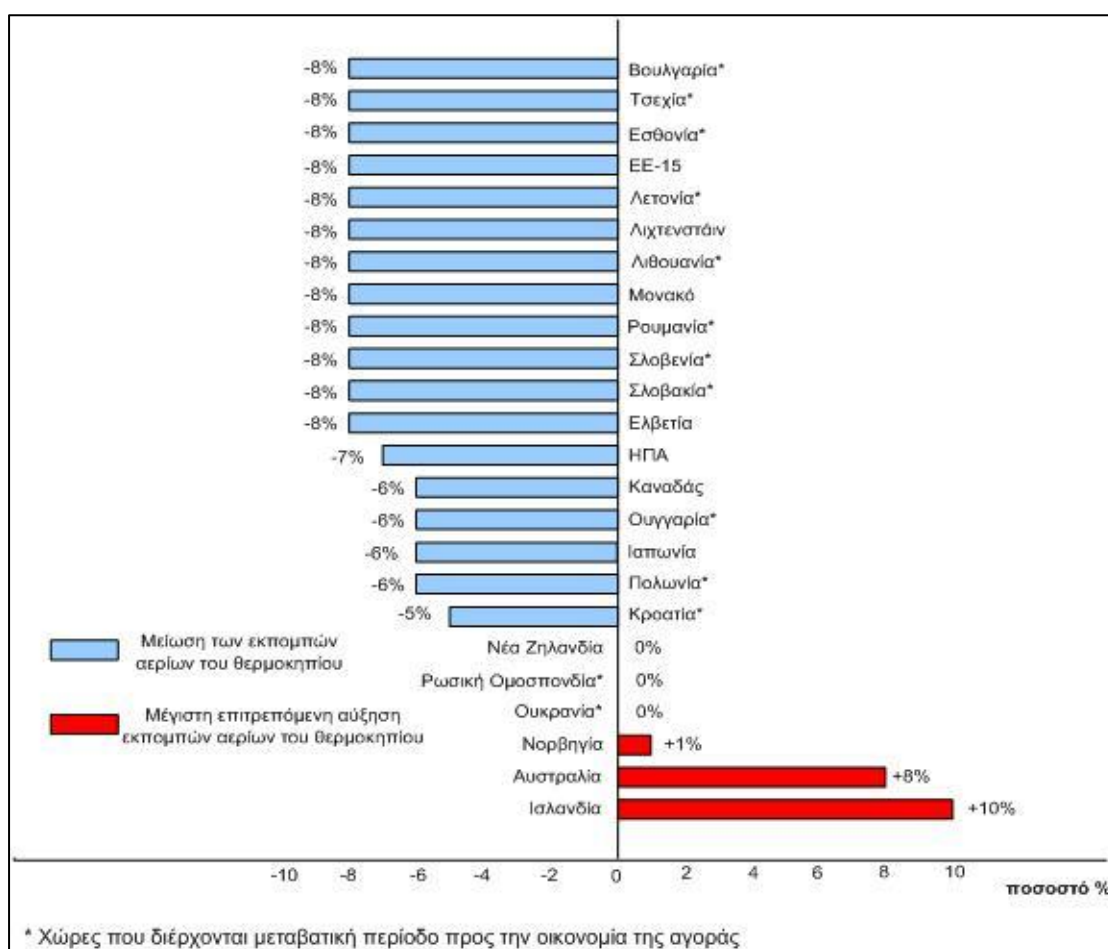
❖ **Από κοινού υλοποίηση**

Παρεμφερές εργαλείο με τον Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης. Σε αντίθεση όμως μ' αυτόν αφορά όχι τις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά μόνο εκείνες που έχουν δεσμευτεί σε μειώσεις μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο (όπως π.χ. οι χώρες της Ανατολικής Ευρώπης).

Ένας από τους απώτερους σκοπούς της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου είναι λοιπόν και η διοχέτευση εξοπλισμού και τεχνολογίας ΑΠΕ στις αναπτυσσόμενες χώρες που δεν έχουν δυνατότητα να χρηματοδοτήσουν τέτοια προγράμματα.

Στη δράση για την προστασία του περιβάλλοντος στάθηκαν υποστηρικτικά ενδυναμώνοντας το Πρωτόκολλο τραπεζικοί οργανισμοί και μεγάλες εταιρείες (λ.χ. BP, Shell) καθώς και οι κυβερνήσεις των κρατών με εγχώρια μέτρα.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προβλέπει για την Ελλάδα συγκράτηση του ποσοστού αύξησης κατά την περίοδο 2008-2012 του CO₂ και άλλων αερίων που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 25%, σε σχέση με το έτος – βάση 1990. Η ελληνική πολιτεία από το 2000 υιοθέτησε μέτρα για την πρόληψη και τον έλεγχο των ρύπων και το Μάιο του 2002 επικύρωσε το Πρωτόκολλο του Κιότο (έχοντας όμως υπογράψει από τον Απρίλιο του 1998).



Εικόνα 1.1: Περιορισμοί εκπομπών με βάση το πρωτόκολλο Κιότο

1.3 Σύνοδος G8, 2009

Τον Ιούλιο του 2009 στην Ιταλία πραγματοποιήθηκε σύνοδος την ομάδας G8 η οποία κατέληξε σε συμφωνία για ένα κοινό στόχο: την συγκράτηση της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης κάτω από το όριο των 2°C σε σχέση με την προβιομηχανική

περίοδο. Σε περίπτωση απραξίας το κόστος ανέρχεται στο 5-20% του παγκόσμιου ΑΕΠ. Για την επίτευξη του στόχου οι ανεπτυγμένες χώρες πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους στο 20-30% ως το 2020 (έτος βάσης 1990) αλλά στο 80% ως το 2050. Για τις αναπτυσσόμενες το όριο είναι πιο χαλαρό καθώς τυχόν αυστηρό όριο θα σήμαινε και εμπόδιο για την ανάπτυξη τους. Έτσι στόχος είναι το 2020 να έχουν εκπέμψει 15-20% χαμηλότερους ρύπους σε σχέση με εκείνους που θα είχαν χωρίς κανένα μέτρο πρόληψης. Τέλος, στο πλαίσιο αυτής της δράσης οι ανεπτυγμένες χώρες έχουν την υποχρέωση να συνεργάζονται με τις αναπτυσσόμενες παρέχοντας τεχνογνωσία.

1.4 Σύνοδος Κοπεγχάγης

Στις 17-18 Δεκεμβρίου 2009 πραγματοποιήθηκε στην Κοπεγχάγη η 15η COP στην οποία συμμετείχαν 115 ηγέτες, 15000 εμπειρογνώμονες και εκπρόσωποι από 200 χώρες. Η επιδίωξη της Διάσκεψης ήταν μία νέα, παγκόσμια και δεσμευτική συμφωνία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής που θα ήταν ικανή να αντικαταστήσει το Πρωτόκολλο του Κιότο, που λήγει το 2012. Πριν την πραγματοποίηση της διάσκεψης, οι προσδοκίες ήταν υψηλές αφού για πρώτη φορά ένας τόσο μεγάλος αριθμός κρατών ευαισθητοποιήθηκε και συμμετείχε συνειδητοποιώντας την ευθύνη για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ενώ κάποια κράτη φαινόταν διατεθειμένα να δεσμευτούν για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στόχοι της Συνόδου ήταν η δέσμευση για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η δέσμευση και το ύψος της διεθνούς χρηματοδότησης προς τις αναπτυσσόμενες χώρες και ο προσδιορισμός των μέσων υλοποίησης (πχ μεταφορά τεχνολογίας) των δεσμεύσεων για τη μείωση των εκπομπών και την προσαρμογή των αναπτυσσόμενων χωρών. Στη διάρκεια των συζητήσεων όμως οι διαφωνίες μεταξύ αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών ως προς το ποσοστό μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και ως προς το ποσό χρηματοδότησης αλλά κυρίως οι διαφωνίες μεταξύ Κίνας και ΗΠΑ, πυροδότησαν το αρχικά αισιόδοξο κλίμα με αποτέλεσμα οι εκπρόσωποι των αφρικανικών κρατών να αποχωρήσουν. Εν τέλει οι ΗΠΑ, η Κίνα, η Βραζιλία, η Ινδία και η Νότιος Αφρική κατέληξαν σε μια συμφωνία χωρίς δεσμευτικό χαρακτήρα με την Ευρωπαϊκή Ένωση να έχει ρόλο μεσολαβητή.

Το τελικό σχέδιο διακήρυξης, έθεσε ως στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 50% μέχρι το 2050, σε σχέση με το 1990. Η σύνοδος της Κοπεγχάγης ήταν σημαντική ως προς το ότι εκεί τέθηκε το ζήτημα των ρυπαντών που δεν είχαν συμμορφωθεί στο Πρωτόκολλο του Κιότο, ανάμεσα σ αυτούς οι δυο μεγαλύτεροι, οι ΗΠΑ και η Κίνα. Παράλληλα η Σύνοδος όρισε δεσμεύσεις των κρατών για μείωση των ρύπων, χωρίς όμως συγκεκριμένα ποσοστά και προθεσμίες και συμφώνησε τη χρηματοδότηση των αναπτυσσόμενων χωρών με τις ανεπτυγμένες χώρες να θέτουν ως στόχο τα 100 δις. δολάρια το χρόνο έως το 2020. Συγκεκριμένα η ΕΕ δεσμεύτηκε με βοήθεια ύψους 10.6 δις δολάρια, η Ιαπωνία στα 11 δις δολάρια και οι ΗΠΑ στα 3.6 δις δολάρια.

Παρόλο αυτά, η συμφωνία της Κοπεγχάγης είναι μη δεσμευτικού χαρακτήρα, γεγονός που ξεσήκωσε αντιδράσεις. Μάλιστα ο Αμερικανός πρόεδρος Barack Obama χαρακτήρισε τη συμφωνία «σημαντικό βήμα αλλά όχι αρκετό για να δοθεί λύση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής». Να σημειωθεί επίσης ότι η Βενεζουέλα, η Βολιβία, η Κούβα και η Νικαράγουα αποκήρυξαν τη Συμφωνία, θεωρώντας ότι δεν θα συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η σύνοδος της Κοπεγχάγης που ξεκίνησε με τις μεγαλύτερες περγαμηνές, κατέληξε σε ένα τρισέλιδο κείμενο που είναι γνωστό ως Σύμφωνο της Κοπεγχάγης και προέκυψε μετά από μαραθώνια διαπραγμάτευση μεταξύ των ηγετών των ΗΠΑ, της Κίνας, της Ινδίας, της Βραζιλίας και της Νοτίου Αμερικής, οι οποίοι ενδιαφέρονταν να υπερασπιστούν τα συμφέροντα τους, κατά γενική ομολογία. Άλλωστε, πολλοί υποστηρίζουν ότι οι συγκρούσεις μεταξύ των δύο μεγάλων υπευθύνων για τις εκπομπές CO₂, Αμερικής και Κίνας δεν αφορούσαν στην προστασία του πλανήτη, αλλά την προστασία των κερδών των εθνικών επιχειρήσεων. Μάλιστα δημοσιεύματα του γαλλικού τύπου της περιόδου (Liberation) αναφέρουν ότι η οικονομική βοήθεια προς τις αναπτυσσόμενες χώρες είναι αμελητέα μπροστά στα τρισεκατομμύρια δολάρια που δόθηκαν για τη σωτηρία του τραπεζικού συστήματος. Έτσι η σύνοδος χαρακτηρίστηκε ως μια χαμένη ευκαιρία.

Τέλος, η διάσκεψη δεν αναφέρθηκε στην ανανέωση της δέσμευσης του Πρωτοκόλλου του Κιότο που αποτελεί το μόνο νομικά δεσμευτικό κείμενο και λήγει το 2012.

1.5 Ευρωπαϊκή Δράση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αντιλαμβανόμενη τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής υιοθέτησε άμεσα μέτρα για την αντιμετώπιση της, με σκοπό τον έλεγχο της ρύπανσης και σταδιακά τη μείωση της. Τα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέγραψαν το πρωτόκολλο του Κιότο το 1998 και το Μάιο του 2002 η Ευρώπη το επικύρωσε.

Βέβαια, έγιναν κι άλλες ενέργειες προς αυτή την κατεύθυνση, με το ευρωπαϊκό μητρώο εκπομπών και τον περιορισμό ορισμένων ρύπων. Με κοινοτική οδηγία του 2003 τέθηκαν οι βάσεις για την εμπορία ρύπων ενώ το 2005 τα πρώτα αποτελέσματα έδειχναν επιτυχία των μέτρων. Τον Ιανουάριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Ένωση, συμμορφωμένη με το πρωτόκολλο του Κιότο, προωθεί τη χρήση των ΑΠΕ με τη θέσπιση του λεγόμενου στόχου «20-20-20»: Για το σύνολο των Κρατών-Μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέχρι το 2020 προβλέπεται:

- ❖ Μείωση κατά 20% των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990
- ❖ 20% διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας
- ❖ εξοικονόμηση κατά 20% της πρωτογενούς ενέργειας

Το νομοθετικό πλαίσιο ορίζει εθνικούς σχεδιασμούς: κάθε κράτος-μέλος θέτει ένα στόχο για το ποσοστό ενέργειας που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές στη μικτή τελική κατανάλωση του 2020. Πιο αναλυτικά, προτείνονται συγκεκριμένα ποσοστά για κάθε τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, της θέρμανσης και ψύξης στον οικιακό τομέα, αλλά και στη χρήση βιοκαυσίμων στις μεταφορές, τέτοια ώστε συνολικά να ικανοποιείται ο στόχος. Αναφέρονται και μέτρα για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της αξιοποίησης των ΑΠΕ. Για τα κράτη μέλη που προσχώρησαν πριν το 2004, προβλέπεται αύξηση της τάξης του 6-13% από ΑΠΕ σε σχέση με τα αντίστοιχα εθνικά ποσοστά το 2005 και, για τα κράτη μέλη που προσχώρησαν το 2004 και αργότερα, αύξηση 5-10%. Η πρόταση καθορίζει επίσης ενδιάμεσους στόχους ανά χώρα οι οποίοι σε περίπτωση μη επίτευξης μπορούν να αναθεωρούνται. Βέβαια, στον κάθε τομέα η Ευρώπη θέτει τον πήχη σε διαφορετικό ύψος, ανάλογα με την παρούσα κατάσταση. Έτσι, για παράδειγμα, στον τομέα των μεταφορών, που εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από το πετρέλαιο, ο στόχος είναι να αυξηθεί το μερίδιο των ΑΠΕ στη συνολική κατανάλωση καυσίμων μέχρι το 2020 αλλά όχι τόσο όσο στους άλλους τομείς. Τελικά στην κατανάλωση καυσίμων και στο μεταφορικό τομέα, τα κράτη οφείλουν να αυξήσουν το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στο 10% τουλάχιστον έως το 2020. Για να πετύχει λοιπόν αυτό το δύσκολο στόχο η ΕΕ εντείνει τις προσπάθειες στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, διευκολύνοντας την εξάπλωση των ΑΠΕ με ένα φιλικό προς αυτές πλαίσιο. Η επίτευξη των στόχων θα συνεισφέρει στην ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού, στη βέλτιστη αξιοποίηση των φυσικών πόρων και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας βασικών κλάδων της οικονομίας. Μέτρα όμως λαμβάνονται και για την χρήση ανανεώσιμων πηγών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης. Σα μέτρα αυτά εξαρτώνται από τα αποτελέσματα άλλων οικολογικών δράσεων στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Όσο πιο μεγάλη η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από άλλα οικολογικά μέτρα, τόσο πιο λίγη είναι η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την επίτευξη των στόχων.

Δίνεται επίσης η δυνατότητα στα κράτη μέλη της ΕΕ να ανταλλάσουν ποσά ενέργειας από ΑΠΕ χρησιμοποιώντας στατιστική μεταφορά και θέτοντας κοινές διεργασίες που αφορούν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης από ανανεώσιμες πηγές (πρωτόκολλο του Κιότο). Επιτρέπονται και συνεργασίες με τρίτες χώρες, αρκεί η ηλεκτρική ενέργεια να παράγεται από εγκατάσταση που έχει κατασκευαστεί μετά τον Ιούνιο του 2009, να καταναλώνεται εντός της ΕΕ, και να μην επωφελείται από κανένα άλλο φορέα. Τέλος, υπάρχει η υποχρέωση για κάθε κράτος μέλος να εγγυάται για την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης από ανανεώσιμες πηγές. Οι πληροφορίες που περιέχονται στις εγγυήσεις προέλευσης είναι κανονικοποιημένες και αναγνωρισμένες από όλα τα κράτη μέλη και διαβιβάζονται ηλεκτρονικά, ενώ πρέπει να προσδιορίζουν ιδίως την πηγή από την οποία παρήχθη η ενέργεια και τον τύπο της. Άρνηση αναγνώρισης εγγύησης προέλευσης εκδοθείσας από άλλο κράτος μέλος πρέπει να βασίζεται σε αντικειμενικά κριτήρια. Η εγγύηση προέλευσης πρέπει να ακυρώνεται όταν η παραγωγή ενέργειας λαμβάνει στήριξη υπό μορφή ενισχύσεων ή φοροαπαλλαγών.

Να σημειωθεί ότι συντάσσεται ο Χάρτης πορείας για τις ΑΠΕ, που σημαίνει αξιολόγηση των πηγών στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση. Στο χάρτη παρουσιάζεται η μακροπρόθεσμη στρατηγική της Επιτροπής στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ορίζεται ως δεσμευτικός στόχος να καλύπτουν το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2020 καθώς και ένας ελάχιστος στόχος ύψους 10% για τα βιοκαύσιμα. Τέλος, περιλαμβάνονται μέτρα για την προώθηση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στους τομείς του ηλεκτρισμού, της θέρμανσης και της ψύξης. Επίσης, προτείνεται νέο νομοθετικό πλαίσιο για την ενίσχυση της προώθησης και της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Με τη στρατηγική αυτή επιδιώκεται να επιτύχει η ΕΕ το διπλό στόχο της μεγαλύτερης ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού και της μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Ο σχεδιασμός αυτός, μεταξύ άλλων, εκκινεί διαδικασίες για να επαναπροσδιοριστούν οι μελέτες, η τιμολόγηση και η πρόσβαση σε ηλεκτρικά δίκτυα, προωθώντας τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι στόχοι που θέτει η ΕΕ συναντούν εμπόδια στην υλοποίησή τους, με πρώτο το υψηλό κόστος των επενδύσεων στις ΑΠΕ. Βέβαια πρέπει να συνυπολογίζονται τα οφέλη ιδίως όσον αφορά τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία ή στο περιβάλλον. Ένα ακόμη εμπόδιο είναι οι γραφειοκρατικές διαδικασίες εγκατάστασης και ο αποκεντρωμένος χαρακτήρας των περισσότερων εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βέβαια προς αυτή την κατεύθυνση γίνονται συνεχώς κινήσεις για την απλοποίηση των διαδικασιών και την κατά το δυνατόν εξάλειψη της γραφειοκρατία.

1.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

1.6.1. Πλεονεκτήματα

❖ «Είναι άφθονες στη φύση και διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας» (ΚΑΠΕ, 2007).

❖ «Είναι ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα. Έτσι, συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, συντελώντας στην ενεργειακή αυτόαρξεια και ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού» (ΚΑΠΕ, 2007)

❖ «Αποτελούν την καλύτερη, μακράν, περιβαλλοντική λύση γιατί δεν εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου, ενώ υποκαθιστούν ορυκτά καύσιμα που ρυπαίνουν κατά την εξόρυξη, άντληση, μεταφορά, αποθήκευση και καύση τους» (ΚΑΠΕ, 2007).

- ❖ «Δημιουργούνται θέσεις εργασίας σε τοπικό επίπεδο, συντελώντας στην ανάπτυξη σε τοπικό επίπεδο» (ΚΑΠΕ, 2007).
- ❖ «Προσφέρουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη, που έχει ως συνέπεια την ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων» (ΚΑΠΕ, 2007).

1.6.2 Μειονεκτήματα

- ❖ «Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί, ενώ έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και συνεπώς για μεγάλη ισχύ απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις» (ΚΑΠΕ, 2007).
- ❖ «Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας, απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης» (ΚΑΠΕ, 2007).
- ❖ «Λόγω του μεγάλου αρχικού κόστους εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης, δεν υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων αλλά αξιοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας» (ΚΑΠΕ, 2007).
- ❖ «Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής που εγκαθίστανται» (ΚΑΠΕ, 2007).

1.7 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι διάφορες μορφές ΑΠΕ που βρίσκουν εφαρμογή σήμερα παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα.

1.7.1. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια ήπια μορφή ενέργειας με αυξημένες προσδοκίες, ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η οποία διαθέτει αρκετά υψηλά ποσοστά ηλιοφάνειας. Αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που αξιοποιούν τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου για τη θέρμανση και ψύξη της κτιριακής υποδομής, αλλά και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται σήμερα με τους εξής τρόπους:

❖ Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα εστιάζουν στην κατάλληλη διαχείριση των δομικών στοιχείων του κτιρίου, που αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Προϋπόθεση για την εφαρμογή σ' ένα κτίριο παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι η θερμομόνωσή του, ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες (χρήση κατάλληλων υλικών και διπλών τζαμιών, στεγανοποίηση, κ.ά.). Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην ηλιοπροστασία του κτιρίου, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων κατά τη θερινή περίοδο ακτίνων του ήλιου στο κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκίαστρων (πρόβολοι, τέντες, περσίδες, κληματαριές κ.ά.) που τοποθετούνται κατάλληλα, καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτηρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται βιοκλιματικό κτίριο και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

❖ Ενεργειακά ηλιακά συστήματα

Τα ενεργειακά (ή θερμικά) ηλιακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο ρευστό είτε αέρα ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λπ. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες (ΥΠΑΝ, τομέας ενέργειας & φυσ. πόρων).

❖ Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν κατευθείαν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, όπου η δυνατότητα εγκατάστασής τους είναι πιο απλή από πλευράς επιπτώσεων στο ανθρώπινο και φυσικό περιβάλλον καθώς και από πλευράς επάρκειας χώρου.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα εντοπίζεται κυρίως σε θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι), ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την πολιτική

προώθησης των ΑΠΕ από το Ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση να βοηθά προς αυτή την κατεύθυνση.

1.7.2. Γεωθερμία

Η γεωθερμία είναι η θερμότητα που εμπεριέχεται στα πετρώματα της γης, τους υπόγειους υδροφορείς και στα αέρια που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε κοιλότητες στο εσωτερικό της γης. Θεωρείται ότι παράγεται από τη διάσπαση ραδιενεργών ισοτόπων, όπως είναι το ουράνιο, το θόριο και το κάλιο και εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της γης εξαιτίας του συνδυασμού της μεγάλης μάζας της γης με τη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων. Η συσσωρευμένη θερμότητα εξέρχεται στην επιφάνεια της γης μέσω γεωλογικών φαινομένων, όπως οι ηφαιστειακές εκροές και οι γεωλογικές ασυνέχειες, και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού.

Είναι μία ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που μπορεί, με βάση τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, αλλά και να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια σε ορισμένες περιπτώσεις. Η πιο διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ χρησιμοποιείται και σε υδατοκαλιέργειες. Άλλη διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας είναι η θέρμανση οικισμών, όπου η θερμική ενέργεια διοχετεύεται προς τους χρήστες με τη βοήθεια ενός δικτύου αγωγών. Επίσης, στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, μια άλλη εφαρμογή μπορεί να είναι θερμική αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ενώ στις περιπτώσεις γεωθερμικών ρευστών υψηλής θερμοκρασίας (>150°C) μπορεί να γίνει παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με την εκτόνωση ατμού. Η Ελλάδα διαθέτει μεγάλο αριθμό επιβεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων που είναι διάσπαρτα σε ολόκληρη σχεδόν τη χώρα, όπως στη Ν.Κεσσάνη Ξάνθης, Νιγρίτα Σερρών, Λαγκαδά, Θεσσαλονίκη, Ελαιχώρα Χαλκιδικής, Στύψη και Άργεννο Λέσβου, Μήλο, Σαντορίνη και Νίσυρο. Η συστηματική εκμετάλλευση τους μπορεί να επιφέρει στη χώρα σημαντικά οφέλη.

1.7.3. Βιομάζα

Η βιομάζα περιλαμβάνει το σύνολο των υλικών που έχουν ζωική ή φυτική προέλευση, όπως φυτικές ύλες από φυσικά οικοσυστήματα (π.χ. δάση) ή από ενεργειακές καλλιέργειες, οι οποίες προορίζονται για παραγωγή ενέργειας, τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της δασικής, αγροτικής (γεωργία και κτηνοτροφία) και αλιευτικής παραγωγής, αλλά και το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η ενέργεια της βιομάζας είναι αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης των φυτών, κατά την οποία δεσμεύεται η ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπεται σε χημική ενέργεια και στη συνέχεια αποταμιεύεται στις νεογέννητες οργανικές ουσίες και μέσα στους ιστούς των φυτών. Η ποσότητα του CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση της βιομάζας, έχει ήδη δεσμευτεί από την ατμόσφαιρα για τη δημιουργία της, οπότε, η καύση της βιομάζας έχει μηδενική συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Με καύση της βιομάζας παράγονται: καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, πρώτες ύλες για παραγωγή βιοαερίου ή φυσικού αερίου, το οποίο αποτελεί άριστη καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, και πρώτες ύλες για παραγωγή αιθανόλης και βιοντίζελ για μηχανές εσωτερικής καύσης.

1.7.4. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Μικρές υδροηλεκτρικές μονάδες

Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγεται με μετατροπή της ενέργειας που δημιουργείται από υδατοπτώσεις, με χρήση υδραυλικών τουρμπίνων. Μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες έχουν μικρή επίπτωση στο περιβάλλον, αντίθετα με τις μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες που απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο άμεσο περιβάλλον.

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα, ισχύος μικρότερης των 15 MW, χαρακτηρίζονται μικρής κλίμακας και θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές. Τοποθετούνται κυρίως σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές δίπλα σε ποτάμια και κανάλια με στόχο την εξασφάλιση σημαντικής υψομετρικής διαφοράς. Το νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα και περνώντας μέσα από τούνελ περιστρέφει τουρμπίνες δημιουργώντας μηχανική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται μέσω ηλεκτρογεννήτριας σε ηλεκτρική.

1.7.5. Ενέργεια ωκεανών

Οι ωκεανοί μπορούν να προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της ενέργειας της θάλασσας:

- από τα κύματα,
- από τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες),
- από τις θερμοκρασιακές διαφορές του νερού.

1. Κυματική ενέργεια

Η ενέργεια από τα κύματα παράγεται από την κίνηση των κυμάτων στην θαλάσσια επιφάνεια που προκαλείται από τους κατά τόπους ανέμους. Ένα σύστημα κυματικής ενέργειας μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε σημείο στον ωκεανό και να παράγει ενέργεια, μπορεί να είναι αγκυρωμένο στο πυθμένα ή πλωτό ανοιχτά της θάλασσας, ή σύστημα εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί επίσης να είναι ολικά βυθισμένο στο νερό ή να είναι τοποθετημένο πάνω από την θαλάσσια επιφάνεια σε μία πλωτή πλατφόρμα. Σε γενικές γραμμές τα συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες, τα σταθερά και τα πλωτά.

2. Ενέργεια από παλίρροιες

Η ενέργεια από παλίρροιες εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει, και κατά την κάθοδό του αναγκάζεται να περάσει μέσα από τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό.

3. Θερμική ενέργεια των ωκεανών

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5°C.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (40-70KW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Στα μειονεκτήματα αναφέρεται το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.

Γενικά, στην Ελλάδα δεν έχει αξιοποιηθεί αυτή η μορφή ενέργειας αν και υπάρχει η δυνατότητα λόγω των θαλασσών που περικλείουν τη χώρα. Στο εξωτερικό αντίθετα, έχει απήχηση και εφαρμόζεται με παλιρροϊκούς σταθμούς στη Σκωτία, στη Ρωσία και στη βορειοδυτική Γαλλία.

1.7.6. Αιολική ενέργεια

Αιολική ονομάζεται η ενέργεια που περικλείει ο άνεμος και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλους μηχανισμούς και διατάξεις. Η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται αρχικά σε μηχανική μέσω των ανεμογεννητριών και ακολούθως σε ηλεκτρική. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών παρουσίασε μεγάλη εξέλιξη κατά τα τελευταία χρόνια, με αντίστοιχη μείωση του κόστους

παραγωγής της παραγόμενης ενέργειας. Σήμερα, το εμπορικό μέγεθος των ανεμογεννητριών, δηλαδή το μέγεθος που παρουσιάζει τη βέλτιστη σχέση κόστους - οφέλους, κυμαίνεται μεταξύ 600 και 1500 KW. Όμως σε στάδιο δοκιμών, λειτουργούν ανεμογεννήτριες μέχρι 3000 KW και σχεδιάζονται μέχρι 5000 KW. Μείωση του κόστους επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών στην ίδια θέση, οπότε σχηματίζονται αιολικά πάρκα, συνολικής συνήθως ισχύος μέχρι 40 MW. Το κύριο μειονέκτημα των ανεμογεννητριών είναι η οπτική όχληση που επιφέρουν στο περιβάλλον. Αντίθετα, ο θόρυβος και οι κίνδυνοι για τα πτηνά αντιμετωπίζονται εύκολα με την κατάλληλη επιλογή της θέσεως εγκαταστάσεως.



Εικόνα 1.2: Μορφές ΑΠΕ

1.8 ΑΠΕ & Αγροτικές Περιοχές

Στην Ελλάδα, η αγροτική γη δέχεται μεγάλες πιέσεις τόσο από την οικιστική ανάπτυξη, την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, την ερημοποίηση όσο και από βιομηχανικές και μεταποιητικές δραστηριότητες και επομένως επιβάλλεται η προστασία της από την άναρχη διασπορά δραστηριοτήτων και εγκαταστάσεων που γίνεται ευκαιριακά και χωρίς συγκροτημένο σχέδιο. Η δυνατότητα εγκατάστασης ΑΠΕ σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας που δεν θα υπερβαίνει ωστόσο το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του Νομού σύμφωνα με το Ν. 3851/2010, με τα συνεπακόλουθα έργα που απαιτούνται (έργα ΔΕΗ, διάνοιξη δρόμων), ενδέχεται να επιφέρει περαιτέρω αλλοίωση του αγροτικού χαρακτήρα των περιοχών. Επιπρόσθετα, η μείωση τιμών των αγροτικών προϊόντων και η αύξηση του κόστους των αγροτικών εφοδίων θα ωθήσει πολλούς αγρότες στην εγκατάλειψη της αγροτικής δραστηριότητας και στην χρησιμοποίηση των αγρών τους για εγκατάσταση ΑΠΕ με σκοπό την πώληση του παραγόμενου ρεύματος σε επιδοτούμενες τιμές. Όλα αυτά σε μία χρονική περίοδο στην οποία το έλλειμμα του αγροτικού εμπορικού ισοζυγίου αυξάνεται κατά 11% ετησίως κατά την δεκαετία 1998-2008 και έχει φθάσει τα 3 δις. €, ενώ το αγροτικό προϊόν έχει συρρικνωθεί στο 2,92% του ΑΕΠ από 5,74% που ήταν το 2000.

Από την άλλη πλευρά, αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι αποτελεί πρόκληση για τον πρωτογενή τομέα η αρμονική ενσωμάτωση των ΑΠΕ στον κύκλο των δραστηριοτήτων του με πολλαπλά οφέλη. Οι ΑΠΕ μπορούν να συνεισφέρουν στη μείωση του κόστους παραγωγής των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία τους. Με την ανάπτυξη λ.χ. κατάλληλων συνεταιριστικών σχημάτων οι αγρότες, με τη βοήθεια του κράτους θα μπορούσαν να επενδύσουν στην ιδιοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες των μονάδων τους (κτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, άρδευση κλπ.). Σημαντική θα ήταν και η συνδυασμένη προσπάθεια παραγωγής βιοαερίου και διαχείρισης των αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων όχι μόνο με στόχο τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος αλλά και προς εκμετάλλευση αυτών για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και η χρήση γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας είναι ήδη ευρέως διαδεδομένη στον ευρωπαϊκό βορρά, στην Ελλάδα εξακολουθεί να υπάρχει υστέρηση, εξαιτίας μιας σειράς αποτρεπτικών παραγόντων. Αυτή οφείλεται στην ελλιπή ενημέρωση επιχειρήσεων, κράτους και αγροτών, στο υψηλό κόστος εγκατάστασης και στην έλλειψη οικονομικών κινήτρων, τα οποία πρέπει να θεσμοθετηθούν από την ελληνική πολιτεία. Επιπλέον, το βιοαέριο που παράγεται από κτηνοτροφικές μονάδες, μπορεί να αναβαθμιστεί σε «βιοφυσικό αέριο» (με περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 96% σε μεθάνιο) και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο είτε στις μεταφορές είτε στην τροφοδοσία δικτύου φυσικού αερίου. Πέρα από τα κτηνοτροφικά απόβλητα ένας ακόμη ενεργειακός «θησαυρός» βρίσκεται κρυμμένος στα παραπροϊόντα της ελιάς. Ονομάζεται πυρηνόξυλο και παράγεται κατά την επεξεργασία της ελιάς. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και μπορεί να αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις τη χρήση του πετρελαίου. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κατοικιών και επαγγελματικών χώρων. Χαρακτηριστικά του πυρηνόξυλου είναι το χαμηλό κόστος (0,05 ευρώ ανά κιλό) σε σχέση με τη θερμική του αξία, το ότι είναι ένας εγχώριος ενεργειακός πόρος και τα καυσαέρια από την καύση του δεν περιέχουν ενώσεις του θείου, ενώ η στάχτη του είναι ένα καλό λίπασμα.

Εν κατακλείδι, οι ΑΠΕ που εγκαθίστανται σε αγροτικές περιοχές μπορούν να αφορούν σε:

- ❖ Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε γεωργικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις και σε αγροτικές, αλλά και σε μεταποιητικές εγκαταστάσεις,
- ❖ Αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων για την παραγωγή κυρίως βιοαερίου και εδαφοβελτιωτικού υλικού
- ❖ Ενίσχυση του κλάδου των βιοκαυσίμων και των ενεργειακών καλλιεργειών,
- ❖ Γενικότερη αξιοποίηση των ΑΠΕ (γεωθερμική, αιολική, ηλιακή ενέργεια) με σκοπό την ανάπτυξη δικτύων τηλεθέρμανσης, τη θέρμανση και δροσισμό των θερμοκηπίων, τη θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων, την ανάπτυξη υπόγειας θέρμανσης για την καλλιέργεια των σπαραγγιών, τη λειτουργία ξηραντηρίων ζωοτροφών, καλαμποκιού, αλλά και αγροτικών προϊόντων όπως σταφίδας και καπνού, στην αντιπαγετική προστασία των καλλιεργειών, στην άντληση νερού , στις αρδεύσεις, σε μηχανήματα αγρού και μεταφοράς αγροτικών προϊόντων και τέλος στη μεταποίηση αγροτικών προϊόντων.

Κεφάλαιο 2^ο :

Ηλιακή Ενέργεια

2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Έτσι όταν υλοποιηθεί ένα σύστημα εκμετάλλευσης της για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας (ηλεκτρική ή θερμική για παράδειγμα), η πρώτη ύλη-καύσιμο είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μία «καθαρή» μορφή ενέργειας εν συγκρίσει με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι η ηλιακή ενέργεια μπορεί εν δυνάμει να αποτελέσει μία σημαντική μορφή ενέργειας προς εκμετάλλευση.

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για την διατήρηση της ζωής στη Γη και αποτελεί τη βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα ή, υπό κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσουν στη δημιουργία πετρελαίου μετά από εκατομμύρια χρόνια. Η θερμότητα του ήλιου δημιουργεί θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ περιοχών και ανάπτυξη ανέμων η ενέργεια των οποίων χρησιμοποιείται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, ποσότητες νερού εξατμίζονται λόγω της θερμότητας του ήλιου, πέφτουν ως βροχή σε υψόμετρα και κατηφορίζουν προς τη θάλασσα, με δυνατότητα εκμετάλλευσης της δυναμικής τους ενέργειας σε υδροηλεκτρικές γεννήτριες. Ωστόσο, με τον όρο «ηλιακή ενέργεια» αναφερόμαστε συνήθως στην ενέργεια του ήλιου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή κυρίως θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

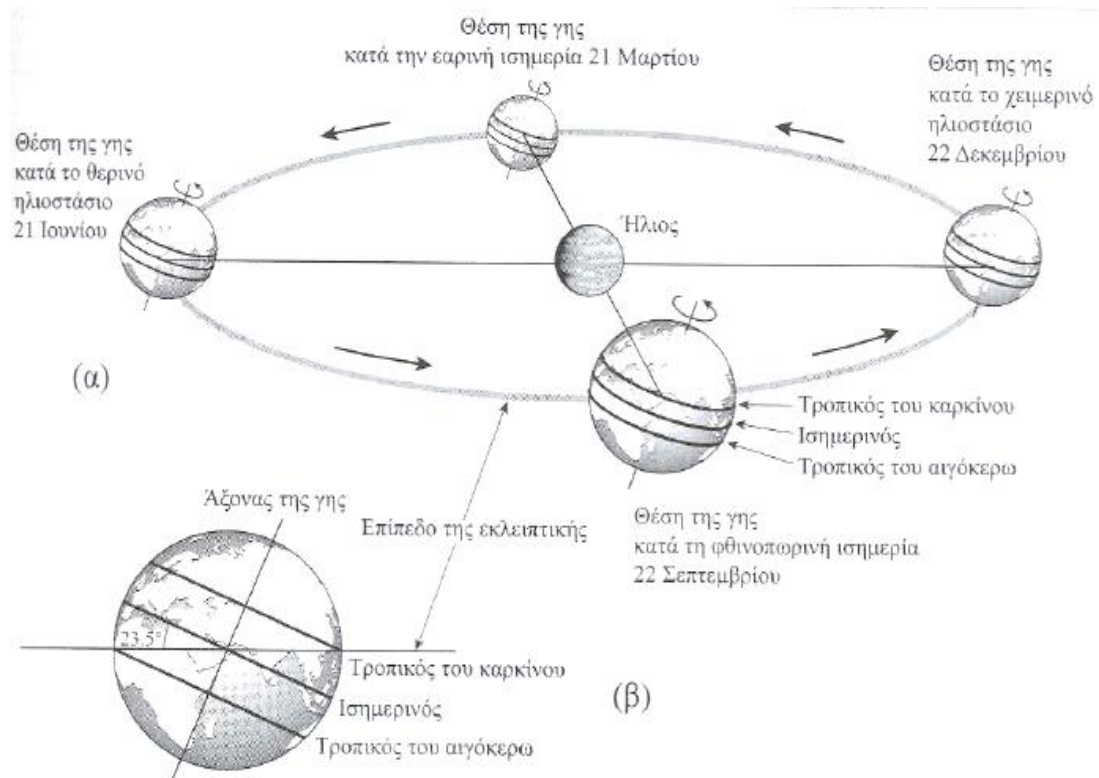
Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι πραγματικά τεράστιο: όλη η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στα παγκόσμια κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από μόλις 20 ημέρες ηλιοφάνειας. Πέρα από τη γήινη ατμόσφαιρα, η ενέργεια του ήλιου είναι περίπου 1,3kW/τ.μ. Περίπου ένα τρίτο (1/3) αυτής της ενέργειας ανακλάται πίσω στο διάστημα και μία ποσότητα της απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Όταν η ηλιακή ενέργεια φτάσει στην ατμόσφαιρα, η ισχύς της μειώνεται σε περίπου 1kW/τ.μ. κατά τις μεσημβρινές ώρες σε καθαρό ουρανό. Κατά μέσο όρο, λαμβάνοντας υπόψη όλη την επιφάνεια του πλανήτη, κάθε τμ. δέχεται περίπου 4,2kWh την ημέρα. Τα ποσοστά ενέργειας είναι υψηλότερα σε επιφάνειες όπως έρημοι όπου μπορούν να ξεπεράσουν τις 6kWh/τ.μ. την ημέρα.

2.2 Η Κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο

Η γη κινείται γύρω από τον ήλιο σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο να καταλαμβάνει τη θέση της μίας εστίας της έλλειψης. Μία πλήρης περιστροφή της γης γύρω από τον ήλιο διαρκεί 365,256 ημέρες. Το επίπεδο της τροχιάς της γης γύρω από τον ήλιο σχηματίζει με το επίπεδο του ισημερινού του ήλιου γωνία $23^{\circ} 45'$. Αυτή η απόκλιση έχει σαν αποτέλεσμα οι ακτίνες του ήλιου να μη φτάνουν σε ένα δεδομένο σημείο της γης με την ίδια γωνία κατά τη διάρκεια ενός έτους. Στο ψηλότερο σημείο της τροχιάς της, η γη δέχεται στο βόρειο ημισφαίριο τις ακτίνες του ήλιου με τη μεγαλύτερη κλίση και κάθετα στο νότιο ημισφαίριο. Στη θέση αυτή η διάρκεια της ημέρας στο βόρειο ημισφαίριο είναι η μικρότερη όλου του έτους, συμβαίνει στις 21 Δεκέμβριου και ονομάζεται χειμερινό ηλιοστάσιο. Στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς της η γη δέχεται στο βόρειο ημισφαίριο τις ακτίνες του ήλιου κάθετα και στο νότιο ημισφαίριο με τη μεγαλύτερη κλίση. Στη χαμηλότερη θέση η γη βρίσκεται στις 21 Ιουνίου κάθε έτους και η ημέρα ονομάζεται θερινό ηλιοστάσιο. Η διάρκεια της ημέρας είναι η μεγαλύτερη όλου του έτους στο βόρειο ημισφαίριο και η μικρότερη στο νότιο.

Στο μέσο περίπου της διαδρομής της γης από το χειμερινό στο θερινό ηλιοστάσιο όπως και από το θερινό στο χειμερινό ηλιοστάσιο, η γη περνά από δύο θέσεις όπου οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στον ισημερινό της γης. Τις ημέρες αυτές η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι ίσες, ονομάζονται εαρινή και φθινοπωρινή ισημερία και συμβαίνουν στις 20 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου αντίστοιχα.

Παρατηρούμε ότι, καθώς η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα βορρά – νότου κατά τη διάρκεια του χειμερινού ηλιοστασίου, οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν κάθετα και «χαράσσουν» τον παράλληλο κύκλο που ονομάζουμε τροπικό του Αιγόκερω στο νότιο ημισφαίριο και εφάπτονται στη σφαίρα της γης χαράσσοντας τον παράλληλο που ονομάζουμε Αρκτικό κύκλο στο βόρειο ημισφαίριο. Αντίστοιχα, κατά το θερινό ηλιοστάσιο «χαράσσονται» ο τροπικός του Καρκίνου στο βόρειο ημισφαίριο και ο Ανταρκτικός κύκλος στο νότιο ημισφαίριο.



Εικόνα 2.1: Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

2.3 Βασικά στοιχεία της ηλιακής γεωμετρίας

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

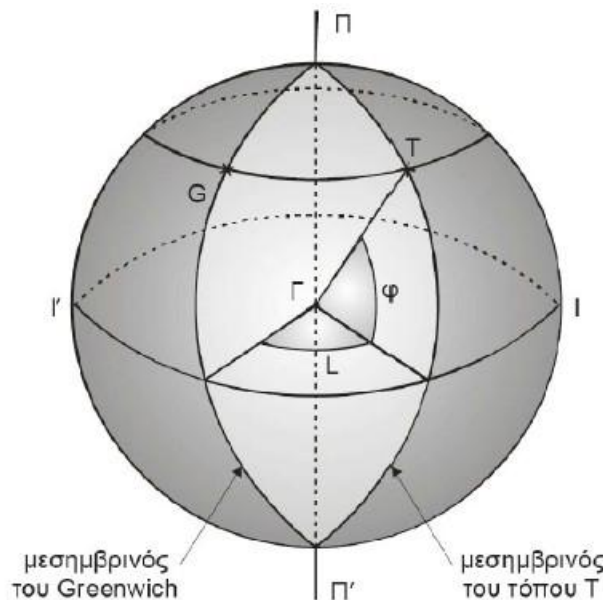
Τα βασικά μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη θέση του τόπου και την ηλιακή γεωμετρία είναι τα εξής:

➤ Γεωγραφικό πλάτος και Γεωγραφικό μήκος

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

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

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



Εικόνα 2.2. Γεωγραφικό πλάτος-Γεωγραφικό μήκος

➤ **Σφαιρικές συντεταγμένες**

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

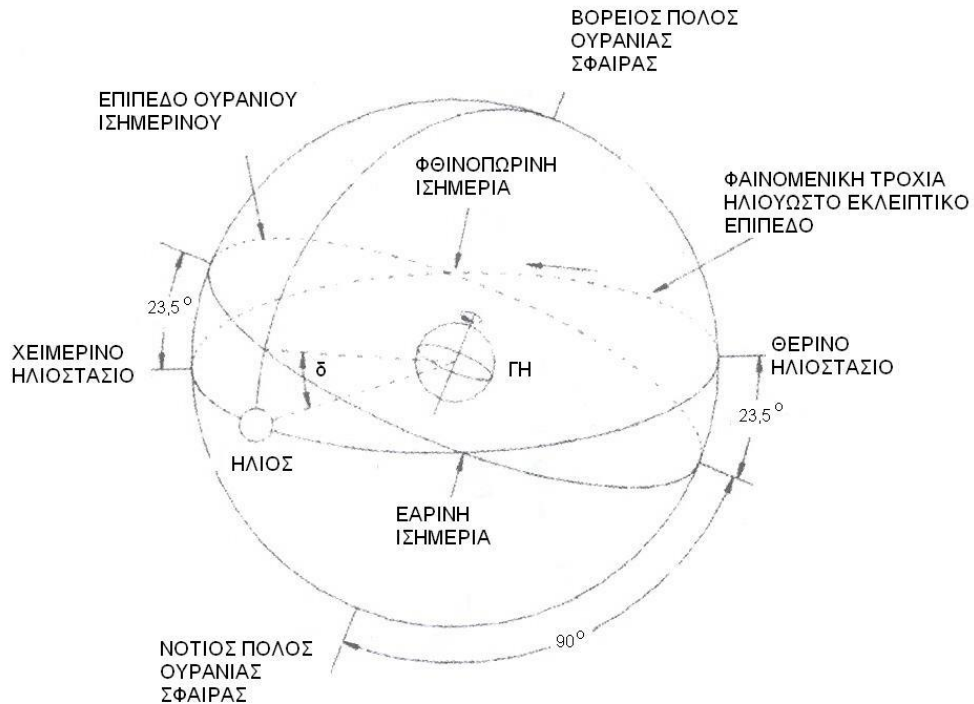
❖ **Ωριαία γωνία (ω).** Η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού (θέση του ήλιου στις 12 το μεσημέρι είναι η μεσημβρία δηλαδή το μέσο της ημέρας σε πραγματικό ηλιακό χρόνο) εκφράζεται με την ωριαία γωνία. Η ωριαία γωνία είναι μηδέν την μεσημβρία και έχει αρνητικές τιμές το πρωί και θετικές το απόγευμα.

❖ **Ζενιθιακή γωνία (θ_z):** Είναι η γωνία που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου με την κάθετο σε μία οριζόντια επιφάνεια σε ένα σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης (σχήμα 2.4.2). Η ζενιθιακή γωνία υπολογίζεται από την σχέση:

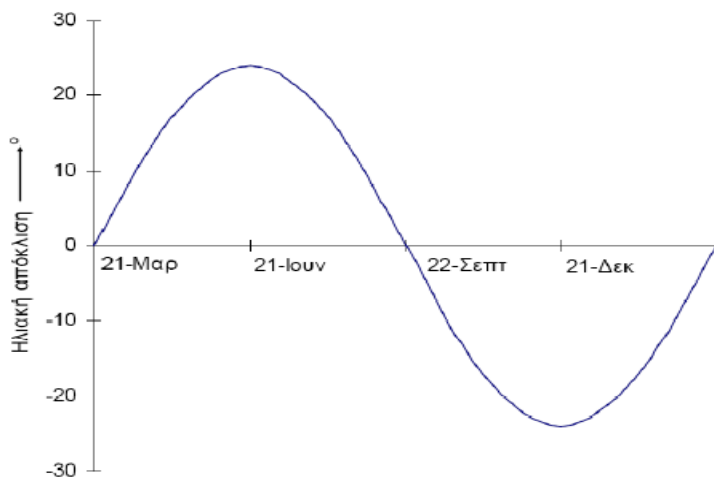
$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(\omega) = \sin(as)$$

όπου φ το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, ω η ωριαία γωνία για την δεδομένη χρονική στιγμή, και δ η ηλιακή απόκλιση η οποία υπολογίζεται για κάθε μέρα του χρόνου (D).

❖ **Ηλιακή απόκλιση (δ):** Είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα Γης και Ήλιου με το εκλειπτικό επίπεδο του Ισημερινού. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται συνεχώς και είναι μηδενική στις Ισημερίες ενώ παίρνει τις μέγιστες κατ' απόλυτο τιμές της στο θερινό (+23,5°) και στο χειμερινό ηλιοστάσιο(-23,5°) (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3. Φαινομενική πορεία του ήλιου γύρω από τη Γη



Εικόνα 2.4. Ετήσια μεταβολή της απόκλισης του ήλιου

Κατά την διάρκεια ενός 24ώρου, η μέγιστη μεταβολή της (δ) είναι μικρότερη από $0,5^\circ$. Συνεπώς, εάν η ηλιακή απόκλιση θεωρηθεί σταθερή για 24 ώρες, έχουμε ένα μέγιστο σφάλμα στους υπολογισμούς των άλλων ηλιακών γωνιών μεγέθους $0,5^\circ$.

Ο υπολογισμός του (δ) μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια με την εξίσωση του Spencer(1971):

$$\delta = (0,006918 - 0,399912 * \cos(\Gamma) + 0,070257 * \sin(\Gamma) - 0,006758 * \cos(\Gamma) - 0,002697 * \cos(3\Gamma) + 0,00148 * \sin(3\Gamma)) * \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

$$\text{Όπου } \Gamma = 2 * \pi * \frac{D-1}{365} \text{ (rad)}$$

Απλούστερες σχέσεις, επιτυγχάνοντας ικανοποιητική ακρίβεια υπολογισμών, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν όπως αυτές των Cooper (1969):

$$\delta = 23,45 * \sin\left[360 * \frac{D+284}{365}\right]$$

και Perrin de Brichambaut (1975):

$$\delta = \sin^{-1}\left\{0,4 * \sin\left[360 * \frac{D-82}{365}\right]\right\}$$

- ❖ **Ηλιακό ύψος (α_s).** Είναι το γωνιακό ύψος του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα του παρατηρητή (σχήμα 2.4.2.) ($0^\circ \leq \alpha_s \leq 90^\circ$) και ισχύει ότι: $\alpha_s = 90 - \theta_z$.
- ❖ **Αέρια μάζα (m).** Η αέρια μάζα της ατμόσφαιρας την οποία πρέπει να διατρέξει η ηλιακή ακτινοβολία κατά την πορεία της μέσα από την ατμόσφαιρα είναι μια βασική παράμετρος που καθορίζει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Η αέρια μάζα (m) είναι το πηλίκο του οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας διαμέσου του οποίου περνά η άμεση ακτινοβολία ως προς το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ. Εάν υποθέσουμε ότι η Γη είναι ένα επίπεδο με μία ομοιογενή και με χωρίς διάθλαση ατμόσφαιρα, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την αέρια μάζα σε σχέση με το ύψος του ήλιου ως εξής:

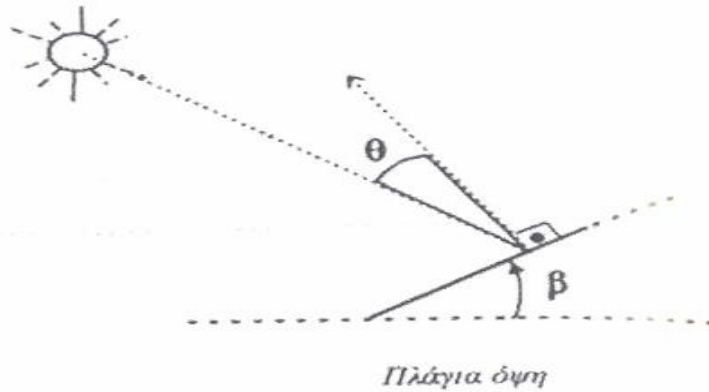
$$m = 1/\sin(\alpha_s)$$

Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος της ατμόσφαιρας διαμέσου της οποίας πρέπει να περάσει η ηλιακή ακτινοβολία, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες λόγω της εξασθένησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν ο ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα, το πάχος της ατμόσφαιρας είναι μεγαλύτερο, συνεπώς η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης είναι μικρότερη.

Το σφάλμα του υπολογισμού της αέριας μάζας με την παραπάνω σχέση είναι 0,25% μέχρι $\theta_z < 60^\circ$ και φτάνει το 10% για $\theta_z = 85^\circ$. Όταν η καμπυλότητα της ατμόσφαιρας είναι σημαντική, δηλαδή σε χαμηλά ηλιακά ύψη (α_s), τότε προτιμάται ο υπολογισμός από πίνακες.

- ❖ **Αζιμούθια γωνία ήλιου (γ_s).** Ορίζεται μεταξύ του επιπέδου του μεσημβρινού και του παρατηρητή (δηλ. τον νότιο προσανατολισμό) και του επιπέδου της προβολής του ήλιου πάνω στην επιφάνεια της γης ($0^\circ \leq \gamma_s \leq 180^\circ$) με αρνητικές τιμές στα ανατολικά και με θετικές τιμές στα δυτικά, ενώ ισούται με μηδέν όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς στον νότο. Η μέχρι τώρα παρουσίαση αναφέρεται σε οριζόντιες επιφάνειες. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, οι εφαρμογές αναφέρονται σε κεκλιμένες επιφάνειες και με συγκεκριμένο προσανατολισμό. Η κλίση της επιφάνειας σε σχέση με την οριζόντια επιφάνεια ορίζεται από την **γωνία κλίσης**, ενώ ο προσανατολισμός της καθορίζεται με το **αζιμούθιο**, που είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στην επιφάνεια του τοπικού μεσημβρινού

(νότιος προσανατολισμός) πάνω στο οριζόντιο επίπεδο. Το αζιμούθιο είναι μηδέν στον νότιο προσανατολισμό, με αρνητικές τιμές προς την ανατολή και θετικές προς την δύση. Η γωνία πρόσπτωσης (θ) της ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε μία κεκλιμένη επιφάνεια (Εικόνα 2.5.), καθορίζει την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.5. Προσπίπτουσα γωνία ακτινοβολίας σε επιφάνεια με κλίση β

Η γωνία πρόσπτωσης είναι η γωνία που ορίζεται μεταξύ της καθέτου στην επιφάνεια και της διεύθυνσης της ακτινοβολίας.

2.4 Τρόποι μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη αποτελείται από τρεις συνιστώσες: την άμεση, τη διάχυτη και την ανακλώμενη.

Η **άμεση ακτινοβολία** (direct radiation) είναι αυτή που λαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα. Είναι άμεση συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στο συλλέκτη. Προφανώς η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας εξαρτάται από τον προσανατολισμό του συλλέκτη, το ύψος και την αζιμούθια γωνία του ήλιου σε οποιαδήποτε στιγμή. Η γωνία πρόσπτωσης φ υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

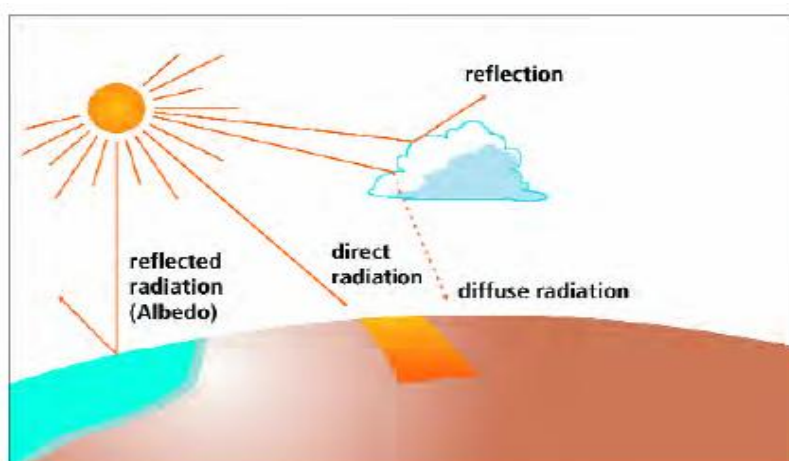
$$\cos \varphi = \cos \beta \cos \beta_{\sigma} \sin(\theta_{\sigma} - \theta) + \sin \beta \cos \beta_{\sigma}$$

Η ένταση της ακτινοβολίας που απορροφά ο συλλέκτης I_{BC} σε σχέση με αυτήν της προσπίπτουσας ακτινοβολίας I_B δίνεται από τη σχέση: $I_{BC} = I_B \cos \varphi$.

Η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα είναι η **διάχυτη ακτινοβολία** (diffuse radiation). Η εισερχόμενη στην ατμόσφαιρα ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να διαχυθεί από σωματίδια και υγρασία ή και να ανακλαστεί από τα σύννεφα. Κάποιο ποσοστό ανακλάται από το έδαφος στον ουρανό και από εκεί διαχέεται ξανά προς τα πίσω. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι πολύ περισσότερο δύσκολο να υπολογιστεί από ότι η άμεση. Το απλούστερο μοντέλο υποθέτει ότι

φθάνει σε κάποιο τόπο ομοιόμορφα από όλες τις κατευθύνσεις, δηλαδή ότι ο ουρανός είναι ισοτροπικός.

Η τελευταία συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο συλλέκτη είναι η **ανακλώμενη ακτινοβολία** (albedo radiation), η οποία είναι αποτέλεσμα της ανάκλασης του φωτός σε παρακαείμενες επιφάνειες στο συλλέκτη. Αυτή η συνιστώσα είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο στην περίπτωση όπου ο συλλέκτης είναι κεκλιμένος, και όχι οριζόντιος. Η ανακλώμενη συνιστώσα μπορεί να προσφέρει μια σημαντική αύξηση της απόδοσης σε περίπτωση που κοντά στο συλλέκτη υπάρχουν επιφάνειες με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης όπως το χιόνι ή το νερό, αλλά σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι αμελητέα.



Εικόνα 2.6: Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

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

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

Πίνακας 2.1. Συνολική ετήσια ακτινοβολία

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

την τιμή 1 όλη η ακτινοβολία ανακλάται και δεν υπάρχει καθόλου απορρόφηση (Graves, 1998).

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

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

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

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

Πίνακας 2.2. Τιμές της λευκαύγειας διαφόρων επιφανειών

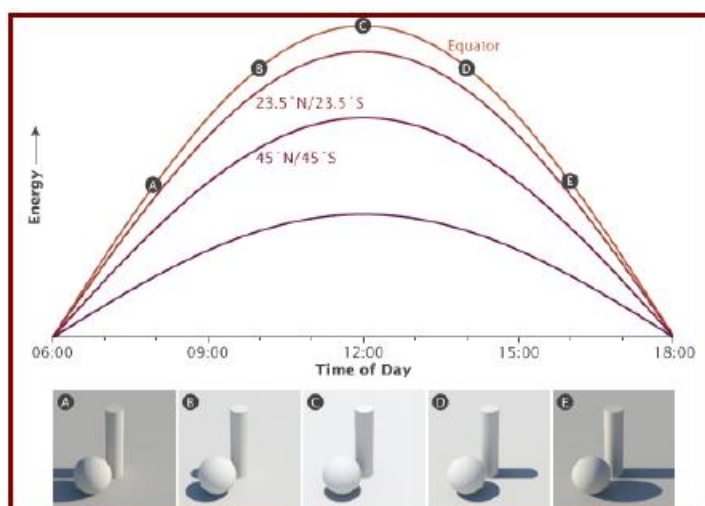
2.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία

Ο ήλιος παράγει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας περίπου της τάξης του $1,1 \times 10^{20}$ κιλοβατώρες το δευτερόλεπτο. Από αυτά, ένα μέρος της τάξης του $1,5 \times 10^{18}$ kWh/s, κατακρατούνται από την εξωτερική ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, εξαιτίας της ανάκλασης, της διάχυσης, της σκέδασης και της απορρόφησης εξαιτίας των αερίων και των aerosols, μόνο το 47% αυτής της ενέργειας δηλαδή περίπου 7×10^{17} kWh/s, φτάνουν στην επιφάνεια της γης.

Το ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας και μέρα, εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων όπως:

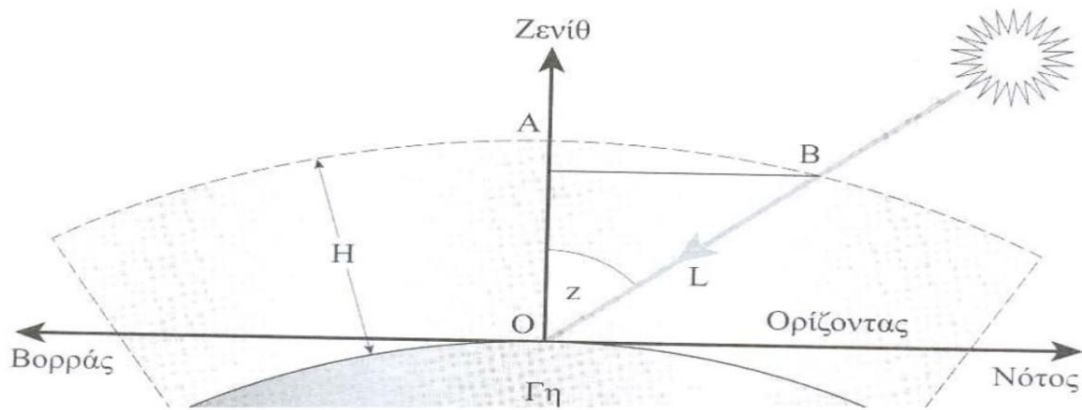
- Το ηλιακό αζιμούθιο εκφρασμένο σε μοίρες
- Το υψόμετρο του ήλιου εκφρασμένο επίσης σε μοίρες
- Την απόσταση γης – ήλιου
- Το κλίμα της περιοχής
- Την ηλιακή απόκλιση
- Το υψόμετρο της περιοχής
- Η εποχή του έτους
- Η κλίση και η διεύθυνση της επιφάνειας αναφορικά με τον ήλιο.

Η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη ποικίλει εξαιτίας της κίνησης του ήλιου. Η διαφορά αυτή εξαρτάται από την ώρα της ημέρας και την εποχή.



Εικόνα 2.7.: Συσχέτιση ενέργειας με γεωγραφικό πλάτος και ώρα της ημέρας.

Σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται κατά τη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών, τη στιγμή δηλαδή που ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της διαδρομής του και οι ηλιακές ακτίνες ακολουθούν τη συντομότερη διαδρομή μέσα από την ατμόσφαιρα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 2.8. Απόσταση του ήλιου και απόσταση που διανύουν οι ηλιακές ακτίνες

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

Η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του τόπου και είναι υψηλότερη σε περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα προς τον ισημερινό. Έτσι, η μέση ετήσια παγκόσμια ακτινοβολία που δέχεται μια επίπεδη οριζόντια επιφάνεια, ανέρχεται σε περίπου 1000 kWh/m^2 στην Κεντρική Ευρώπη, την Κεντρική Ασία και τον Καναδά. Φθάνει περίπου σε 1700 kWh/m^2 στην Μεσόγειο και σε περίπου 2200 kWh/m^2 στις περισσότερες περιοχές του ισημερινού σε χώρες της Αφρικής και στις ερήμους της Αυστραλίας. Σε γενικές γραμμές, οι εποχιακές και γεωγραφικές διαφορές στην ακτινοβολία είναι σημαντικές και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για όλες τις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας.

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

Κεφάλαιο 3^ο:

Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

3.1 Ιστορική αναδρομή των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Οι πρώτες παρατηρήσεις πάνω στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, έγιναν απο τον 19χρονο τότε Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel το 1839 ο οποίος ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο καθώς πειραματιζόταν με ηλεκτρολυτικό στοιχείο αποτελούμενο από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγώγιμο υγρό στο οποίο η ροή αυξανόταν με την έκθεση στον ήλιο. Οι σημειώσεις του γύρω από το φαινόμενο, είχαν φανεί πολύ ενδιαφέρουσες στην επιστημονική κοινότητα αλλά χωρίς πρακτική εφαρμογή.

Το 1876 ο Willoughby Smith με τον μαθητή του Williams Adams παρατηρεί ένα ακόμη φαινόμενο, παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, μετά την έκθεση σεληνίου (Se) στον ήλιο. Η ανακάλυψη αυτή ήταν πολυ σημαντική αφού πλέον είχε αποδειχθεί ότι ένα στοιχείο μπορούσε να μετατρέψει το φως σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς θέρμανση και χωρίς κινούμενα μέρη.

Το 1883 ο Αμερικανός εφευρέτης Charles Fritz παράγει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 1-2% από φύλλα σεληνίου. Το 1918 Ο Πολωνός Jan Czochralski κατασκευάζει το πρώτο στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου με μία μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα κ σήμερα.

Το σημαντικότερο βήμα στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας έγινε την άνοιξη του 1953 όταν οι επιστήμονες της Bell Laboratories Gerald Pearson, Daryl Chapin και Calvin Fuller, καθώς ερευνούσαν το στοιχείο πυρίτιο (Si) για πιθανές εφαρμογές στην ηλεκτρονική, εφήυραν το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο ήταν πολύ πιο αποδοτικό από τα παλιότερα στοιχεία φτιαγμένα από σεληνιο. Η Bell Telephone Laboratories σχεδίασε λίγο αργότερα φ/β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 4%. Έτσι, άνοιξε ο δρόμος για νέα επιτεύγματα στον κλάδο, με διαρκώς αυξανόμενες αποδόσεις, νέες μεθόδους παραγωγής φ/β στοιχείων και χρήση διαφορετικών υλικών από το πυρίτιο. Η τεχνολογία αυτή, βρήκε εφαρμογή αρχικά στην τροφοδότηση διαστημικών δορυφόρων όπως ο δορυφόρος Vanguard I .

Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν να κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των φ/β συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά, η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε από τα 500\$ ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ, μετά από 14 χρόνια, το 1970 έφτασε τα 100\$/Watt. Το 1973, οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής έφεραν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα 50\$/Watt.

Η πρώτη εγκατάσταση φ/β που φτάνει στα επίπεδα του 1MW έγινε στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων.

Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή φ/β έφτασε τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$.

Το 1999 η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το National Renewable Energy Laboratory (NREL) των Η.Π.Α. αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32.3%. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των φ/β πλαισίων φτάνει συνολικά τα 200 MW.

Από το 2004 και μετά, η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των φ/β φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων στα 6.5 €/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή φ/β πλαισίων και πλέον σε όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή φ/β εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα 1.200 MW ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα 6.500.000.000\$.

Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά, κυρίως, υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

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

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

Τα Φ/Β κύτταρα είναι φτιαγμένα από ειδικά υλικά, όπως το πυρίτιο (το πιο συνηθισμένο προς το παρόν), που λέγονται ημιαγωγοί. Όταν το φως πέσει στο κύτταρο, ένα μέρος του απορροφάται από τον ημιαγωγό. Η ενέργεια αυτή ελευθερώνει ηλεκτρόνια τα οποία κινούνται ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Τα Φ/Β κύτταρα έχουν επίσης ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά πεδία που υποχρεώνουν τα ελευθερωμένα ηλεκτρόνια να κινούνται προς μία κατεύθυνση. Η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και με την τοποθέτηση μεταλλικών επαφών πάνω και κάτω από το κύτταρο το βγάζουμε για εξωτερική χρήση. Αυτό το ρεύμα μαζί με την τάση του Φ/Β κυττάρου (που είναι αποτέλεσμα των ηλεκτρικών πεδίων του κυττάρου) καθορίζει την ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγει το κύτταρο.

Αυτή είναι η βασική διαδικασία, αλλά ας δούμε ένα παράδειγμα ενός Φ/Β κυττάρου.

Το κύτταρο του κρυσταλλικού πυριτίου.

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

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

Όταν διοχετεύουμε ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, για παράδειγμα με τη μορφή θερμότητας, μερικά ηλεκτρόνια σπάζουν τους δεσμούς τους και φεύγουν από τα άτομά τους. Τότε δημιουργείται μια κενή θέση στο άτομο. Αυτά τα ηλεκτρόνια περιφέρονται τυχαία μέσα στο κρυσταλλικό πυρίτιο ψάχνοντας να μπουν σε μια άλλη θέση. Έτσι μεταφέρουν την ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα). Είναι όμως τόσο λίγα που δεν είναι χρήσιμα. Το πυρίτιο όμως με άτομα φωσφόρου είναι κάτι διαφορετικό. Χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ελευθερωθεί το επιπλέον ηλεκτρόνιο του φωσφόρου αφού αυτό δεν σχηματίζει δεσμό με άλλο – τα γειτονικά ηλεκτρόνια δεν το συγκρατούν. Σαν αποτέλεσμα, τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η διαδικασία μίξης ατόμων κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί πυρίτιο που ονομάζεται πυρίτιο τύπου n (negative, αρνητικό) εξαιτίας της υπεροχής του αριθμού των ηλεκτρονίων και είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

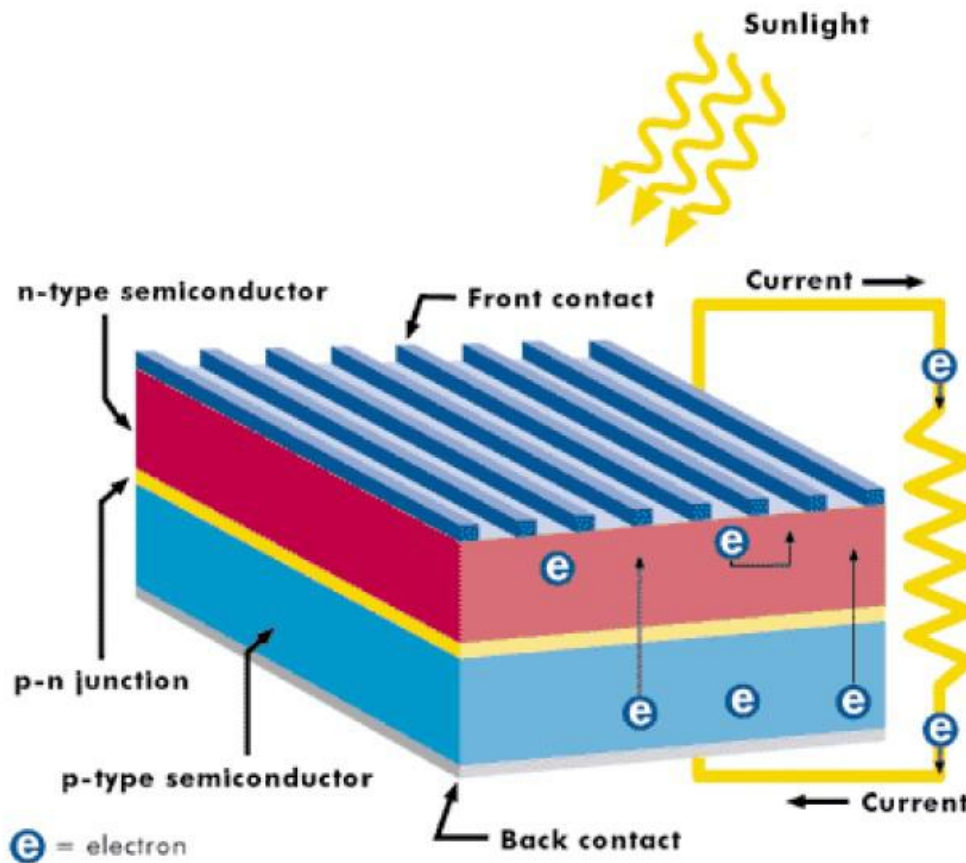
Στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος του Φ/Β κυττάρου είναι πυρίτιο τύπου n. Το άλλο μέρος είναι ανάμειξη κρυσταλλικού πυριτίου με βόριο το οποίο έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί για 4 και μετατρέπεται σε πυρίτιο τύπου p. Αντί να έχει ελεύθερα ηλεκτρόνια το πυρίτιο τύπου p (positive,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

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

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

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

Όταν το φως, με μορφή φωτονίων, πέφτει σε ένα Φ/Β κύτταρο η ενέργειά του ελευθερώνει ηλεκτρόνια και θέσεις. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια φυσιολογικά θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μία κενή θέση. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μία ελεύθερη θέση βρεθούν κοντά στο πεδίο θα στείλει το ηλεκτρόνιο στο πυρίτιο n και την κενή θέση στο πυρίτιο p . Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισορροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιήσουμε μία εξωτερική οδό τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση που το ηλεκτρικό πεδίο απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος. Με ρεύμα και τάση έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα που είναι παράγωγο αυτών των δύο.



Εικόνα 3.1. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

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

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

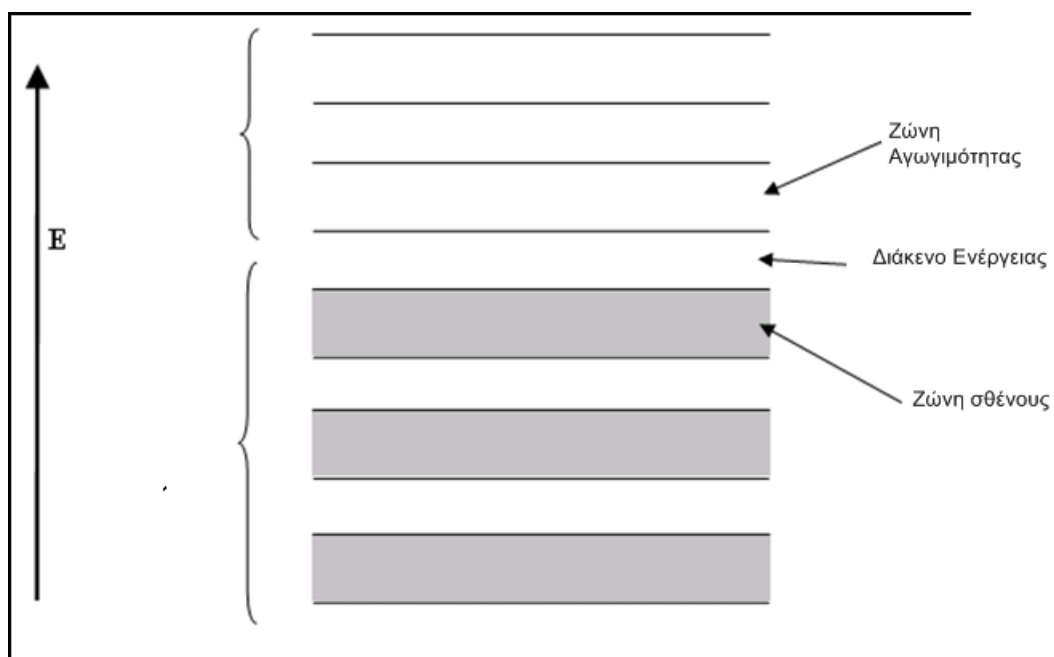
Μόνο ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, το οποίο εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένο το κύτταρο, απαιτείται για να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Η επιπλέον ενέργεια χάνεται εκτός και αν η ενέργεια του φωτονίου είναι διπλάσια από την απαιτούμενη και ελευθερώσει δύο ηλεκτρόνια.

Συνοψίζοντας, η εμφάνιση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα μιας διόδου η οποία ακτινοβολείται με ηλιακή ενέργεια, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η ακτινοβολία, παράγεται συνεχές ρεύμα από τη διόδο, το

οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει ένα οποιοδήποτε φορτίο συνεχούς ρεύματος και κατά συνέπεια να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

3.3 Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί

Όπως είναι γνωστό από την φυσική, τα μέταλλα μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν πολλά ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγής. Από την άλλη πλευρά, οι μονωτήρες, που δύσκολα μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, δεν έχουν ηλεκτρόνια στο φάσμα αυτό.



Εικόνα 3.2: Ενεργειακές Ζώνες

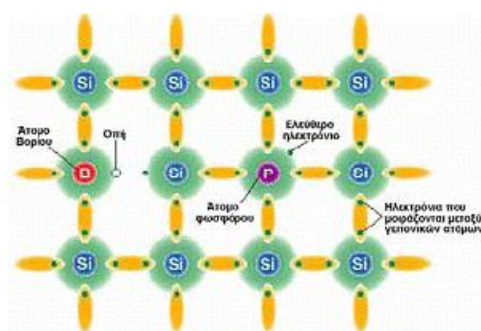
Η ποσότητα της ενέργειας που έχει ένα ηλεκτρόνιο, βρίσκεται μέσα σε μία από τις διάφορες ενεργειακές «ζώνες». Τα ηλεκτρόνια που κρατούν τα άτομα ενός υλικού μαζί, είναι στο χαμηλότερο φάσμα από κατάσταση ενέργειας, γνωστή ως «φάσμα σθένους». Αν ένα ηλεκτρόνιο λάβει αρκετή ενέργεια, είναι δυνατόν να προχωρήσει σε μία υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Αυτή η κατάσταση είναι γνωστή ως «φάσμα αγωγής». Η ενέργεια που χρειάζεται για την κίνηση αυτή ονομάζεται «ενεργειακό διάκενο» και το μέγεθός της ποικίλλει. Στο φάσμα αγωγής, τα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να κυκλοφορούν στο εσωτερικό του υλικού και ως αποτέλεσμα, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Τα στερεά υλικά ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα κατατάσσονται σε αγωγούς, μονωτές και ημιαγωγούς. Η διαφορά τους έγκειται στο πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δηλαδή αυτών που μπορούν να επιταχυνθούν υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου.

Οι αγωγοί έχουν άφθονα τέτοια ηλεκτρόνια, οι ημιαγωγοί (στις συνηθισμένες θερμοκρασίες) πολύ λίγα και οι μονωτές πρακτικά καθόλου.

3.3.1 Ημιαγωγοί

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μία ριζική μεταβολή.



Εικόνα 3.3: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης

Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομά του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μία αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μία ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μία δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια $h\nu$ μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ($E_g < h\nu$), δεν μπορούν να απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Ανόμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ($E_g < h\nu$), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να διεγερθεί προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν τώρα ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορο, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε παράγεται ημιαγωγός προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα.

Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς (Εικόνα 3.3). Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινηθεί σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν (P^+) που μένει ακίνητο στο πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (τύπος- η ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με τη πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς (Εικόνα 3.3). Με την απορρόφηση ενός μικρού ποσού ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατιόν (B^+). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας) ή δότης οπών (τύπος-p ημιαγωγός).

3.4 Υλικά και Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

3.4.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- ❖ Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- ❖ Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- ❖ Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους $125^{\circ}C$ κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- ❖ Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

3.4.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Το πάχος τους κυμαίνεται γύρω στα 3 χιλιοστά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν, όμως, μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

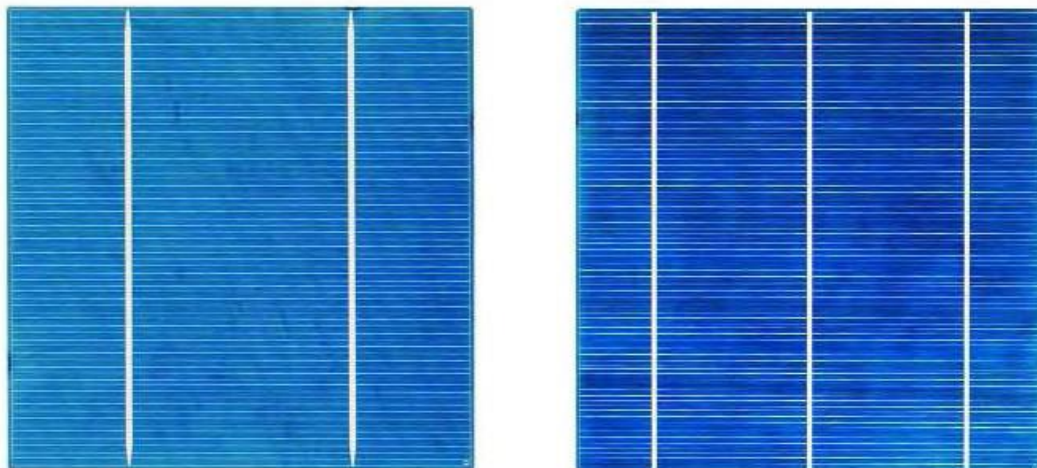


Εικόνα 3.4 - Μονοκρυσταλλικό ηλιακό κελί.

3.4.1.2 Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα

μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 3.5: Κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου

3.4.1.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13%, ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά.



Εικόνα 3.6: Κελί ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

3.4.1.4. Κρυσταλλικό Πυρίτιο λεπτού φιλμ (c-SiTFC)

Η τεχνολογία λεπτού φιλμ έχει ως σκοπό την μείωση του κόστους, μέσω της μείωσης του απαιτούμενου υλικού για την παραγωγή των στοιχείων. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει κατευθείαν σε γυαλί, κεραμικό ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υπόστρωμα. Εκτός από το μειωμένο κόστος, πλεονεκτούν και στην ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει σύνδεσή τους σε σειρά, φτιάχνοντας έτσι ολόκληρα πλαίσια κατά τη διαδικασία εναπόθεσης. Από την άλλη, όμως, η διαδικασία αυτή είναι απαιτητική καθώς μεγάλες περιοχές πρέπει να παραχθούν χωρίς ελαττώματα.

Παρόλο που το c-SiTFC έχει πάχος μερικών μόνο μm (5 μέχρι 50 μm), έχει αποδειχθεί θεωρητικά, αλλά και στην πράξη ότι εμφανίζει αξιόλογη απόδοση. Το κλειδί στην τεχνολογία είναι ο έξυπνος οπτικός σχεδιασμός, με αποτέλεσμα το φως μέσω ανακλάσεων να διαγράφει τελικά διαδρομή 30 φορές ή και περισσότερο, μεγαλύτερη από το πάχος του φιλμ. Εκτός από το πλεονέκτημα της μειωμένης απαίτησης σε πυρίτιο, το c-SiTFC δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στο υλικό του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι χαμηλής ποιότητας πυρίτιο, γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης. Υπάρχει εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά το c-SiTFC που έχει αναδείξει την υψηλή απόδοση που μπορεί να πετύχει (μέχρι 21% κάτω από ιδανικές συνθήκες). Παρόλο που έχει εμφανίσει σημαντική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία λίγες εταιρίες το έχουν περάσει στη γραμμή παραγωγής ως εμπορικό προϊόν.

3.4.1.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων 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. Επίσης, υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.



Εικόνα 3.7: Φωτοβολταϊκά πάνελ από άμορφο πυρίτιο

3.4.2 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



Εικόνα 3.8: Κελί Καδμίου-Τελλουρίου

3.4.3 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταικα στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταικά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



Εικόνα 3.9: Κελί Γαλλίου-Αρσενικούχο

3.4.4 Κελιά χαλκού-Ινδίου/Γαλλίου- Δισεληνιούχο

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχο και χακλού-γαλλίου-δισεληνιούχο (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9% που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτού υμενίου. Τέλος, το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το Ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση.



Εικόνα 3.10: Κελί CIGS

3.4.5. Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

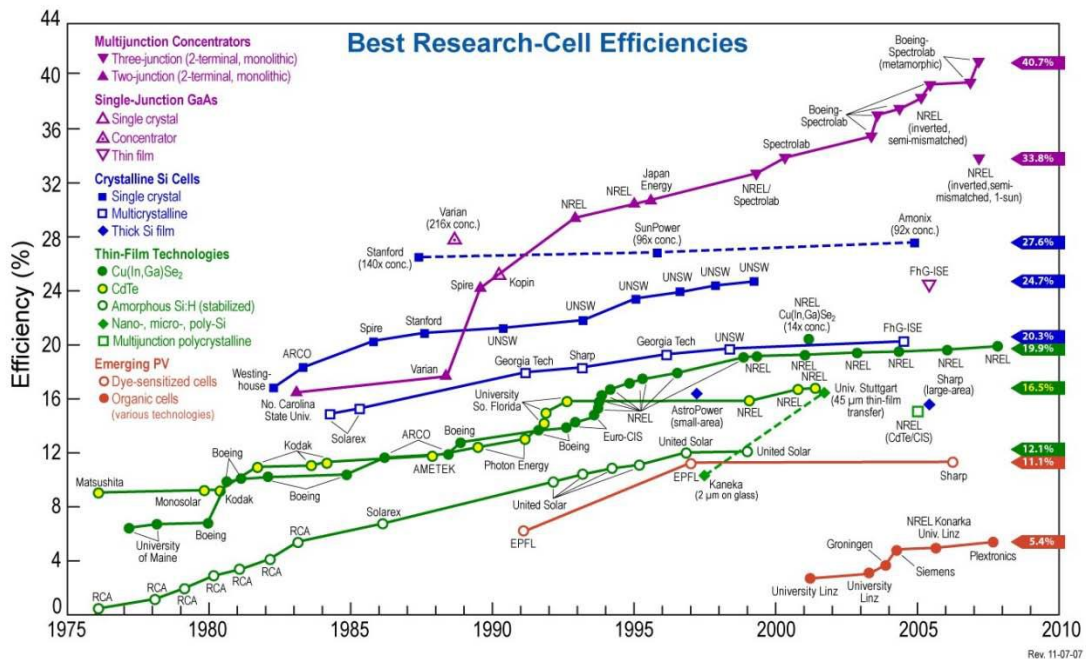
HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μία στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκαταστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

3.4.6. Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους:

- ❖ Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- ❖ Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγώγιμες p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.



Εικόνα 3.11: Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

3.4.7. Συγκεντρωτικό για όλες τεχνολογίες

Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

απόδοση : 14-19%

πλεονεκτήματα :

- ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή
- υψηλός βαθμός απόδοσης

μειονεκτήματα :

- υψηλό κόστος παραγωγής
- μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής
- ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής τους

Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

απόδοση : 10-14%

πλεονεκτήματα :

- πιο οικονομική διαδικασία παραγωγής σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό
- τετραγωνικά δισκία επιτρέπουν μεγαλύτερο συντελεστή κάλυψης

μειονεκτήματα :

- χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό
- μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής

Thin film πυρίτιο

απόδοση : <17%

πλεονεκτήματα :

- λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό
- φθηνό υλικό υποστρώματος

μειονεκτήματα :

- περιορισμένη εμπορική παραγωγή

Άμορφο πυρίτιο

απόδοση : 6-9%

πλεονεκτήματα :

- χαμηλότερο κόστος παραγωγής σε σχέση με το κρυσταλλικό
- υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας

μειονεκτήματα :

- μικρός βαθμός απόδοσης
- βαθμιαία μείωση της απόδοσης με το πέρασμα του χρόνου

Δισεληνιούχος ινδιούχος χαλκός

απόδοση : <10%

πλεονεκτήματα :

- υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας
- δεν εμφανίζει βαθμιαία πτώση απόδοσης όπως το άμορφο πυρίτιο

μειονεκτήματα :

- πολύπλοκο υλικό
- αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική του διαδικασία
- περιορισμένη εμπορική παραγωγή

Τελουριούχο κάδμιο

απόδοση : 6-13%

πλεονεκτήματα :

- υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας
- χαμηλό κόστος παραγωγής

μειονεκτήματα :

- περιορισμένη εμπορική παραγωγή
- αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική του διαδικασία

Αρσενικούχο γάλλιο

απόδοση : 25-30%

πλεονεκτήματα :

- μεγάλος βαθμός απόδοσης
- υψηλή θερμική αδράνεια

μειονεκτήματα :

- πενταπλάσιο κόστος παραγωγής από αυτό των κρυσταλλικών

Ribbon πυρίτιο

απόδοση: <15%

πλεονεκτήματα:

- λιγότερες απώλειες κατά τη διαδικασία παραγωγής

μειονεκτήματα:

- χειρότερη ποιότητα πυριτίου σε σχέση με το κρυσταλλικό
- περιορισμένη εμπορική παραγωγή

Υβριδικές τεχνολογίες

απόδοση : <19%

πλεονεκτήματα :

- υψηλή απόδοση ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες
- υψηλή απόδοση σε συνθήκες νέφωσης


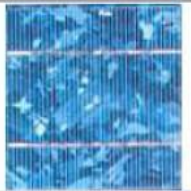

μειονεκτήματα :

- υψηλό κόστος παραγωγής λόγω μονοκρυσταλλικού πυριτίου και άλλων υλικών

Τεχνολογία	Μονοκρυσταλλικά (monocrystalline)	Πολυκρυσταλλικά (polycrystalline)	Λεπτού υμενίου (thin film)		
			a-Si	CdTe	CIS
Μέγιστη απόδοση σε STC	19%	15%	8,5 %	11%	11%
Μέσος όρος αποδοσης σε STC	14%	13%	6%	8%	8%

Θερμοκρασιακός συντελεστής στην ονομαστική ισχύ	-0,3 / -0,5	-0,3 / -0,5	-0,2	-0,2	-0,2
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	7 – 8 m ²	8 - 10 m ²	10 - 20 m ²		

Πίνακας 3.1. Διάφορα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τεχνολογιών των πλαισίων

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

Πίνακας 3.2. Βασικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών των Φ/Β κελιών

3.5 Φωτοβολταϊκή Γεννήτρια

3.5.1. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV Module)

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

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

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

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

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

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

ακριβότερο το μονοκρυσταλλικό. Παρατηρούμε δηλαδή μια πολύ μικρή διαφορά απόδοσης σε αντίθεση με την ουσιαστική διαφορά στην τιμή. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται ως επί των πλείστων τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια.

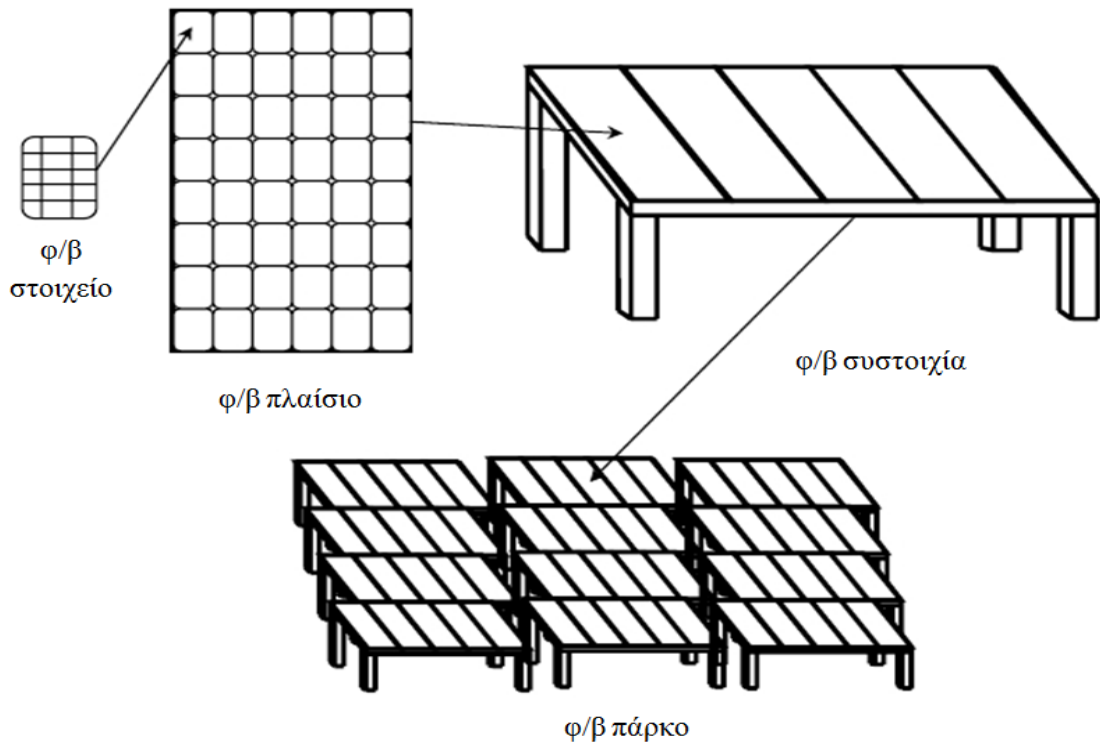
3.5.2. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία

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

Η **σύνδεση σε σειρά** χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα συνδεθούν σε σειρά πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_k) και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος.

Η **παράλληλη σύνδεση** χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα πρέπει να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος (U_L).

Με τη **μικτή σύνδεση** πετυχαίνουμε να αυξήσουμε το ρεύμα και την τάση ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά φωτοβολταϊκά πλαίσια. Από τεχνικής απόψεως η μικτή σύνδεση είναι συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει ότι ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις. Η τάση της συστοιχίας αυτής καθορίζεται από τα στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε σειρά ενώ το συνολικό ρεύμα από τις παράλληλες ομάδες.



Εικόνα 3.12: Δομικά στοιχεία Φ/Β συστήματος

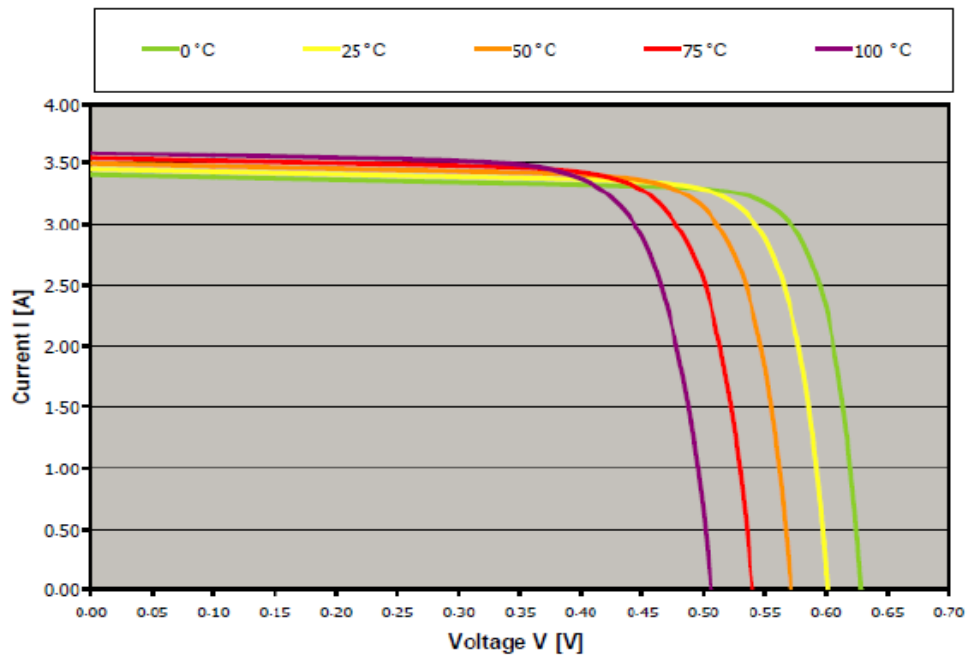
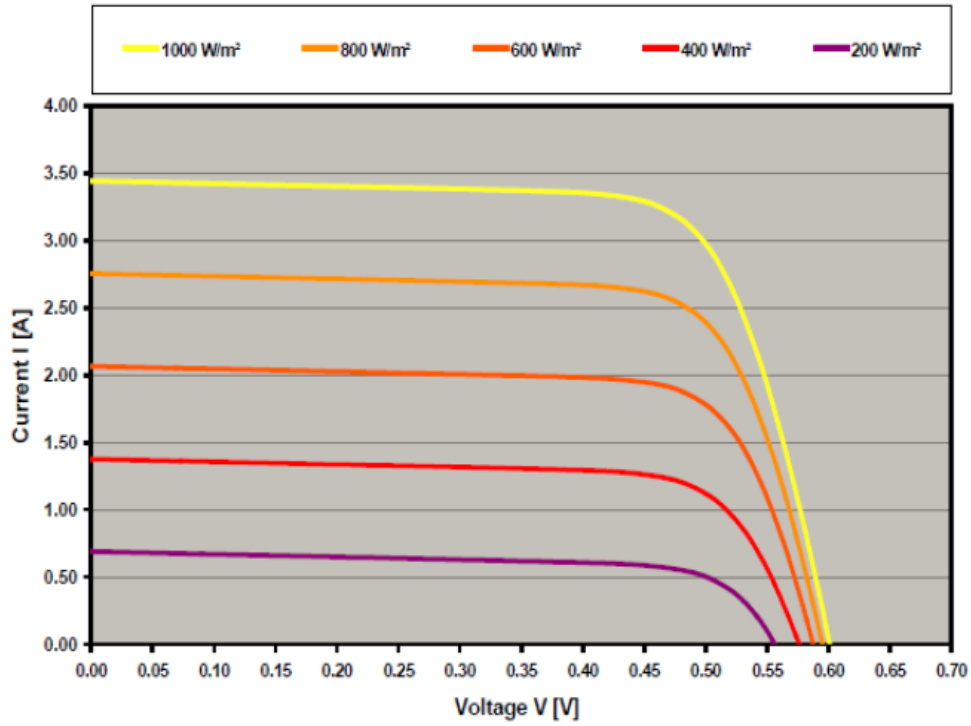
3.5.3. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

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

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

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

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



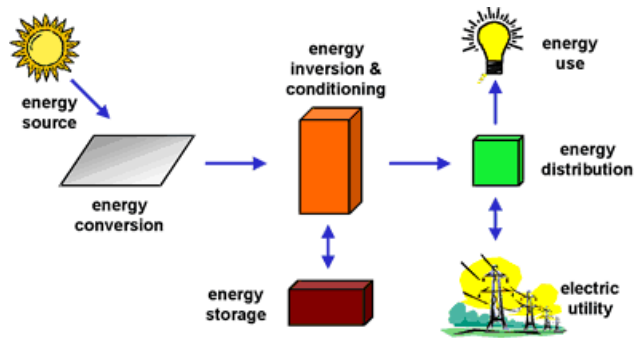
Εικόνα 3.13-3.14: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας & της θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική ενός ηλιακού κελιού

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

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

3.6 Βασική λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος

Τα Φ/Β συστήματα είναι όπως οποιαδήποτε άλλα συστήματα που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια, μόνο που ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιείται για τα συμβατικά ηλεκτρομηχανικά παραγωγικά συστήματα. Εντούτοις, οι αρχές της λειτουργίας και της διασύνδεσης με άλλα ηλεκτρικά συστήματα παραμένουν το ίδιο πράγμα, και καθοδηγούνται από ένα καθιερωμένο σώμα των ηλεκτρικών κωδικών και προτύπων. Αν και μια Φ/Β διάταξη παράγει την ισχύ όταν εκτίθεται στο φως του ήλιου, διάφορα άλλα στοιχεία απαιτούνται για να διευθύνουν κατάλληλα, να ελέγξουν, να μετατρέψουν, να διανείμουν, και να καταχωρήσουν την ενέργεια που παράγεται από τη διάταξη. Ανάλογα με τη λειτουργικότητα και τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα συγκεκριμένα στοιχεία που απαιτούνται, και μπορούν να περιλάβουν τα σημαντικά συστατικά όπως έναν μετατροπέα ισχύος συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος, μια τράπεζα μπαταρίας, έναν ελεγκτή του συστήματος και της μπαταρίας, βοηθητικές πηγές ενέργειας και μερικές φορές το προσδιορισμένο ηλεκτρικό. Επιπλέον, μια ταξινόμηση της ισορροπίας του υλικού του συστήματος (Balance Of System BOS), συμπεριλαμβανομένης της καλωδίωσης, πιθανής υπερφόρτωσης, προστασία κύματος και αποσύνδεση συσκευών, και άλλο εξοπλισμό επεξεργασίας ισχύος. Η εικόνα 3.15 εμφανίζει ένα βασικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και της σχέσης των μεμονωμένων συστατικών.



Εικόνα 3.15: Συνθέσεις μεγάλου φωτοβολταϊκού συστήματος

3.7 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων

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

- Μηδενική ρύπανση
- Αθόρυβη λειτουργία
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- Απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- Ελάχιστη συντήρηση

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

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

Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

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

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

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

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να 1περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

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

Τα φωτοβολταϊκά, εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμη προσέλκυση πελατών και αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται

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

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

Τα μειονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι τα εξής:

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

3.8 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον σε τρεις φάσεις:

1. κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής τους,
2. κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους και
3. ως αποτέλεσμα της ανάρμοστης διάθεσης των σπασμένων ή ξεπερασμένων υπομονάδων.

Η επεξεργασία κατασκευής των περισσότερων Φ/Β υπομονάδων απαιτεί τη χρήση μερικών τοξικών υλικών, και τα κατάλληλα Φ/Β συστήματα και οι διαδικασίες πρέπει

να καθιερώνονται για να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο για τους υπαλλήλους. Στην επεξεργασία α-Si/a-SiGe διαδοχικών υπομονάδων, τα BP Solar χρησιμοποιούν τοξικά αέρια. Το αέριο υλικό πρόσμιξης για τα θετικά-στρώματα είναι λιγότερο τοξικό. Εάν υπάρξει διαρροή στις γραμμές αερίου, τότε θα αναφλεχθεί, και το αέριο υλικό πρόσμιξης θα οξειδωθεί. Όλα τα αέρια εξάτμισης περνούν μέσω ενός κιβωτίου και η σκόνη συλλέγεται σε ένα χώρο διάθεσης. Η σκόνη αποτελείται κυρίως από το διοξείδιο πυριτίων που λιώνεται με τα μικρά ποσά οξειδίων του γερμανίου, του βορίου και του φωσφόρου. Η διαδικασία που χρησιμοποιείται από την BP Solar για την κατασκευή των υπομονάδων α-Si δεν χρησιμοποιεί οποιοδήποτε διαλύτη, οξέα ή άλλες υγρές χημικές ουσίες (εκτός από τα απορρυπαντικά στο νερό για τον καθαρισμό των υποστρωμάτων). Δεδομένου ότι όλες υπομονάδες διαμορφώνονται και αλληλοσυνδέονται, εκτελούνται χρησιμοποιώντας τα λείζερ, δεν υπάρχουν επιβλαβές προϊόντα αποβλήτων ή εκροές που παράγονται στην κατασκευαστική διαδικασία. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι Φ/Β υπομονάδες α-Si δεν περιέχουν οποιαδήποτε τοξικά υλικά, δεν υπάρχει κανένας περιβαλλοντικός κίνδυνος που συνδέεται με τη θραύση υπομονάδων, φωτιές ή τη μακροπρόθεσμη διάθεση σε επιχωματώσεις σκουπιδιών.

3.9 Περιβαλλοντικά οφέλη

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων παρουσιάζουν αισθητή αύξηση τα τελευταία χρόνια. Το 2000, μετρήθηκαν συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) 107.6Mtons, εκ των οποίων το 89% προέρχεται από ενεργειακές χρήσεις. Με βάση το 1990, ως έτος αρχικών μετρήσεων παρατηρείται σταδιακή αύξηση των αερίων ρύπων και ιδιαίτερα του CO₂ κατά 23.4%. Βασική αιτία αυτής της μεταβολής είναι η αύξηση των εκπομπών από τις δραστηριότητες του ενεργειακού τομέα (ΚΑΠΕ). Με τη χρήση ηλιακών ενεργητικών συλλεκτών με στόχο την αντικατάσταση του ηλεκτρικού ρεύματος θα έχουμε τα εξής περιβαλλοντικά οφέλη:

- Εξοικονόμηση καυσίμων που ισοδυναμεί με 50-70kg πετρελαίου ανά m² ηλιακού συλλέκτη ανά έτος,
- Μείωση εκπομπών CO₂ άνω των 750kg/m² ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (όταν υποκαθιστούμε ηλεκτρικό ρεύμα),
- Μείωση εκπομπών CO₂ άνω των 250kg/m² ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (όταν υποκαθιστούμε πετρέλαιο).

Τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύψουν με την χρήση των ηλιακών συλλεκτών είναι πολύ σημαντικά, γι' αυτό μια εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων θα πρέπει πριν απορριφθεί λόγω υψηλού κόστους να μελετηθεί, διότι μπορεί να δώσει λύσεις στα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας, την εξάντληση των συμβατών καυσίμων και την ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα.

3.10 Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

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

- Αξιοποίηση μιας εγχώριας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλική προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και στο κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικώς χρεώνεται η ΔΕΗ.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου τις ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από το πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγόμενη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού/καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και στην περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.
- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανίας Φ/Β Συστημάτων με άριστες προοπτικές για πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας. Εκτίμηση 2004: 2 βιομηχανίες για κατασκευή Φ/Β, 3 ΜΜΕ για ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος και 3 μονάδες παραγωγής μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές.

Πρώθηση των στόχων της ΕΕ και του Κιότο σχετικά με τη μείωση των αερίων ρύπων και τη διείσδυση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, σε ποσοστό 20% έως το 2010.

Κεφάλαιο 4^ο:

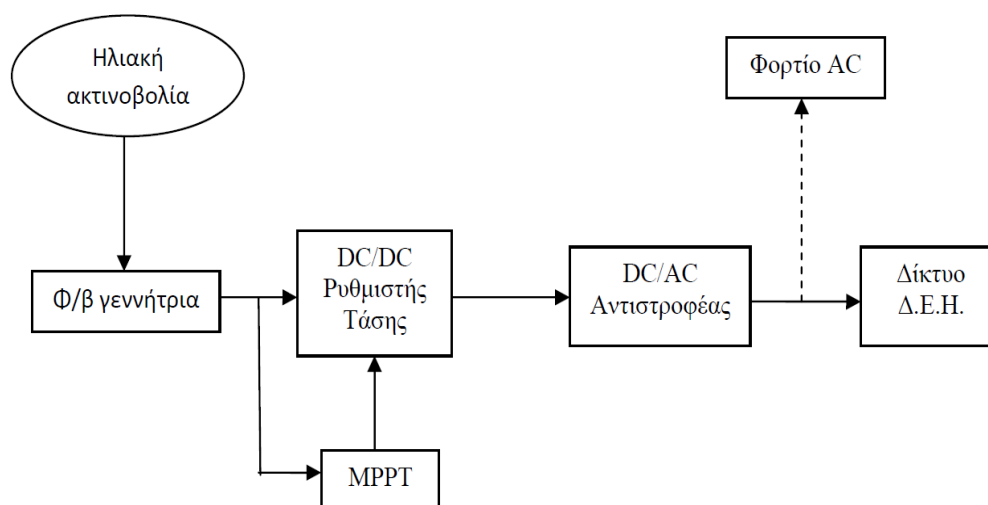
Φωτοβολταϊκό Σύστημα

4.1. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

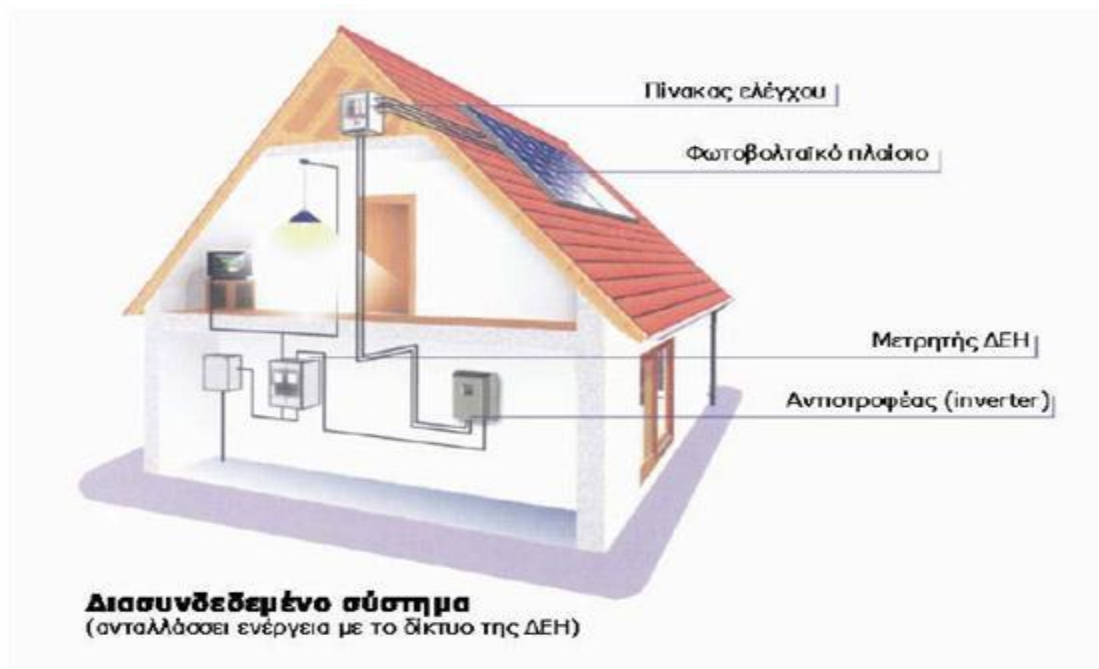
Ανάλογα με την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

❖ Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει, διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία, τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι, στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ηλεκτρική ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.



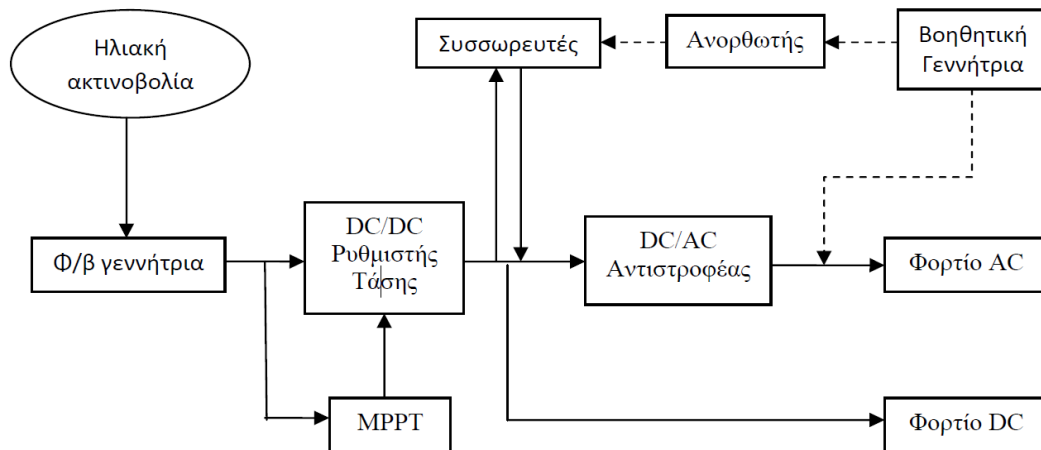
Εικόνα 4.1: Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος



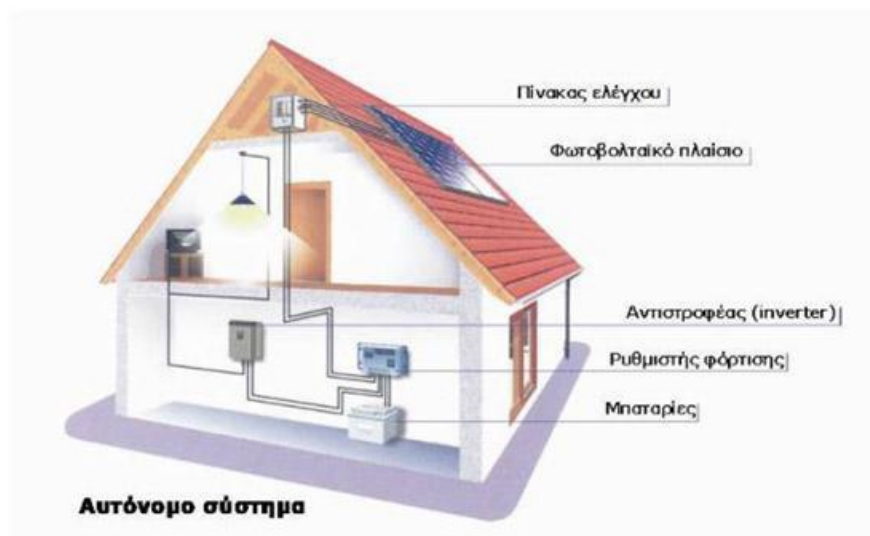
Εικόνα 4.2 : Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

❖ Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Σήμερα υπάρχει πληθώρα φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος κα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα, ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυαστούν με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος κλπ) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.



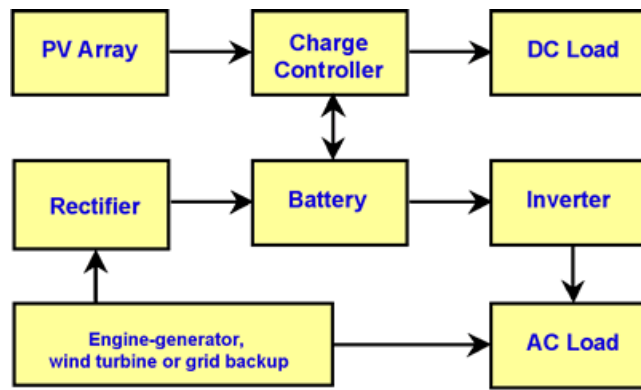
Εικόνα 4.3: Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου φ/β συστήματος. Εάν χρησιμοποιηθεί μια βοηθητική πηγή ενέργειας, όπως φαίνεται στο σχήμα με την διακεκομμένη γραμμή, τότε το σύστημα καλείται υβριδικό φ/β σύστημα.



Εικόνα 4.4: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

❖ Υβριδικά φωτοβολταϊκά πλαίσια

Πρόκειται για αυτόνομα συστήματα που αποτελούνται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας όπως μία γεννήτρια πετρελαίου ή άλλη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.



Εικόνα 4.5: Υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

4.2 Τρόποι Στήριξης Φ/Β πάνελ

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

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

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

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

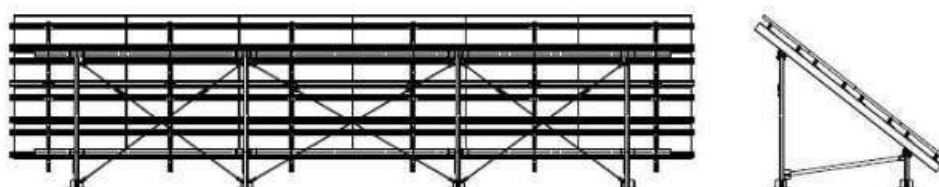
1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις»
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers).

4.2.1. Σταθερές Βάσεις

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξειδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού. Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμεπηξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων.

Η εδαφόμεπηξη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5-1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση. Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμεπηξη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμεπηξη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων. Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πάνελ, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση. Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργω. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πάνελ (τυπικά 1,6 x 1 μέτρο για κρυσταλλικά πάνελ). Τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή (συνηθέστερα) σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά τη μικρή διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού.

Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.



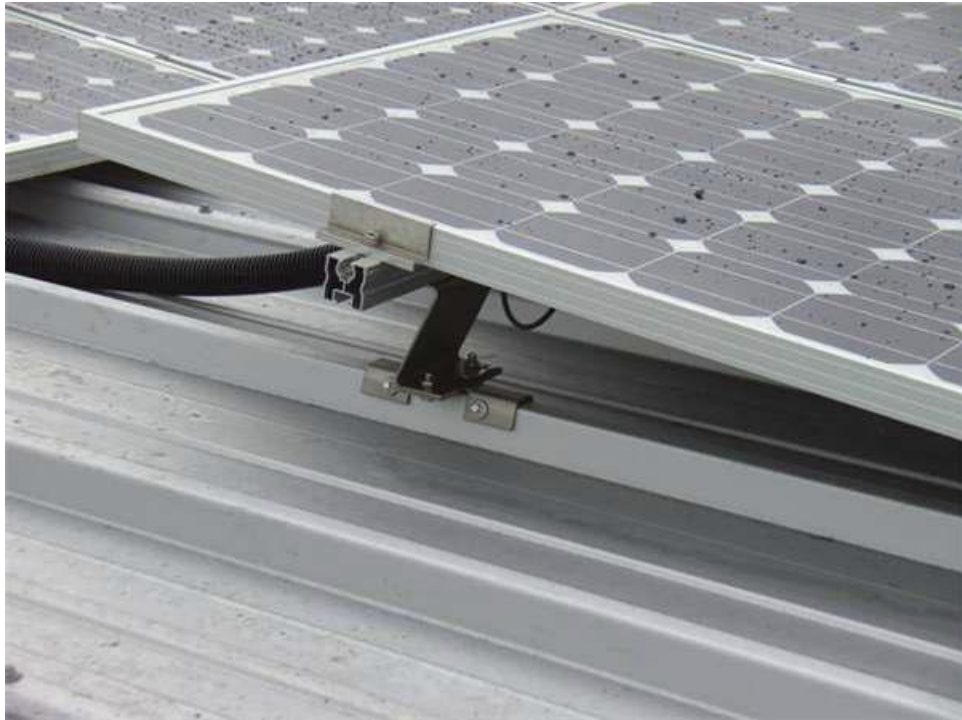
Εικόνα 4.6: Τυπική σταθερή βάση στήριξης



Εικόνα 4.7: Σκυρόδετηση σταθερών βάσεων σε πέγμα από μπετόν



Εικόνα 4.8: Παράδειγμα εδαφόμετη βάση



Εικόνα 4.9: Σταθερές βάσεις σε οροφή κτιρίου



Εικόνα 4.10: Βάσεις στέγης



Εικόνα 4.11: Σταθερές βάσεις για σκεπές

4.2.1.1. Στήριξη σταθερή γωνία με κλίσης του συλλέκτη

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτήρια, π.χ. προσόψεις, στέγες.



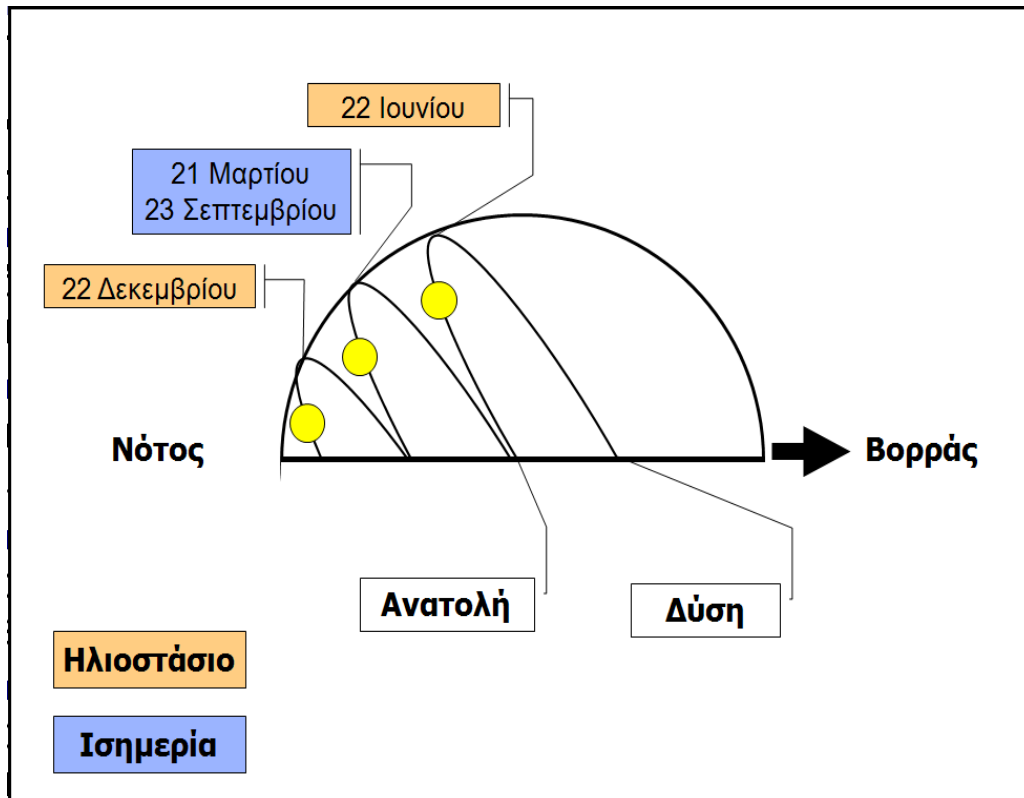
Εικόνα 4.12: Φωτοβολταϊκά ενσωματωμένα σε κτίρια

Παρουσιάζουμε στη συνέχεια τις βασικές αρχές σχεδιασμού

➤ Γωνία κλίσης

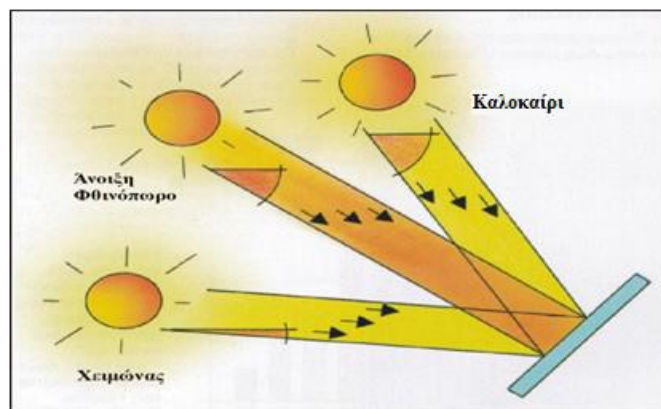
Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Κυρίαρχο ρόλο παίζει η ηλιακή ακτινοβολία και η γωνία πρόσπτωσης της στο Φ/Β πάνελ. Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{ελ}=(90^\circ-\lambda)^1-23,5^\circ$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την

μέγιστη $ELM_{\text{μεγ}} = (90^\circ - \lambda) + 23,5^\circ$, στις 21 Ιουνίου και στη συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Αυτά παρατηρούνται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.13: Μακροσκοπική άποψη των θέσεων του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους

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



Εικόνα 4.14: Μικροσκοπική άποψη των θέσεων του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους

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

ΕΙΔΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	ALBEDO [-]
Λίμνη, θάλασσα	0,05
Άσφαλτος	0,07
Χώμα	0,08
Γρασίδι	0,15
Άσφαλτος βρεγμένη	0,18
Βράχος	0,20
Τσιμέντο	0,24 – 0,30
Κεραμίδια	0,33
Χιόνι	0,60

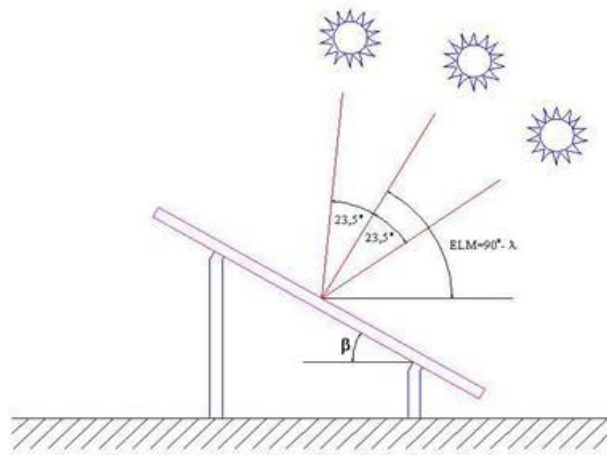
Πίνακας 4.1: Συντελεστής διάχυτης ακτινοβολίας (albedo)

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μικρά λ, γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι 0°. Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία 5°-10° ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).
- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta = \lambda - 10^\circ$.

- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda + 15^\circ$. Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $\beta = \lambda - 15^\circ$.
- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.

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



Εικόνα 4.15 : Στήριξης με σταθερή γωνία κλίσης

➤ Προσανατολισμός

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


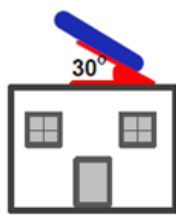
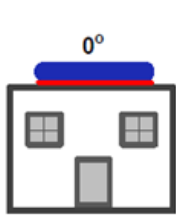
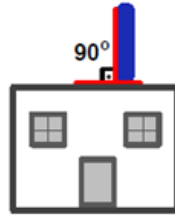
Παρακάτω ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται οι δυνατικές αποδόσεις Φ/B συστημάτων σε συνάρτηση με τη γωνία κλίσης και τον προσανατολισμό.

Από τον Πίνακα 4.2 παρατηρούμε τα εξής:

- Η μέγιστη απόδοση του Φ/B συστήματος παρουσιάζεται για γωνία κλίσης ίση με 30° και νότιο προσανατολισμό.

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

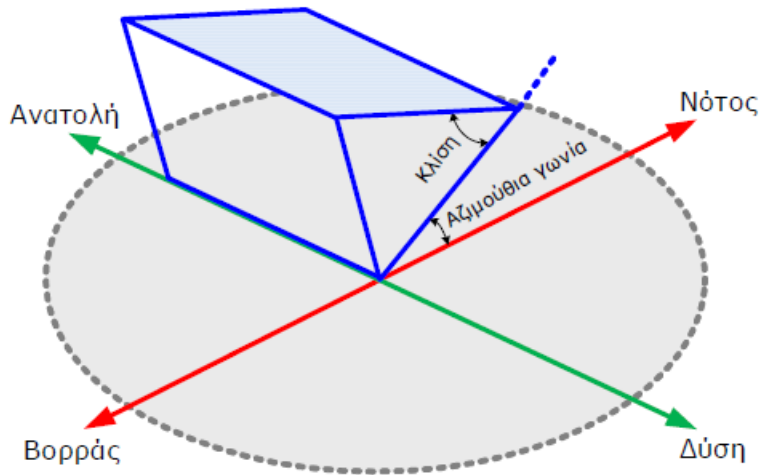
Η απόδοση του συστήματος

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

Πίνακας 4.2: ενδεικτική απόδοση φωτοβολταϊκού συστήματος ανάλογα με τον προσανατολισμό και την κλίση

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση ενός Φ/Β συστήματος πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη γωνία κλίσης και ο κατάλληλος προσανατολισμός. Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών Φ/Β εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να είναι ανέφικτες (λόγω των περιορισμών που προκύπτουν από τις δεδομένες διαθέσιμες επιφάνειες του κτιρίου), θα πρέπει να γίνει εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί η Φ/Β συστοιχία. Η μείωση της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (στην επιφάνεια της Φ/Β συστοιχίας) συγκριτικά με τη μέγιστη θεωρητική τιμή της (βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού) συνίσταται να μην υπερβαίνει το 10% προκειμένου να μεγιστοποιούνται τα οικονομικά οφέλη του ανεξάρτητου παραγωγού. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που προκύπτουν από τις διαθέσιμες επιφάνειες των κτιρίων, προτιμώνται γενικά επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με απόκλιση έως 70°

από την κατεύθυνση του νότου (αζιμούθια γωνία), και κλίσης στο εύρος 0° - 50° . Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών κλίσης άνω των 10° - 15° διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.



Εικόνα 4.16 : Κλίση- Προσανατολισμός

4.2.1.2 Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη

Στην πρώτη περίπτωση, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνίας κλίσης του συλλέκτη με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

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

Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνίας του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνεια, άνεμος, θερμοκρασία κλπ.).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου αυξημένο κατά 10° έως 15° ενώ για τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου μειωμένο κατά 10° έως 15° .

Παρόλο που σε σχέση με τα συστήματα που έχουν σταθερή γωνία κλίσης τους συλλέκτη, με την εποχιακή ρύθμιση καταφέρνουμε μία βελτίωση στην απόδοση του συστήματος, ακόμα υπάρχει περιθώριο βελτιστοποίησης της απόδοσης. Μία πρόταση για περαιτέρω βελτίωση είναι η αλλαγή γωνίας κλίσης τρεις φορές το χρόνο αλλά με μικρότερες αλλαγές στη γωνία κλίσης.

4.2.2. Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια (trackers)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι συλλέκτες τοποθετούνται είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μικρή απολαβή ενέργειας από τον ήλιο ιδιαίτερα στην πρώτη μέθοδο, με σταθερή γωνία κλίσης. Μια βελτιωμένη εκδοχή είναι η δεύτερη μέθοδος με αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη.

Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές ακολουθούν τα «ίχνη» του ηλίου και γι' αυτό ονομάστηκαν ιχνηλάτες. Οι ιχνηλάτες (trackers) στρέφουν τους συλλέκτες έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Με τους ιχνηλάτες υπάρχει μία αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος 30% έως 50% σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ιχνηλατών ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν:

- Στροφή γύρω από έναν άξονα
- Στροφή γύρω από δύο άξονες

4.2.2.1. Στροφή γύρω από έναν άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ' όλη την ημέρα καταλήγοντας στη δύση. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- Ο αζιμουθιακός ιχνηλάτης
- Ο πολικός ιχνηλάτης

Στην περίπτωση του **αζιμουθιακού ιχνηλάτη**, το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη. Δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Για την επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών ακολουθείται η ίδια λογική με τις

προηγούμενες μεθόδους. Δηλαδή τοποθετούνται με σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάσει του γεωγραφικού πλάτους. Χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση ισχύος είναι περίπου 25% έως 35%, εξαρτάται βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.



Εικόνα 4.17: Αζιμουθιακοί ιχνηλάτες

Ένω το σύστημα **με πολικό ιχνηλάτη** περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά τη διάρκεια του έτους η γωνία μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη κυμαίνεται από $-23,45^\circ$ έως $+23,45^\circ$.

Η βασική χρήση των συστημάτων αυτών είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να αποκλείεται και η χρήση τους σε θερμικούς σταθμούς. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα με την εποχή του έτους.

4.2.2.2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis systems)

Οι ιχνηλάτες με στροφή γύρω από δύο άξονες παρακολουθούν και τις δύο κινήσεις του ηλίου και χρειάζονται και τις δύο συντεταγμένες του ηλίου (**αζιμούθιο Z και ύψος ηλίου β**). Η συστοιχία στρέφεται γύρω από δύο άξονες ξεκινώντας από την ανατολή το πρωί και καταλήγοντας στη δύση το απόγευμα. Η κατασκευαστική διαφορά του ιχνηλάτη δύο αξόνων είναι ότι χρειάζονται δύο συστήματα κίνησης, ένα για κάθε κίνηση.

Λόγω της παρακολούθησης του ήλιου και στους δύο άξονες, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας αλλά και για όλο το χρόνο. Έτσι γίνεται σαφές ότι αυτό το σύστημα είναι πιο αποδοτικό από όλα τα προηγούμενα. Η αύξηση της παραγόμενης ισχύος φτάνει και το 50% σε σχέση με τη σταθερή στήριξη και η απόδοσή του φτάνει και το 99,9%. Βεβαίως το κόστος του είναι αρκετά ψηλότερο λόγω της χρήσης διπλών ηλεκτρονικών συστημάτων και της πιο περίπλοκης μηχανολογικής κατασκευής. Ο έλεγχος της κίνησης του ιχνηλάτη γίνεται με δύο τρόπους, με τη χρήση αισθητήρων ή με τη

χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Όσον αφορά τους αισθητήρες, η μέθοδος βασίζεται στη σκίαση των αισθητήρων σε δύο άξονες. Τοποθετούνται δύο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της αζιμουθιακής κίνησης του ιχνηλάτη και αντίστοιχα δύο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της γωνίας του ύψους. Όταν ο έλεγχος γίνεται με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή τότε χρησιμοποιούνται εξισώσεις που για κάθε χρονική στιγμή υπολογίζουν τις συντεταγμένες του ηλίου δηλαδή δίνουν τις τιμές που έχουν οι γωνίες αζιμούθιου και ύψους ηλίου.



Εικόνα 4.18: Ιχνηλάτης δύο αξόνων



Εικόνα 4.19: Ιχνηλάτης δύο αξόνων

4.2.3 Κριτική και γενικά συμπεράσματα για τους ηλιακούς ιχνηλάτες (solar trackers)

Οι trackers πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη όταν ισχύουν και άλλες παράμετροι ως προς τη θέση του τόπου αλλά και ως προς τις μετεωρολογικές του συνθήκες. Υπάρχει ένα αυξημένο κόστος γενικότερα στην

κατασκευή και την εγκατάσταση αλλά οι ηλιακοί ιχνηλάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί βασικό κριτήριο για πολλούς επενδυτές που επιθυμούν το μέγιστο όφελος από την επένδυσή τους.

Η αύξηση αυτή μπορεί να ξεκινάει από 10% (για συστήματα μονού άξονα) και μπορεί να φτάσει ακόμα και το 40% αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου. Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς για να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα.

Η χρήση των trackers πάντως συστήνεται κυρίως σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας (όπως στην Ελλάδα). Για αυτόν ακριβώς το λόγο μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι στην Ισπανία και τη Γερμανία (οι δύο περισσότερο ώριμες αγορές του κόσμου) όπου έχουν τοποθετηθεί πολλά φωτοβολταϊκά πάρκα χρησιμοποιούνται διαφορετικές πρακτικές όσον αφορά τα συστήματα στήριξης. Στη μεν συννεφιασμένη Γερμανία τα συντριπτικά περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα είναι σταθερά, ενώ στην Ισπανία οι trackers έχουν κατακτήσει ένα πολύ σημαντικό μερίδιο της αγοράς.

Από την άλλη πλευρά θα ήταν χρήσιμο εκτός από το μεγαλύτερο κόστος της επένδυσης να συνυπολογιστεί και το σχετικά μεγαλύτερο κόστος συντήρησης που οφείλεται στην αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος λόγω της ύπαρξης κινητών μερών. Ακόμα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ένα μικρό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την περιστροφική κίνηση των συστημάτων αλλά και ότι υπάρχει ανάγκη για απομακρυσμένο έλεγχο του συστήματος (τηλεπικοινωνιακά) ώστε να αποφευχθεί πιθανή αστοχία στη λειτουργία των trackers αλλά και πιθανή καταστροφή τους από ακραία καιρικά φαινόμενα.

Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετές παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός κινητού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό.

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

Παρατηρούμε ότι:

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

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

Πίνακας 4.3. Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε Φ/Β σύστημα στην περιοχή της Λαμίας

4.3 Σκίαση

Πολύ κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η σκίαση. Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σκιάζεται ακόμη και εν μέρει παράγει σημαντικά χαμηλότερο ρεύμα και κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια. Το πρόβλημα όμως δε σταματάει εδώ, καθώς το συγκεκριμένο πλαίσιο αποτελεί σημείο συμφόρησης (bottleneck) για όλη την ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένα επιβάλλοντας το χαμηλότερο ρεύμα του σε όλα τα υπόλοιπα μειώνοντας σημαντικά τη συνολική παραγωγή του συστήματος. Πέραν της μειωμένης απόδοσης, επαναλαμβανόμενες τοπικές σκιάσεις σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας καταπονούν το σκιασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προκαλώντας πρόωρη γήρανση, καθώς το ρεύμα των υπόλοιπων πλαισίων καταναλώνεται σε μορφή θερμότητας στο σκιασμένο.

Το πρόβλημα της σκίασης είναι ιδιαίτερος έντονο στα φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες για πολλούς λόγους. Καταρχάς λόγω του περιορισμένου χώρου δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί το σύστημα από παρακείμενα εμπόδια. Τα περισσότερα συστήματα εγκαθίστανται εντός πόλεων όπου τα διαφορετικά ύψη κτιρίων προκαλούν μόνιμες σκιάσεις. Τέλος, πολλά εμπόδια που βρίσκονται ήδη στη στέγη ή την ταράτσα, όπως η απόληξη του κλιμακοστασίου, προεξοχές σοφίτας, σπασίματα της στέγης, καμινάδες, ιστοί κεραιών, θερμοσίφωνες, λέβητες, σύρματα, το στηθαίο της ταράτσας κ.α. προκαλούν δυσεπίλυτα προβλήματα.

Από τα ανωτέρω είναι φανερό ότι σε κάθε περίπτωση πριν τη λήψη της απόφασης για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε στέγη ή ταράτσα θα πρέπει κάθε ιδιοκτήτης να συμβουλευτεί τη γνώμη ενός ειδικού και στην περίπτωση που υπάρχουν σκιάσεις θα πρέπει να εκπονηθεί μελέτη σκιάσεων η οποία θα δώσει στον

ενδιαφερόμενο μια πολύ καλή εκτίμηση των απωλειών λόγω σκιάσεων και θα προτείνει εναλλακτικές λύσεις του προβλήματος

4.4 Αντιστροφείς (inverters)

Με τον όρο αντιστροφέα νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V (ανά φάση) /50 Hz. Οι αντιστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μία Φ/Β εγκατάσταση καθώς όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο. Κατά συνέπεια έχει ιδιαίτερη σημασία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση. Η ΔΕΗ, αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο των αντιστροφέων σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για αυτούς απαιτώντας την ύπαρξη σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν:

1. Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφέων: οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
2. Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

όπου I_1 είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και I_h η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 \times h$ Hz.

3. Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
4. Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126. Το σημείο αυτό πρόκειται να αναλυθεί περαιτέρω στις επόμενες παραγράφους.

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

1. Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11kW.
2. Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7kW έως και 1MW.

Τονίζεται ότι η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφών σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (ΜΤ) της ΔΕΗ.

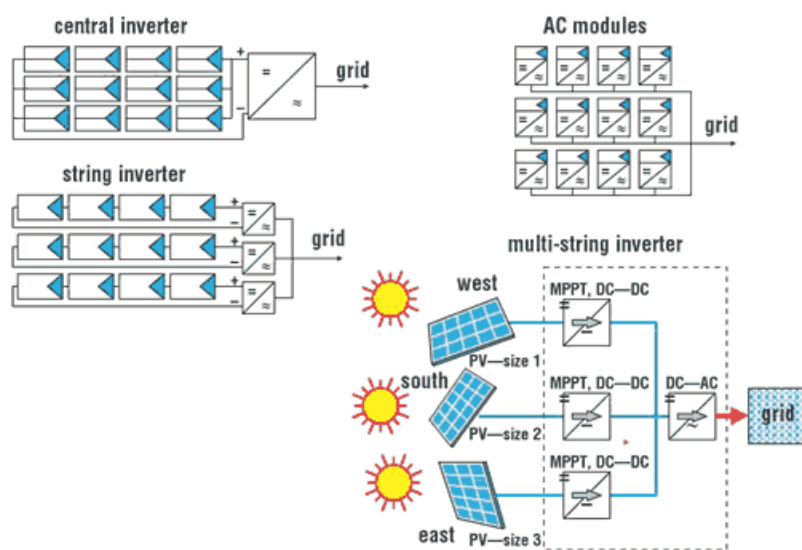
Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε :

1. Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
2. Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless (TL) inverters)

Επιπλέον, ανάλογα της τεχνολογίας διασύνδεσης των Φ/Β πάνελ που χρησιμοποιείται οι αντιστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
2. Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
3. Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
4. Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή Φ/Β πάνελ (module integrated inverters).

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει σχηματικά τις παραπάνω οικογένειες αντιστροφών:



Εικόνα 4.20: Κεντρικός μετατροπέας

4.4.1 Η χρήση του μετασχηματιστή στους αντιστροφείς

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αντιστροφήα είναι αυτός της απομόνωσης της DC πλευράς η οποία συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά πάνελ με την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι κατασκευασμένοι για συχνότητα 50Hz, ή για

υψηλότερη συχνότητα (της τάξης των 10-15kHz) για μικρότερη ισχύ. Οι μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος. Αντιθέτως οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται από πιο εξειδικευμένη κατασκευή.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης του μετασχηματιστή, πέραν του αυξημένου κόστους ανά μονάδα ισχύος, είναι αυτό της εισαγωγής επιπλέον απωλειών που κυμαίνονται μεταξύ 2-4%. Ωστόσο είναι πιθανόν και οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή να εμφανίζουν αυξημένες απώλειες αν χρησιμοποιούνται μετατροπείς ανύψωσης της DC τάσης των Φ/Β πάνελ (DC/DC μετατροπείς ανύψωσης). Επιπλέον, η έλλειψη γαλβανικής απομόνωσης στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, επιβάλλεται η χρήση αντιστροφέων με μετασχηματιστή. Μία τέτοια περίπτωση είναι αυτή των πάνελ άμορφου πυριτίου όπου υποχρεωτικά συνδέονται σε αντιστροφείς με μετασχηματιστή απομόνωσης.

Μία σύγκριση των δύο οικογενειών αντιστροφέων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

	Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)	Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless-TL)
Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> - Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες - Ευρεία χρήση - Κυρίως χρήση σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος 	<ul style="list-style-type: none"> - Η τάση των Φ/Β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτης της τάσης δικτύου, ή να χρησιμοποιηθούν DC/DC μετατροπείς ανύψωσης
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Ασφάλεια - Πολλά χρόνια λειτουργίας - Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγαλύτερη απόδοση (σε συσκευές χωρίς DC/DC μετατροπείς - Μικρότερος όγκος και βάρος
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Απώλειες μετασχηματιστή (μαγνητικές και ωμικές) - Αυξημένος όγκος και βάρος 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφάλειας - Μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασυμμετρίες - Μεταβολές του σημείου λειτουργίας

Εικόνα 4.21: Σύγκριση αντιστροφέων με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή

4.4.2 Οικογένειες αντιστροφών

4.4.2.1 Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)

Οι κεντρικοί αντιστροφείς αποτελούν το είδος των αντιστροφών που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος, της τάξης από 30-50kW έως και 1-2MW. Για το λόγο αυτό, η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε επίπεδα ισχύος των εκατοντάδων kW οι αντιστροφείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV, ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο MT της ΔΕΗ.

Αρχικά στους κεντρικούς μετατροπείς χρησιμοποιήθηκαν θυρίστορ με χαμηλές συχνότητες μεταγωγής και αυξημένες ανάγκες χρήσης φίλτρων. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα θυρίστορ αντικαταστάθηκαν από τρανζίστορ IGBT με μεγαλύτερες συχνότητες μεταγωγής, τα οποία, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) υλοποιούμενων ψηφιακά, οδήγησαν τους κεντρικούς μετατροπείς στην δημιουργία σχεδόν ημιτονοειδών ρευμάτων εξόδου με χαμηλές απαιτήσεις χρήσης φίλτρων.

Οι κεντρικοί μετατροπείς χαρακτηρίζονται από το μικρό αριθμό εισόδων DC (συνήθως 1-2 εισόδους). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ τα οποία πρέπει να συνδεθούν στην είσοδο τους, επιβάλλει την εκτεταμένη χρήση DC καλωδίων σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες αντιστροφών όπου η καλωδίωση μπορεί να γίνει με AC.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει έναν κεντρικό μετατροπέα στα με μέγιστη ισχύ εισόδου τα 1,4kWp.



Εικόνα 4.22: Κεντρικός Μετατροπέας

4.4.2.2 Αντιστροφείς κλάδων ή στοιχειοσειρών (string Inverters)

Αποτελούν αδιαμφισβήτητα την περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία αντιστροφέων σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων (strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2-8).

Οι αντιστροφείς αυτού του τύπου κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW). Διαθέτουν αρκετή ευελιξία αναφορικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, αρκεί φυσικά να μην παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Επιπλέον είναι σκόπιμο να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό πάνελ.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει ενδεικτικά ορισμένους αντιστροφείς αυτού του τύπου:



Εικόνα 4.23: Μετατροπείς κλάδων

4.4.2.3 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων ή στοιχειοσειρών (multi-string inverters)

Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή στην ουσία κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς.

Οι αντιστροφείς αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ ή σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης.

Λόγω του ειδικού χαρακτήρα της χρήσης τους, η διαθεσιμότητα μοντέλων multi-string είναι σαφώς πιο περιορισμένη απ' ό τι σε συμβατικούς string inverters.



Εικόνα 4.24: Αντιστροφέας πολλαπλών κλάδων

4.4.2.4 Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (Module integrated inverters)

Οι αντιστροφείς αυτοί αποτελούν μία σχετικά νέα κατηγορία χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Σκοπός της χρήσης τους αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά. Οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.

4.4.3 Σημαντικοί παράμετροι λειτουργίας

Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των αντιστροφών:

4.4.3.1 Ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα

Ο (συνολικός) βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου, δηλαδή:

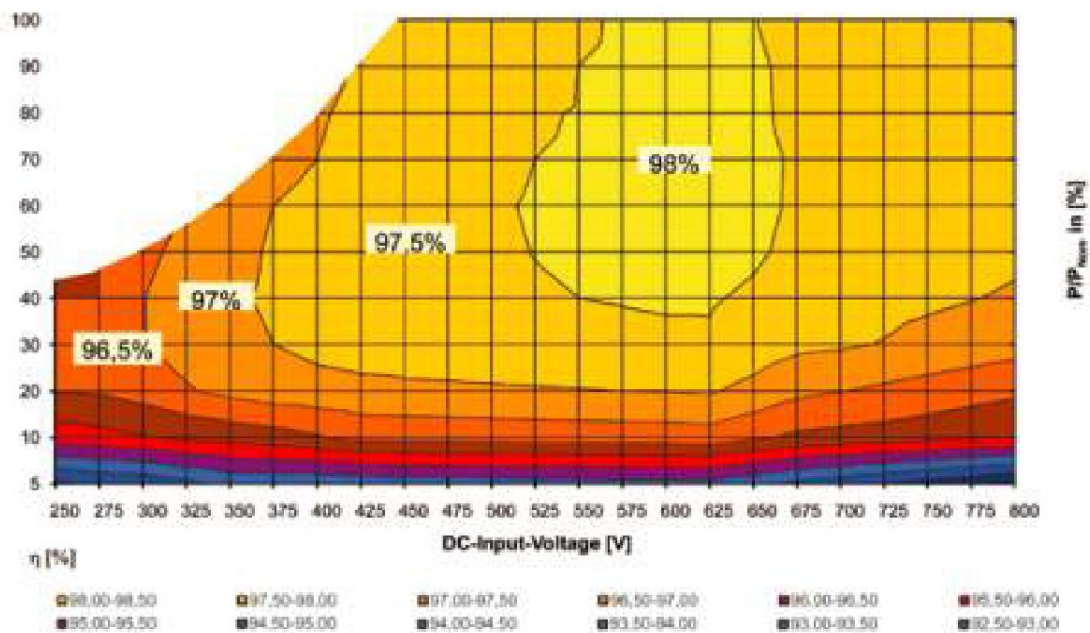
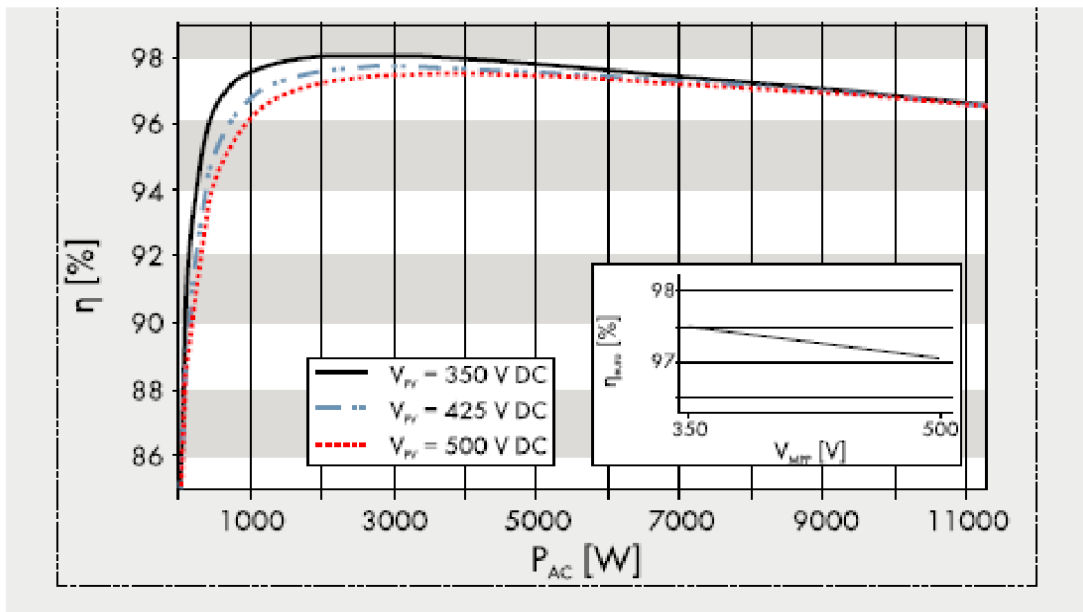
$$\eta(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ.

Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής: απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Για παράδειγμα αν υποθεθεί ότι η μέση παραγωγή σε μία τοποθεσία είναι 1.300kWh/kWp το έτος τότε η μεταβολή κατά 1% (επί της ονομαστικής ισχύος) των απωλειών σε ένα Φ/Β σταθμό 100kWp, θα σήμαινε απώλειες εισόδων της τάξης των 585€/έτος.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης, θεωρώντας ίδιο ποσό φόρτισης του αντιστροφέα, είναι η ύπαρξη ή μη μετασχηματιστή απομόνωσης. Όπως αναφέρθηκε στην αγορά υπάρχουν οι τεχνολογίες αντιστροφών με μετασχηματιστή ή χωρίς. Τυπικές τιμές απόδοσης αντιστροφών με μετασχηματιστή είναι της τάξης του 92-94% με μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (LF) και 94-96% με μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (HF). Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 96-98,5%.

Οι παραπάνω τιμές απόδοσης αναφέρονται στον καταγραφόμενο μέγιστο βαθμό απόδοσης (maximum efficiency). Η τιμή αυτή αναγράφεται πάντα στα τεχνικά φυλλάδια. Ωστόσο θα πρέπει να γνωρίζει κανείς ότι κάθε αντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. Ως βαθμός φόρτισης νοείται το ποσοστό της ισχύος εισόδου του αντιστροφέα, ως προς την ονομαστική ισχύ εισόδου ή η ισχύς εξόδου (ο ακριβής προσδιορισμός εξαρτάται από τον κατασκευαστή). Οι κατασκευαστές παρουσιάζουν τα στοιχεία αυτά με τη μορφή διαγραμμάτων, όπως για παράδειγμα στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 4.25: Παραδείγματα διαγραμμάτων βαθμού απόδοσης αντιστροφών

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα, ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφών εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση αντιστροφών σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, όπου ο

μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Έτσι για **υπέρ-διαστασιολογημένους** αντιστροφείς (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), είναι πιθανό να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Από την άλλη πλευρά, αντιστροφείς που εμφανίζονται **υπό-διαστασιολογημένοι** σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή τράκερ) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο **Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency)**, ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$\eta_E = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%}$$

όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

4.4.3.2 Βέλτιστο σημείο λειτουργίας των Φ/Β πάνελ

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

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ισχύς ενός Φ/Β πάνελ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance, G) και της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν στα τεχνικά φυλλάδια τη μέγιστη ισχύ (Maximum Power Point, MPP) στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου

(STC) οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ίση προς $G=1000\text{W/m}^2$, και θερμοκρασία πάνελ ίση προς 25 βαθμούς Κελσίου. Σε οποιαδήποτε άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο κάθε αντιστροφέας να διαθέτει διατάξεις οι οποίες παρακολουθούν συνεχώς το σημείο λειτουργίας των πάνελ και το μεταβάλλουν, ώστε να αντιστοιχεί κάθε φορά στο σημείο της μέγιστης ισχύος.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται διάφοροι αλγόριθμοι MPPT. Ένας απλός και διαδεδομένος αλγόριθμος είναι αυτός της μεθόδου P&O (perturbation and observe, διαταραχή και παρατήρηση). Στον αλγόριθμο αυτό το σημείο λειτουργίας μεταβάλλεται ελαφρά και παρατηρείται η μεταβολή στην ισχύ: αν η μεταβολή οδηγεί σε αύξηση της ισχύος (θετική παράγωγος), τότε επιβάλλεται νέα μεταβολή, έως το σημείο που η μεταβολή της ισχύος οδηγήσει σε μείωση ισχύος (αρνητική παράγωγος). Τότε το τελικό σημείο λειτουργίας ταλαντώνεται μεταξύ αυτών των δύο σημείων θετικής και αρνητικής παραγωγού, που αντιστοιχεί σε μέγιστο.

Τα τεχνικά φυλλάδια των αντιστροφέων αναφέρονται στο εύρος της DC τάσης εισόδου στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος της μέγιστης ισχύος. Είναι υποχρέωση του μελετητή να εξασφαλίζει ότι σε όλο το δυνατό εύρος λειτουργίας, η DC τάση των Φ/Β πάνελ βρίσκεται εντός των ορίων ελέγχου μέγιστης τάσης, ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του αντιστροφέα.

Επίσης, συχνά τα φυλλάδια των κατασκευαστών αναφέρονται στο βαθμό απόδοσης της παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT efficiency). Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που λαμβάνει ο αντιστροφέας από τα Φ/Β πάνελ προς το (θεωρητικό) ποσό της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να λάβει για μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή ισχύει:

$$n_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_{DC}(t) dt}{\int_0^t P_{MAX}(t) dt}$$

4.4.3.3 Το φαινόμενο της νησιδοποίησης

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding) αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα που έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία (δηλαδή αυτή του δικτύου της ΔΕΗ). Στην περίπτωση αυτή, ο φωτοβολταϊκός σταθμός λειτουργεί ως νησίδα παραγωγής ενέργειας και αν οι αντιστροφείς παραμένουν συνδεδεμένοι ελλοχεύουν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν να εκτελεί εργασίες στο σημείο σύνδεσης ή και για τον ίδιο τον εξοπλισμό από **μεταβατικά φαινόμενα** κατά την αυτόματη ή χειροκίνητη επαναφορά του δικτύου.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρήζει ειδικού χειρισμού από τον αντιστροφέα, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω κατάλληλων μετρήσεων

την ύπαρξη του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 (Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid) ή συμμόρφωση προς το οποίο (ή αντίστοιχο ισοδύναμο του κατά τα πρότυπα άλλων χωρών πλην Γερμανίας ή χωρών που υιοθετούν τους Γερμανικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτική.

Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανα-συνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και η ΔΕΗ ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αντιστροφέων. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της ΔΕΗ κατά τη δοκιμή ηλεκτρίσης του σταθμού και την παραλαβή του.

4.4.3.4 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και συντελεστής ισχύος

Η αρμονική παραμόρφωση του παραγόμενου ρεύματος και ο συντελεστής ισχύος συνδέονται άμεσα με την ποιότητα της παρεχόμενης προς το δίκτυο ισχύος. Ιδανικά, η ισχύς θα πρέπει να μεταφέρεται με συντελεστή ισχύος ίσο προς τη μονάδα, ώστε η άεργος ισχύς του σταθμού να είναι μηδενική και επιπλέον οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος θα πρέπει να είναι σχεδόν ημιτονοειδούς μορφής, ώστε να μην εγχέονται ανεπιθύμητες αρμονικές στο δίκτυο της ΔΕΗ. Ως μέτρο της ποιότητας του ρεύματος αναφορικά με τις αρμονικές του χρησιμοποιείται ο ευρέως διαδεδομένος δείκτης της « ολικής αρμονικής παραμόρφωσης » περισσότερο γνωστός ως THD, από τα αρχικά των λέξεων Total Harmonic Distortion. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

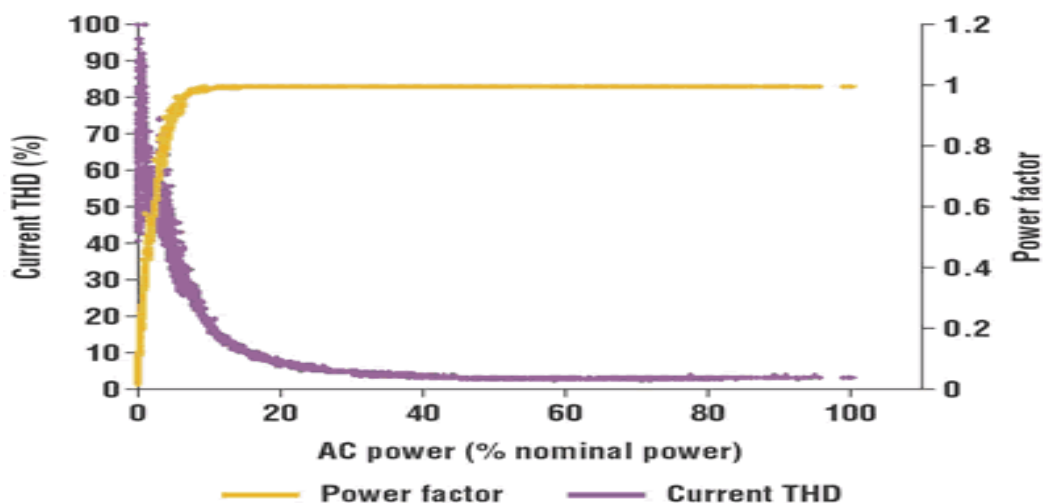
Όπου I_h , $h=2,3,4,\dots$ είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης h (δηλαδή συχνότητας $50 \times h$) και I_1 , είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης 1, δηλαδή της θεμελιώδους των 50Hz.

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για μία αμιγώς ημιτονοειδή κυματομορφή ο συντελεστής THD είναι ίσος με το μηδέν ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα πλάτη των

αρμονικών τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή. Ο παραπάνω ορισμός έχει το μειονέκτημα ότι δεν ποσοτικοποιεί την επίδραση της συχνότητας της κάθε αρμονικής, παραμένει ωστόσο ένα διεθνώς αναγνωρισμένος δείκτης για την παρουσία αρμονικών.

Ο συντελεστής THD του ρεύματος που παράγεται από έναν αντιστροφέα φωτοβολταϊκών συστημάτων προσδιορίζεται στο πρότυπο IEC 61000-3-2. Θεωρώντας το φάσμα αρμονικών έως την αρμονική τάξης 49, ο συντελεστής THD του ρεύματος θα πρέπει να είναι μικρότερος από 5%. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι λόγω της υψηλής συχνότητας μεταγωγής των διακοπών ηλεκτρονικών ισχύος (τεχνολογίας IGBT) που χρησιμοποιούνται στις γέφυρες του αντιστροφέα και της χρησιμοποίησης της τεχνικής διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) οι κυριότερες αρμονικές εμφανίζονται σε πολλαπλάσια της συχνότητας αυτής, σε τάξεις συνήθως μεγαλύτερες από την τάξη 50. Η AC ισχύς για την οποία πρέπει να ισχύει η προδιαγραφή της αρμονικής παραμόρφωσης δεν αναφέρεται και έτσι συνήθως νοείται η ονομαστική ισχύς. Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος αυξάνεται σημαντικά σε φορτία πολύ μικρότερα του ονομαστικού. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά τη μεταβολή του THD και του συντελεστή ισχύος με το φορτίο του αντιστροφέα, όπου φαίνεται ότι η συντελεστής THD είναι κάτω από 5% στο 50% του φορτίου και πάνω. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σχεδόν ίσος προς τη μονάδα ($>0,999$) για φορτία του αντιστροφέα από 20% και πάνω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Γερμανία ισχύει από 1^η Ιουλίου 2010 ότι οι αντιστροφείς που τροφοδοτούν ενέργεια στο δίκτυο μέσης τάσης, θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης του με την παραγωγή ή κατανάλωση άεργου ισχύος. Έτσι εμφανίζονται στην αγορά εκδόσεις αντιστροφέων που έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της άεργου ισχύος και εμφανίζουν συντελεστή ισχύος μικρότερο της μονάδας.



Εικόνα 4.26: Μεταβολή του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος με το φορτίο του αντιστροφέα

4.4.3.5 Έγχυση DC ρεύματος

Μία σημαντική προδιαγραφή που τίθεται για τους αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο είναι αυτή της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο, γεγονός που σχετίζεται και με την ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου. Το δυσμενές αποτέλεσμα της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο είναι η μεταβολή του σημείου λειτουργίας των μετασχηματιστών του δικτύου προς τον κορεσμό, το οποίο οδηγεί σε υψηλό ρεύμα πρωτεύοντος το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει μέσα προστασίας. Επιπλέον επηρεάζεται αρνητικά ο χρόνος ζωής και ο βαθμός απόδοσης των μετασχηματιστών, ενώ καταπονούνται επίσης και οι καλωδιώσεις.

Το θέμα της έγχυσης DC ρεύματος αποκτά σημασία σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (50Hz) πετυχαίνουν γαλβανική απομόνωση μεταξύ της DC και της AC πλευράς και έτσι αποφεύγεται η έγχυση DC ρεύματος. Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, όπου το πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές για μέτρηση ρεύματος και ηλεκτρονικό έλεγχο. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης σε υψηλή συχνότητα, αποτελούν μία ενδιάμεση κατάσταση στο βαθμό που επηρεάζεται ο τύπος του μέσου προστασίας που χρησιμοποιείται για έμμεσες επαφές στην DC πλευρά.

Σήμερα για τη σύνδεση ενός Φ/Β πάρκου η ΔΕΗ θέτει ως απαραίτητο όρο η έγχυση DC να είναι μικρότερη του 0,5% του ονομαστικού ρεύματος και πρέπει να προσκομίστούν τα ανάλογα πιστοποιητικά.

4.4.3.6 Λειτουργία με περιορισμό ισχύος

Η διαφορά ανάμεσα στην ονομαστική ισχύ και την ισχύ λειτουργίας από τα Φ/Β πάνελ προϋποθέτει ότι οι αντιστροφείς θα πρέπει να προστατευτούν τη λειτουργία υπερφόρτισης, για παράδειγμα όταν η ισχύς που παράγεται από τα Φ/Β πάνελ είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη DC εισόδου του αντιστροφέα. Στην περίπτωση αυτή οι εσωτερικοί αλγόριθμοι ελέγχου μετατοπίζουν το σημείο λειτουργίας από το μέγιστο (MPP) ώστε να προστατευτεί ο αντιστροφέας από υπερθέρμανση. Δυστυχώς, στην περίπτωση αυτή η επιπλέον αυτή ενέργεια των Φ/Β πάνελ δεν αξιοποιείται.

Υπάρχουν επίσης αντιστροφείς στους οποίους δεν εκτελείται η παραπάνω διαδικασία, αλλά απλά ο αντιστροφέας σταματά τη λειτουργία του και προσπαθεί να επανασυνδεθεί μετά από μικρό χρονικό διάστημα.

Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση των αντιστροφέων και να ληφθεί υπόψη μία μέση εκτίμηση της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ. Το θέμα αυτό είναι σημαντικότερο σε Φ/Β πάρκα με tracker καθώς εμφανίζουν σημαντικά αυξημένη παραγωγή

ενέργειας που επιφέρει τη λειτουργία αντιστροφών σε υψηλότερα φορτία απ' ό τι για παράδειγμα σε συστήματα σταθερών βάσεων.

4.4.3.7 Λοιπά χαρακτηριστικά

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή και τοποθέτηση των αντιστροφών είναι ο βαθμός προστασίας του (IP class). Αν και αντιστροφείς με υψηλό δείκτη προστασίας (π.χ. IP 65) μπορούν να τοποθετηθούν στον εξωτερικό χώρο, γενικά συνιστάται να αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους στον ήλιο και να τοποθετούνται στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων ή στη βάση των tracker.

Αντιστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας IP (π.χ. IP44) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύμματος προστασίας από καιρικές συνθήκες. Αντίθετα αντιστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ. IP 21-23) θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση αυτή μέριμνα πρέπει να ληφθεί για τον επαρκή αερισμό του χώρου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του αντιστροφέα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε ορισμένες περιπτώσεις αν θεωρείται σκόπιμο θα πρέπει να προβλεφθεί και η τοποθέτηση κλιματιστικού μηχανήματος.

Αναφορικά με την αξιοπιστία των αντιστροφών, οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται μία περίοδο της τάξης των 5 ετών. Είναι ωστόσο δυνατόν, με αντίστοιχη αύξηση του κόστους η περίοδος εγγύησης να επεκταθεί αρκετά, σε διάστημα ακόμη και 20 ετών. Το γεγονός ότι οι αντιστροφείς εμφανίζουν σημαντικά μειωμένους χρόνους εγγύησης σε σχέση με τα υπόλοιπα βασικά τμήματα της Φ/Β εγκατάστασης (π.χ. πάνελ, βάσεις, καλώδια κτλ), λόγω της ηλεκτρονικής φύσης τους, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τους χρηματοοικονομικούς υπολογισμούς καθώς είναι πολύ πιθανόν στο διάστημα της 20ετίας που προβλέπεται η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το ΛΑΓΗΕ να χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση τους επί πληρωμή.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλοι οι αντιστροφείς της αγοράς είναι εξοπλισμένοι με συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας τους, την καταγραφή των δεδομένων και της δυνατότητα επικοινωνίας ώστε να καταστεί δυνατή η τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση της πραγματικής παραγωγής του Φ/Β σταθμού. Ειδικά στην απομακρυσμένη παρακολούθηση, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές αντιστροφών δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης μέσω διαδικτύου, μέσω αντίστοιχων ιστοσελίδων, ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση της λειτουργίας από απόσταση και η αναφορά σφαλμάτων.

4.5 Καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως **4mm² για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου** και ακόμη μικρότερη (της τάξης του 1,5mm²) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως **μονοπολικά και με διπλή μόνωση**, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλινα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο.



Εικόνα 4.27: Τυπικά καλώδια φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60°C και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφέες κυμαίνονται συνήθως από 4-16mm². Ο ακριβής

προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των 25-70mm², σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφείς (της τάξης ονομαστικής ισχύος των 100kW και άνω. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κιτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Στις περιπτώσεις αυτές τα κιτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου. Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και το σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων.

Επιπλέον, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειννίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή.

Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των 5mΩ και μικρότερη). Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει παραδείγματα συνδέσμων καλωδίων:



Εικόνα 4.28: Σύνδεσμοι DC φωτοβολταϊκών καλωδίων

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. ΝΥΥ, ΝΥΜ, ΝΥCWY) εφαρμόζοντας τις συνήθειες πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.

4.6. Υποσταθμοί Μέσης Τάσης

Οι υποσταθμοί μέσης τάσης είναι απαραίτητοι σε περιπτώσεις σύνδεσης Φ/Β σταθμών με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 100kWp. Στην περίπτωση αυτή ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητο να εγκαταστήσει υποσταθμό για σύνδεση του σταθμού απευθείας στο δίκτυο Μέσης Τάσης (ΜΤ) 20kV της ΔΕΗ. Γενικά, ένας υποσταθμός ενός παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Το τμήμα του ηλεκτρικού πίνακα μέσης τάσης.
- Τον ή τους μετασχηματιστές ισχύος.
- Το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης.

Σε κάθε περίπτωση ο παραγωγός πρέπει να προβλέψει ιδιαίτερο χώρο για τη στέγαση του υποσταθμού. Είναι προτιμότερο ο παραγωγός να προβλέψει τρεις ανεξάρτητους χώρους για την εγκατάσταση αντίστοιχα του τμήματος μέσης τάσης, του ή των μετασχηματιστών ισχύος και του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης. Είναι δυνατή η εγκατάσταση στον ίδιο χώρο του πίνακα μέσης τάσης και των μετασχηματιστών ισχύος. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης πρέπει να είναι σε ανεξάρτητο χώρο. Οι διαστάσεις των παραπάνω χώρων υπαγορεύονται από τις διαστάσεις των μηχανημάτων που θα στεγάσουν και τη λειτουργικότητα των χώρων αυτών.

Οι χώροι των μετασχηματιστών και του ηλεκτρικού πίνακα μέσης τάσης πρέπει να είναι κλειστοί και κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά με μεταλλικές πόρτες από χαλυβδοέλασμα με ελάχιστο πάχος 1 χιλ. Οι πόρτες πρέπει να έχουν ανοίγματα αερισμού (περσίδες). Η διάταξη των μηχανημάτων και των συσκευών μέσα στους χώρους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ευχερής συντήρηση και λειτουργία τους. Η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση του υψηλότερου σημείου του

μετασχηματιστή και του χαμηλότερου σημείου της οροφής είναι τουλάχιστον 40 εκ.

Ο αερισμός του χώρου μπορεί να είναι φυσικός ή τεχνητός. Σε περίπτωση φυσικού αερισμού απαιτούνται δύο ανοίγματα, ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο του αέρα. Το άνοιγμα εισόδου του αέρα ψύξης πρέπει να βρίσκεται οπωσδήποτε κάτω από το μέσο του ύψους του μετασχηματιστή και το άνοιγμα εξόδου όσο το δυνατό ψηλότερα. Το μέγεθος του ανοίγματος εξόδου καθορίζεται από σχετικό διάγραμμα σύμφωνα με το οποίο το άνοιγμα πρέπει να αυξηθεί κατά 10% όταν υπάρχουν γρίλιες και 50% όταν υπάρχουν γρίλιες και περσίδες. Το άνοιγμα εισόδου μπορεί να είναι το 90% του ανοίγματος εξόδου. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής είναι ελαιόψυκτος, ο χώρος πρέπει να διαθέτει λεκάνη με επαρκή χωρητικότητα για την περισυλλογή του λαδιού σε περίπτωση διαρροής, χωρίς όμως να αφήνει το λάδι σε ελεύθερη επιφάνεια για την αποφυγή πυρκαγιάς. Αυτό συνήθως υλοποιείται με την τοποθέτηση σκύρων στο επάνω μέρος της λεκάνης. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής είναι με ξηρή μόνωση η παραπάνω απαίτηση δεν ισχύει.

Κατά τη μελέτη ενός υποσταθμού θα πρέπει να γίνουν υπολογισμοί για τον προσδιορισμό:

- Μεγέθους και πλήθους των μετασχηματιστών ισχύος.
- Μεγέθους και είδους του καλωδίου μέσης τάσης.
- Μεγέθους και είδους των ζυγών στη μέση και χαμηλή τάση.
- Μεγέθους και είδους των μέσων προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση.

Η ισχύς του ή των μετασχηματιστών ενός υποσταθμού υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη ενεργό ισχύ του σταθμού η οποία καθορίζεται στη φάση της μελέτης. Η επιλογή ενός ή περισσότερων μετασχηματιστών καθορίζεται από το μέγεθος της ισχύος και τη χωροθέτηση του Φ/Β σταθμού και τις επιπτώσεις αυτής στις απώλειες του σταθμού, αλλά και για λόγους εφεδρείας. Για την επιλογή του μετασχηματιστή θα πρέπει να καθοριστεί επίσης η τάση βραχυκύκλωσής του, η ομάδα συνδεσμολογίας του και το είδος της μόνωσής του. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις προτιμάται τάση βραχυκύκλωσης 4-6% για να διατηρείται η πτώση τάσης χαμηλή. Οι επικρατέστερες ομάδες συνδεσμολογίας για μετασχηματιστές 20/0,4 kV είναι οι Dy και Yz. Σε ιδιωτικούς υποσταθμούς ο συνηθέστερος τύπος συνδεσμολογίας είναι ο Dy.

Το είδος της μόνωσης του μετασχηματιστή επηρεάζει σημαντικά το κόστος του. Οι συνηθέστεροι τύποι μόνωσης μετασχηματιστών είναι το λάδι και η ξηρά μόνωση. Οι ελαιόψυκτοι μετασχηματιστές είναι φθηνότεροι αλλά απαιτούν ειδική διαμόρφωση του χώρου για την παραλαβή του λαδιού. Επίσης, απαιτούν αυστηρότερα μέσα πυροπροστασίας. Οι μετασχηματιστές με ξηρή μόνωση είναι ακριβότεροι, αλλά δεν απαιτούν ειδικές διαμορφώσεις στο χώρο που εγκαθίστανται και θεωρούνται ουσιαστικά άκαυστοι. Η ξηρά μόνωση είναι συνήθως από εποξικές ρητίνες.

Ο παράγοντας που καθορίζει το μέγεθος της διατομής του καλωδίου μέσης τάσης είναι η αντοχή του στο προσδοκώμενο σε εκείνο το σημείο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκύκλωσης είναι ιδιαίτερα επίπονος και είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων. Οι απαιτούμενοι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα

με το πρότυπο VDE 0102. Ένας από τους συνήθεις τύπους καλωδίων μέσης τάσης που χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς είναι το N(A)2XSY με μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο και μανδύα από PVC.

Οι ζυγοί της μέσης και χαμηλής τάσης υπολογίζονται με βάση δύο παραμέτρους: τη θερμική αντοχή τους στο ρεύμα του φορτίου και τη μηχανική αντοχή τους στις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος. Οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα VDE 0103/1988, DIN 57103/1988 και IEC 865.

4.6.1. Υπολογισμός μέσων προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση

Ως μέσα προστασίας εννοούνται οι συσκευές εκείνες οι οποίες είναι σε θέση να διακόψουν έγκαιρα και με ασφάλεια μία μη ομαλή κατάσταση λειτουργίας όπως είναι η υπερφόρτιση, το βραχυκύκλωμα, η έλλειψη τάσης και η υπέρταση. Τα μέσα γενικής προστασίας που χρησιμοποιούνται από τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος. Οι ασφάλειες είναι μέσα προστασίας κυρίως έναντι των βραχυκυκλωμάτων δηλαδή ρευμάτων τα οποία είναι πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος είναι μέσα προστασίας τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προστατεύσουν σε υπερφόρτιση, δηλαδή ρεύμα το οποίο είναι ακόμη και λίγο πάνω από το ονομαστικό ρεύμα, αλλά και σε βραχυκυκλώματα όπως οι ασφάλειες. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών τιμών λειτουργίας τους. Αυτό είναι σημαντικό για το συντονισμό και τη ρύθμιση της λεγόμενης επιλογικής προστασίας. Ο υπολογισμός των μέσων προστασίας γίνεται για να προσδιοριστεί η ονομαστική τιμή τους αλλά και η συμπεριφορά τους σε μεταβατικές καταστάσεις. Έτσι, στις ασφάλειες προσδιορίζεται η ονομαστική τους τιμή αλλά και η καμπύλη που προσδιορίζει το χρόνο διακοπής ως συνάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Στους αυτόματους διακόπτες ισχύος προσδιορίζεται η ονομαστική τιμή τους και οι χρόνοι απόκρισής τους σε υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα.

Εκτός των παραπάνω γενικών μέτρων προστασίας, υπάρχουν για τους μετασχηματιστές και ειδικά μέσα προστασίας τα οποία εφαρμόζονται κατά περίπτωση. Τέτοια μέσα προστασίας είναι η επιτήρηση της θερμοκρασίας, ο ηλεκτρονόμος Buchholz και η διαφορική προστασία. Η επιτήρηση της θερμοκρασίας γίνεται συνήθως με ειδικές αντιστάσεις και σε περίπτωση υπέρβασής της πάνω από κάποιο όριο διακόπτεται η παροχή. Άνοδο της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει ένα βραχυκύκλωμα ή ακόμη και μία διαρκής υπερφόρτιση. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz λειτουργεί με την παρουσία αερίων καύσης λαδιού ή μόνωσης σε ένα χώρο του ή με την παρουσία αέρα σ' αυτόν. Τα αέρια καύσης προκαλούνται από βραχυκυκλώματα ή σφάλματα μόνωσης στο μετασχηματιστή ενώ ο αέρας οφείλεται σε διαρροή λαδιού. Για οικονομικούς λόγους εφαρμόζεται σε μετασχηματιστές ισχύος 800 kVA και πάνω ή αν ζητηθεί.

Η διαφορική προστασία είναι μία σχετικά πλήρης αλλά και ακριβής μέθοδος προστασίας. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ανιχνευτούν σφάλματα τριφασικά, διφασικά, μονοφασικά, μεταξύ των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή και σφάλματα μεταξύ σπειρών ενός τυλιγματος. Η επιλογή του κατάλληλου μέσου προστασίας (ασφάλεια ή αυτόματος διακόπτης ισχύος) είναι μεταξύ άλλων και συνάρτηση του είδους της παροχής της ΔΕΗ όπως αναλύεται παρακάτω.

4.6.2. Είδη παροχών μέσης τάσης από τη ΔΕΗ

Ανάλογα με το είδος του δικτύου (εναέριο ή υπόγειο) από το οποίο θα τροφοδοτηθεί ο υποσταθμός, τη συνολική ισχύ του και τα τεχνικά στοιχεία της ηλεκτρικής προστασίας του, η ΔΕΗ έχει διαμορφώσει ορισμένες τυπικές παροχές.

Οι παροχές διακρίνονται σε δύο τύπους:

- ✓ Παροχές τύπου Α, όταν γίνονται από εναέριο δίκτυο της ΔΕΗ.
- ✓ Παροχές τύπου Β, όταν γίνονται από υπόγειο δίκτυο της ΔΕΗ.

Οι παροχές τύπου Α, διακρίνονται σε:

- ✓ Παροχές τύπου Α1, για ισχύεις μέχρι 630 kVA.
- ✓ Παροχές τύπου Α2, για ισχύεις μεγαλύτερες των 630 kVA.

Οι παροχές τύπου Β, διακρίνονται σε:

- ✓ Παροχές τύπου Β1, για ισχύεις μέχρι 1250 kVA
- ✓ Παροχές τύπου Β2, για ισχύεις μεγαλύτερες των 1250 kVA.

Ο τύπος της παροχής καθορίζει και τη μέθοδο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ και σε μεγάλο βαθμό τη μέθοδο προστασίας που πρέπει να εφαρμόσει ο καταναλωτής. Στην παροχή τύπου Α1, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι ασφάλεια 30Α βραδείας τήξης ενώ το γενικό μέσο προστασίας του παραγωγού μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 40 Α ταχείας τήξης ή αυτόματος διακόπτης ισχύος. Στη δεύτερη περίπτωση αυτός πρέπει να είναι εφοδιασμένος με στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας για να υπάρχει ικανοποιητική επιλογική συνεργασία. Στην παροχή τύπου Α2, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι διακόπτης απομόνωσης. Αυτός είναι μία ειδική περίπτωση διακόπτη ο οποίος συνεργάζεται με το γενικό διακόπτη της γραμμής που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ. Το μέσο προστασίας από την πλευρά του παραγωγού μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 50 Α ταχείας τήξης ή αυτόματος διακόπτης ισχύος.

Στην παροχή τύπου Β1, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι

ασφάλειες ταχείας τήξης. Ο καταναλωτής δε χρειάζεται να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη μέση τάση αφού η 5EH εξασφαλίζει την προστασία του μετασχηματιστή για σφάλματα στους ζυγούς της χαμηλής τάσης. Απαιτείται όμως να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη χαμηλή τάση το οποίο μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 400 A που αντιστοιχεί σε μετασχηματιστή μέχρι 250 kVA. Για μεγαλύτερες ισχύεις απαιτείται η εγκατάσταση αυτόματου διακόπτη ισχύος. Στην παροχή τύπου B2, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι αυτόματος διακόπτης ισχύος. Και σε αυτήν την περίπτωση ο καταναλωτής δε χρειάζεται να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη μέση τάση επειδή το μέσο προστασίας της ΔΕΗ προστατεύει και το μετασχηματιστή του.

4.7 Γειώσεις

Η γείωση είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα ενός υποσταθμού και διακρίνεται σε γείωση λειτουργίας και γείωση προστασίας. Γείωση λειτουργίας είναι η γείωση του ουδέτερου κόμβου των μετασχηματιστών. Γείωση προστασίας είναι η γείωση των μεταλλικών περιβλημάτων των πινάκων, των καλωδίων κτλ.

Βασικός ρόλος της γείωσης σε έναν υποσταθμό είναι η προστασία των ανθρώπων από τάσεις επαφής. Τάση επαφής είναι η τάση μεταξύ δύο μεταλλικών σημείων ή ενός μεταλλικού σημείου και του εδάφους που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος. Καλύτερη γείωση σε υποσταθμό θεωρείται η γείωση κατά μήκος των θεμελίων (θεμελιακή γείωση). Η διατομή του αγωγού γείωσης καθορίζεται από την αντοχή του αγωγού αυτού στο προσδοκώμενο ρεύμα κατά τη διάρκεια μονοφασικού βραχυκυκλώματος και για όσο χρόνο διαρκεί αυτό το βραχυκύκλωμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θεμελιακή γείωση λόγω της έκτασής της εξασφαλίζει συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1 Ω. Όταν δεν είναι εφικτή η υλοποίηση θεμελιακής γείωσης τότε κατασκευάζονται τρίγωνα γείωσης. Σε αυτήν την περίπτωση είναι αρκετά πιο δύσκολο να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω και για το λόγο αυτό απαιτούνται συνήθως περισσότερα του ενός τρίγωνα γείωσης. Εάν δεν μπορεί να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω πρέπει να κατασκευαστούν χωριστές γειώσεις για τη μέση και χαμηλή τάση. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αντίσταση γείωσης για τη μέση τάση πρέπει να είναι μικρότερη των 40Ω και για τη χαμηλή τάση μικρότερη των 10Ω. Ειδικά σε παροχές τύπου A απαιτείται επιπλέον η κατασκευή ισοδυναμικού πλέγματος στο χώρο του υποσταθμού για την αποφυγή τάσεων επαφής. Επιπλέον, οι δύο γειώσεις πρέπει να είναι πραγματικά ανεξάρτητες μεταξύ τους που σημαίνει ότι πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 20 μέτρα η μία από την άλλη που είναι πρακτικά δύσκολο. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιδιώκεται πάντοτε η κατασκευή κοινής γείωσης με αντίσταση μικρότερη του 1Ω.

Κεφάλαιο 5^ο:

Νομοθεσία- Αδειοδότηση

Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

5.1 Εισαγωγή

Το 1985 άρχισαν να εμφανίζονται οι Α.Π.Ε. στη χώρα και έτσι ήταν αναγκαία η ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών στην Ελλάδα έγινε με τη Δ.Ε.Η να κάνει την αρχή εγκαθιστώντας 24MW ανανεώσιμων πηγών, κυρίως μικρά αιολικά πάρκα και φ/β συστήματα μικρής ισχύος, ενώ και η τοπική αυτοδιοίκηση εγκατέστησε 3MW μέχρι το 1995.

Για την διαμόρφωση της σχετικής νομοθεσίας, η ελληνική πολιτεία χρησιμοποίησε ως πρότυπο το γερμανικό νόμο (Stromeinspeisungsgesetz) και το 1994 προτάθηκε η «ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». Έτσι τέθηκαν τα θεμέλια για την ουσιαστική ανάπτυξη των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα. Στη ρύθμιση αναφέρεται ότι η ΔΕΗ είναι υποχρεωμένη να αγοράζει την παραγόμενη από ΑΠΕ ηλεκτρική ενέργεια και παράλληλα ορίστηκαν οι τιμές πώλησης της στο 90% του γενικού τιμολογίου στη μέση τάση. Για παράδειγμα, το 2006 η τιμή της ενέργειας από ΑΠΕ ανερχόταν στα 0,0729Ευρώ/kWh. Βέβαια, στα νησιά που δεν ανήκουν στο διασυνδεδεμένο σύστημα η τιμολόγηση ήταν υπέρ του παραγωγού και το 2006 αντιστοιχούσε σε 0,0846Ευρώ/kWh.

Το 1999 επικυρώθηκε ο νόμος για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η τιμολογιακή πολιτική παρέμεινε ίδια ενώ ο συγκεκριμένος νόμος έχει ιδιαίτερη σημασία αφού αναφέρεται στην προτεραιότητα των ΑΠΕ στην πρόσβαση στο δίκτυο. Σο 2001 μια νέα ρύθμιση επέφερε την απλοποίηση στις διαδικασίες ίδρυσης εταιρειών και τη διευθέτηση κενών στον αδειοδοτικό μηχανισμό ενώ το 2002 ψηφίστηκε αναθεωρητικός νόμος για τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Σο 2004 αποφασίστηκε ότι εγκαταστάσεις ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής μικρού μεγέθους ανήκουν στην κατηγορία μηδενικής όχλησης με συνέπεια να είναι δυνατή η ένταξη τους στον οικιστικό ιστό.

Το 2006 θεσμοθετήθηκε ένας νόμος που οργάνωσε ουσιαστικά την κατάσταση στις ΑΠΕ. Ορίστηκε ο περιορισμός των γνωμοδοτούντων φορέων στα στάδια της αδειοδοτικής διαδικασίας και τέθηκε ο εθνικός στόχος για τη συμμετοχή της ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. το 2010 στο 20,1% και το 2020 στο 29%. Παράλληλα ο νόμος τροποποίησε τις τιμές πώλησης ενέργειας από ΑΠΕ με σκοπό να τονωθεί κυρίως η αγορά των φωτοβολταϊκών και βελτίωσε τους όρους αγοραπωλησίας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τη διευκόλυνση της τραπεζικής χρηματοδότησης των έργων. Τέλος, ορίστηκε η αδειοδότηση υβριδικών σταθμών χωρίς διαγωνιστική διαδικασία.

Για την Ελλάδα, η έκθεση του Εθνικού Σχεδίου Δράσης για την επίτευξη του «20-20-20» περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διείσδυση των τεχνολογιών των ΑΠΕ έως το 2020. Ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική

κατανάλωση. Για να μιλήσουμε όμως με αριθμούς, οι εθνικοί στόχοι για το 2020 για την ηλεκτροπαραγωγή διαμορφώνονται στην ανάπτυξη περίπου 13300MW από ΑΠΕ, με τα αιολικά πάρα στα 7500MW, τα υδροηλεκτρικά στα 3000MW και τα ηλιακά στα περίπου 2500MW. Παράλληλα το 1^ο Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας προβλέπει 9% εξοικονόμηση ενέργειας στην τελική κατανάλωση μέχρι το 2016. Τέλος, ψηφίστηκε νόμος που αφορά την ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων ώστε να υποστηριχθεί ο στόχος για την εξοικονόμηση ενέργειας και την «πράσινη» ανάπτυξη.

Πάντως το Εθνικό Σχέδιο Δράσης αποτελεί βάση για τη διεύθυνση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Η πρόοδος στην εφαρμογή του εξετάζεται ανά δύο χρόνια και επικαιροποιείται, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι εξελίξεις της αγοράς και της βελτίωσης των τεχνολογιών, αλλά και η ζήτηση της ενέργειας.

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

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

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

5.2 Φωτοβολταϊκά Συστήματα έως 10 kWp σε Στέγες Κτιρίων

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

Το πρόγραμμα ισχύει για μονάδες δυναμικότητας έως 10 kWp στο ηπειρωτικό δίκτυο, για τα νησιά εκείνα που είναι διασυνδεδεμένα σε αυτό (π.χ. Εύβοια, Ιόνια, Σποράδες, νησιά Αργωσαρωνικού) καθώς και τη Κρήτη. Όσον αφορά στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, ως μέγιστη ισχύς στο πλαίσιο του προγράμματος ορίζονται τα 5 kWp. Παρατίθεται παρακάτω σχετικός πίνακας όπου φαίνονται τα περιθώρια ανάπτυξης Φ/Β συστημάτων με την αντίστοιχη συνολική ισχύ για το καθένα από αυτά. Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα έχουν φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες, φυσικά πρόσωπα επιτηδευματίες που κατατάσσονται στις πολύ μικρές επιχειρήσεις, Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου (Ν.Π.Δ.Δ.), καθώς και τα μη κερδοσκοπικού

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

5.2.1 Οικιακοί Παραγωγοί

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

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

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

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

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

εφόσον υπάρχουν, έτσι ώστε να μην προσβάλλεται η αισθητική του κτιρίου και του περιβάλλοντος.

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

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

Αν τα Φ/Β συστήματα τοποθετούνται στο δώμα του κτιρίου, οι αποστάσεις από το στηθαίο του δώματος θα είναι κατ' ελάχιστο 0,50 μ. για λόγους ασφαλείας. Όσον αφορά στις **πολυκατοικίες**, θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι. Είτε να συμφωνήσουν εγγράφως όλοι οι ιδιοκτήτες, είτε το Φ/Β να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών, τους οποίους εκπροσωπεί ο διαχειριστής. Εάν κάποιος ιδιοκτήτης έχει το αποκλειστικό δικαίωμα χρήσης του δώματος, μπορεί να ξεκινήσει την εγκατάσταση για ίδιο όφελος, εάν αυτό δεν απαγορεύεται από ρητή διάταξη του κανονισμού την πολυκατοικίας, και αν όχι, δηλαδή ο χώρος είναι κοινόκτητος και οι κύριοι του θέλουν να τον παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη, τότε μπορούν να το κάνουν. Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει μόνο ένα σύστημα. Αν το σύστημα βέβαια μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπουν περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

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

5.2.2. Μικρές Επιχειρήσεις

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

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

Στην περίπτωση μικρής επιχείρησης, τα όποια έσοδα έχει από την πώληση ενέργειας δεν φορολογούνται με την προϋπόθεση ότι τα κέρδη εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Σε περίπτωση διανομής ή κεφαλοποίησης τους, ισχύει η τρέχουσα φορολογία για τα κέρδη που διανέμονται. Τέλος, ισχύουν οι ίδιες κατασκευαστικές δεσμεύσεις όπως και στην περίπτωση των οικιακών παραγωγών.

5.3 Διαδικασία σύνδεσης στο δίκτυο χαμηλής τάσης για φωτοβολταϊκά 10 KWp σε Στέγες Κτιρίων

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

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

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

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

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

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

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

Το κόστος των έργων σύνδεσης ανέρχεται σε 800€ πλέον Φ.Π.Α., στις περιπτώσεις που η απόσταση του ακινήτου επί του οποίου τοποθετείται το Φ/Β σύστημα από την έδρα της μονάδας της Δ.Ε.Η. είναι σχετικά μικρή (εκτιμώμενος χρόνος μετάβασης επιστροφής μικρότερος 2 ωρών) και δεν απαιτείται η αντικατάσταση του καλωδίου παροχής, και σε 1000€ πλέον Φ.Π.Α. στις περιπτώσεις που είτε η πιο πάνω απόσταση είναι μεγαλύτερη είτε απαιτείται αντικατάσταση του καλωδίου παροχής. Λαμβάνουμε σαν δεδομένο ότι εφόσον το κτίσμα έχει ήδη ρεύμα άλλα έργα δεν απαιτούνται. (Τα χρήματα καταβάλλονται για κουτί, μετρητή και πιθανόν μπαροκιβώτιο.)

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

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

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

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

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

Οι βιομηχανικές και εμπορικές στέγες αποτελούν έναν ιδανικό χώρο για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων καθώς δίνεται η δυνατότητα εκμετάλλευσής τους προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με πολύ απλές διαδικασίες και ευνοϊκούς όρους.

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

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

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

5.4.1. Μονάδες Δυναμικότητας από 10 kWp έως 100 kWp

Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Αίτηση σύνδεσης στη τοπική ΔΕΗ η οποία θα διατυπώσει προσφορά και όρους σύνδεσης με το Δίκτυο της. Η συγκεκριμένη αίτηση περιλαμβάνει:

- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας.
- Τεχνικά στοιχεία και πιστοποιήσεις Φ/Β πλαισίων & αντιστροφών συνοδευόμενα από τεχνικά φυλλάδια.
- Υπεύθυνες δηλώσεις παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας & εγκαταστάτη.
- Υπεύθυνη δήλωση ότι δεν απαιτείται γνωμοδότηση της Ε.Π.Α.Ε. (στις περιπτώσεις που απαιτείται, αυτή κατατίθεται μαζί με το έγγραφο γνωστοποίησης εργασιών).

2. Υπογραφή σύνδεσης αγοροπωλησίας με ΛΑΓΗΕ.

Δεν απαιτείται πλέον έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας αλλά αρκεί μια απλή γνωστοποίηση προς τη Δ.Ε.Η. (διαχειριστής δικτύου) ότι ξεκινά η εγκατάσταση. Ο αρμόδιος διαχειριστής οφείλει να κοινοποιεί τη σύμβαση σύνδεσης στην αρμόδια διεύθυνση πολεοδομίας πέραν των λοιπών αποδεκτών.

→εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.

5.4.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 100 kWp έως 1000 kWp

Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

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

→ εγκατάσταση φωτοβολταϊκού.

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

5.4.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp

Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

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

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

5.5 Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί Εδάφους

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

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

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

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

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

Δεν δικαιολογείται η τοποθέτηση εγκαταστάσεων σε αδόμητα οικόπεδα εντός σχεδίου, καθώς αυτές αποτελούν κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την άμεση ή έμμεση εξυπηρέτηση κτιρίων ή της λειτουργικότητάς τους και επιπλέον εντάσσονται στο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής ως ενεργητικά συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας. Δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός στα εκτός σχεδίου.

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

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

5.5.1. Μονάδες Δυναμικότητας

5.5.1.1. Μονάδες Δυναμικότητας έως 500 kWp

Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

1. Αίτηση στην Περιφέρεια για βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων ΕΠΟ.
2. Έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Πολεοδομία, για τη λήψη της οποίας απαιτείται τοπογραφικό, σχέδιο κάτοψης με αποτυπωμένα τα φωτοβολταϊκά πάνελ και πλάγια όψη των πάνελ, καθώς και τεχνική περιγραφή του έργου. Για τη λήψη της έγκρισης από την Πολεοδομία, απαιτούνται βεβαίωση

από Δασαρχείο ότι το γήπεδο δεν είναι σε δασική έκταση, βεβαίωση από τη Δ/ση Γεωργίας της αρμόδιας Νομαρχίας αναφορικά με την αγροτική παραγωγικότητα του γηπέδου (χαμηλή, μέση ή υψηλή), βεβαίωση από την αρχαιολογία καθώς και αποδεικτικό κοινοποίησης στο ΥΠΕΚΑ.

3. Αίτηση στο τοπικό (<100 kWp) ή περιφερειακό (>100kWp) γραφείο της ΔΕΗ που θα διατυπώσει προσφορά και όρους σύνδεσης με το Δίκτυο της.

Η συγκεκριμένη αίτηση περιλαμβάνει:

- Τοπογραφικό.
- Τίτλος κυριότητας οικοπέδων (συμβολαιογραφική πράξη και πιστοποιητικό μεταγραφής στο υποθηκοφυλακείο) ή κατοχής του οικοπέδου (σε περίπτωση μίσθωσης, απαιτείται μισθωτήριο θεωρημένο από τη ΔΟΥ και αντίγραφο του τίτλου κυριότητας του ιδιοκτήτη).
- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας.
- Τεχνικά στοιχεία και πιστοποιήσεις Φ/Β πλαισίων & αντιστροφών συνοδευόμενα από τεχνικά φυλλάδια.
- Υπεύθυνες δηλώσεις παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας & εγκαταστάτη.

4. Υπογραφή σύμβασης αγοροπωλησίας με ΛΑΓΗΕ.

→ εγκατάσταση φωτοβολταϊκού

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

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

5.5.1.2. Μονάδες Δυναμικότητας από 500 kWp έως 1000 kWp

Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι:

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

5.5.1.3. Μονάδες Δυναμικότητας μεγαλύτερης των 1000 kWp

Τα βήματα που απαιτούνται για την αδειοδότηση είναι :

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

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

Στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις μαζί με την αίτηση στη Δ.Ε.Η. απαιτούνται 500,00€ πλέον Φ.Π.Α. εάν η ισχύς του Φ/Β σταθμού που πρόκειται να εγκατασταθεί είναι μικρότερη των 100 kWp και 1000€ πλέον Φ.Π.Α. εάν είναι μεγαλύτερη.

Δεν απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) αλλά ούτε και απαλλαγή για τα Φ/Β που εγκαθίστανται εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (ΒΙ.ΠΕ. , ΒΙ.ΠΑ. κτλ) πάνω σε κτίρια, ή άλλες δομικές κατασκευές.

Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να προσκομίζεται τοπογραφικό διάγραμμα ή έγγραφο προσφοράς σύνδεσης από τα οποία να προκύπτει με σαφήνεια η εγκατάσταση σε υποδοχέα ή πάνω σε κτίριο αντίστοιχα.

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

- Στυλίσκος μετρητής της Δ.Ε.Η. Οικίσκος εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ανά 500 kWp) των Φ/Β Συστημάτων εμβαδού μέχρι δεκαπέντε τετραγωνικά μέτρα (15 τ.μ.) και συνολικού ύψους μέχρι και δυόμιση μέτρα (2,5μ.). (Υπάρχει δυνατότητα προσαύξησης του ύψους αυτού (2,5 μέτρα) μέχρι 20% στην περίπτωση εγκατάστασης εργοστασιακών πεδίων διανομής των αντιστροφών μετασχηματιστών).
- Περίφραξη για την προστασία της εγκατάστασης με συρματόπλεγμα μέχρι ύψους δυόμιση μέτρα (2,5μ.) με συμπαγές τοιχίο μέχρι τριάντα εκατοστά (30 εκατ).
- Εγκατεστημένος εξοπλισμός Φ/Β συστημάτων των οποίων κανένα στοιχείο δεν υπερβαίνει τα δυόμιση μέτρα (2,5μ.) από τη στάθμη του φυσικού ή τεχνητά διαμορφωμένου εδάφους των γηπέδων.

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

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

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

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

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

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

5.5.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα για Αγρότες

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

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

5.6 Μη διασυνδεδεμένα Νησιά

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

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

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

Πίνακας 5.1. Πίνακας Περιθωρίου Ισχύος Για Κάθε Νησί Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά

5.7 Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας

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

Έτος	Συστήματα σε οικιακές & εμπορικές στέγες ≤ 10 kWp (€/MWh)	Μήνας	Ηπειρωτικό δίκτυο (€/MWh)		Μη διασυνδεδεμένα νησιά (€/MWh)	
			>100kWp	≤100kWp		
					Ανεξαρτήτως ισχύος(με εξαίρεση τα μικρά συστήματα έως 10 kWp σε κτίρια όπου ισχύουν ενιαίες τιμές για όλη τη χώρα)	
2009	550	Φεβρουάριος	400	450	450	
		Αύγουστος				
2010		Φεβρουάριος	392,04	441,05		
		Αύγουστος				
2011		Φεβρουάριος	372,83	419,43		419,43
		Αύγουστος	351,01	394,88		394,88
2012	495	Φεβρουάριος	292,08	328,60	328,60	
	470,25	Αύγουστος	271,64	305,60	305,60	
2013	446,73	Φεβρουάριος	252,62	284,20	284,20	
	424,40	Αύγουστος	234,94	264,31	264,31	
2014	403,18	Φεβρουάριος	218,49	245,81	245,81	
	383,02	Αύγουστος	203,80	228,60	228,60	
Για κάθε έτος ω από το 2015 και μετά μOT_{v-1} = Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος v-1	-5% το εξάμηνο		$1,3^* \mu\text{OT}_{v-1}$	$1,4^* \mu\text{OT}_{v-1}$	$1,4^* \mu\text{OT}_{v-1}$	
Διάρκεια Σύμβασης	25 έτη		20 έτη			
Οι τιμές που καθορίζονται στον ανώτερω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους.						

Πίνακας 5.2: Τιμολόγηση Ηλεκτρικής ενέργειας

Κεφάλαιο 6^ο:

Βασικοί οικονομικοί παράμετροι

6.1. Εισαγωγή

Η τεχνολογική εξέλιξη στο χώρο των ενεργειακών συστημάτων, σε συνδυασμό με τις θεσμικές αλλαγές σε ευρωπαϊκό και προσφάτως σε εθνικό επίπεδο, καθώς και με τη δεδομένη διάρθρωση του ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας, δημιουργεί το περιβάλλον δραστηριοποίησης επιχειρηματικών πρωτοβουλιών στον τομέα της παραγωγής ενέργειας. Η αξιολόγηση των δυνατοτήτων αυτών πρέπει να γίνεται τόσο από την άποψη του υποψήφιου ιδιώτη επενδυτή, όσο και από την άποψη της εθνικής οικονομίας, αφού αυτή καθορίζει και το συνολικό περιβάλλον. Η καλή ενεργειακή απόδοση, που μπορεί να έχει ένα σύστημα παραγωγής ή εξοικονόμησης ενέργειας, είναι μία μόνο παράμετρος στην ανάλυση σκοπιμότητας της επένδυσης. Απαιτείται η γνώση και η εφαρμογή μεθόδων της ανάλυσης και αξιολόγησης επενδύσεων, που παρουσιάζονται περιληπτικά σ' αυτό το κεφάλαιο. Απαιτείται, επίσης, η γνώση του θερμικού πλαισίου και η αντίληψη των παραμέτρων που συνθέτουν αυτό που ονομάζεται «επιχειρηματικό περιβάλλον».

Η οικονομική σκοπιμότητα των επενδύσεων σε ενεργειακά συστήματα εξετάζεται με σύγκριση των βαθμών μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων (επενδύσεων) για την παραγωγή ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων για ίδια κατανάλωση και για εμπορική διάθεση. Οι επενδύσεις σε ενεργειακά συστήματα είναι επομένως οικονομικά σκόπιμες, εάν η μείωση των λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο σε εύλογο χρονικό διάστημα ή αν τα έσοδα από τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας οδηγούν σε κέρδη ικανά να ικανοποιήσουν τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή. Γενικά, οι σημαντικότεροι παράγοντες που συναρτώνται άμεσα με τη βιωσιμότητα ενός συστήματος είναι το ύψος της αρχικής επένδυσης και τυχόν χρηματοδότηση, η εξοικονόμηση κόστους καυσίμου που εξαρτάται από την τιμή παροχέτευσής του, και η δυνατότητα πώλησης ηλεκτρισμού στο εθνικό δίκτυο, ώστε η επένδυση να έχει κάποιο κέρδος.

6.2. Ορισμοί βασικών οικονομικών παραμέτρων

Η οικονομική αξιολόγηση στηρίζεται σε ορισμένους δείκτες ή κριτήρια. Εναλλακτικά συστήματα κάλυψης των ηλεκτρικών ή άλλων αναγκών του χρήστη μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους από πλευράς οικονομικής αξίας, εάν προσδιορισθούν οι κατάλληλοι δείκτες. Για να αποφευχθούν παραπλανητικά αποτελέσματα και λανθασμένα συμπεράσματα, ο κάθε δείκτης πρέπει να υπολογίζεται με αναγωγή μελλοντικών αξιών και όρων σε παρούσες αξίες, ώστε οι σχετικές συγκρίσεις να έχουν κοινή βάση. Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτή η αναγωγή αναφέρεται στη συνέχεια.

Τόκος και επιτόκιο (d)

Επιτόκιο είναι ο τόκος ανά μονάδα χρόνου και κεφαλαίου. Συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό ανά έτος. Υπάρχουν δύο όψεις του επιτοκίου: το επιτόκιο δανεισμού, που ο δανειζόμενος καταβάλλει για χρήματα που δανείσθηκε και επομένως αποτελεί

δαπάνη, και το επιτόκιο αγοράς (market interest rate) που κερδίζει κάποιος όταν δανείζει ή επενδύει χρήματα. Το επιτόκιο αγοράς μπορεί να είναι επίσης ο επιθυμητός ή αναμενόμενος βαθμός απόδοσης μιας επένδυσης.

Οικονομικός κύκλος ζωής της επένδυσης (N)

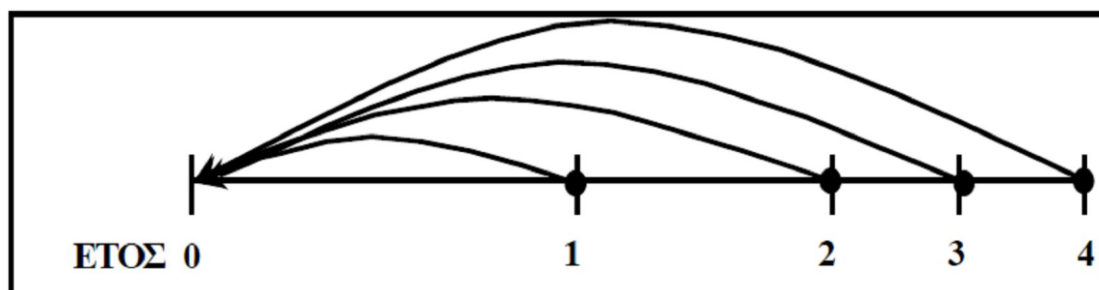
Ως οικονομικός κύκλος ζωής μιας επένδυσης θεωρείται η χρονική περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας ανακτάται το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο καθώς και η επιθυμητή απόδοση αυτού. Ο οικονομικός κύκλος ζωής πρέπει να είναι ίσος ή μικρότερος της πραγματικής ζωής του βασικού εξοπλισμού της επένδυσης.

Πληθωρισμός (i)

Πληθωρισμός είναι η αύξηση του κόστους των αγαθών και υπηρεσιών ανά μονάδα χρόνου. Ο πληθωρισμός των επιμέρους συνιστωσών κόστους μιας επένδυσης μπορεί να διαφέρει από συνιστώσα σε συνιστώσα και από έτος σε έτος. Για λόγους ευκολίας, συνηθίζεται ο πληθωρισμός να αναφέρεται σε ένα έτος και σε συγκεκριμένη ομάδα δαπανών, π.χ., μισθοδοσία, καύσιμα, ανταλλακτικά κλπ.

Παρούσα αξία (P)

Η μέθοδος της παρούσας αξίας μετατρέπει το σύνολο των χρηματοροών που αναμένεται να εμφανιστούν σε ένα χρονικό ορίζοντα σε μια μοναδική παρούσα αξία σε σταθερό χρόνο μηδέν. Αυτό το ποσό αναφέρεται ως παρούσα αξία, παρούσα τιμή, ή καθαρή παρούσα αξία. Φυσικά, αυτό μπορεί να γίνει μόνο βάσει κάποιας υπόθεσης εργασίας για το προεξοφλητικό επιτόκιο. Δηλαδή, ο αναλυτής της επένδυσης πρέπει να χρησιμοποιήσει ως προεξοφλητικό επιτόκιο αυτό που θεωρείται ευρύτερα αποδεκτό για τη δεδομένη οικονομική κατάσταση και τη συγκεκριμένη κατηγορία επένδυσης. Το επιτόκιο αυτό αποτελεί, υπό αυτήν την έννοια, μια γενική εκτίμηση του κόστους του κεφαλαίου και συχνά αναφέρεται ως ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο απόδοσης, (EAEA) ή MARR (minimum attractive rate of return).



Με αυτήν την προσέγγιση εάν σήμερα επενδυθεί ποσό P , το άθροισμα κεφαλαίου και τόκων (γενικότερα, απόδοσης κεφαλαίου) μετά από N περιόδους θα είναι:

$$F = P * \sum_{t=1}^N (1 + d_t) \quad (6.1)$$

Όπου d_t είναι το επιτόκιο αγοράς κατά το έτος t . Αντίστροφα, για να αποκτηθεί ποσό F μετά από N περιόδους, πρέπει σήμερα να επενδυθεί ποσό:

$$P = \frac{F}{\sum_{t=1}^N (1 + d_t)} \quad (6.2)$$

Το P λέγεται παρούσα αξία του μελλοντικού ποσού F . Εάν το επιτόκιο θεωρηθεί σταθερό, τότε:

$$P = \frac{F}{(1 + d)^N} \quad (6.3)$$

Το επιτόκιο d λέγεται και επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία.

6.3 Οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων για ενεργειακά συστήματα

Τα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων χρησιμοποιούνται ως ενδείξεις για το αν μια επένδυση είναι βιώσιμη από μόνη της, ή σαν μέτρα σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών επενδύσεων. Γενικά, τα περισσότερα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων είναι κατάλληλα και για την οικονομική εκτίμηση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ως σύστημα αναφοράς (εναλλακτική επένδυση) θεωρείται η συμβατική κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων, δηλαδή η αγορά ηλεκτρισμού από τη Δ.Ε.Η. Στη συνέχεια περιγράφονται τα πιο διαδεδομένα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων για ενεργειακά και κατ' επέκταση και φωτοβολταϊκά συστήματα, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.

6.3.1 Κριτήριο της Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV- Net Present Value)

Η καθαρή παρούσα αξία μιας επένδυσης εκφράζει το συνολικό καθαρό όφελος μιας επένδυσης, που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του λειτουργικού οφέλους και του συνόλου των δαπανών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της επένδυσης, μετά από N περιόδους (συνήθως έτη), ανηγμένο στο παρόν. Μια έκφραση για την καθαρή παρούσα αξία είναι η εξής:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1 + d_t)^t} \quad (6.4)$$

όπου:

F_t : Η καθαρή χρηματοροή για το έτος t

d_t : Το ευκαιριακό κόστος του κεφαλαίου ή επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία

Σημειώνεται ότι κατά την εκτίμηση της καθαρής παρούσας αξίας ενεργειακών συστημάτων, το *κόστος λειτουργίας* για συμβατική κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων που αποφεύγεται, πρέπει να υπολογίζεται σαν εισροή κατά τον υπολογισμό της καθαρής χρηματοροής F_t .

Μία πιο ολοκληρωμένη έκφραση της καθαρής παρούσας αξίας η οποία περιλαμβάνει και το αρχικό κόστος της επένδυσης είναι η :

$$NPV = -K + \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1 + d_t)^t} \quad (6.5)$$

όπου:

K : το αρχικό κόστος της επένδυσης

Αφού υπολογιστεί η καθαρή παρούσα αξία σύμφωνα με τις εξισώσεις (6.4) ή (6.5), η αξιολόγηση της επένδυσης γίνεται βάσει των παρακάτω κριτηρίων:

- Αν $NPV > 0$: η επένδυση είναι βιώσιμη για δεδομένες συνθήκες (N, d) και το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι μεγαλύτερο από το ευκαιριακό κόστος του κεφαλαίου.
- Αν $NPV = 0$: η επένδυση είναι βιώσιμη για δεδομένες συνθήκες (N, d) και το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι ίσο με το ευκαιριακό κόστος κεφαλαίου.
- Αν $NPV < 0$: η επένδυση δεν είναι βιώσιμη ή είναι αντιοικονομική.

Το κριτήριο της καθαρής παρούσας αξίας είναι το βασικό κριτήριο αξιολόγησης επενδύσεων γιατί:

- Λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος μέσω του συντελεστή d
- Οδηγεί σε μία και μοναδική τιμή, αποφεύγοντας κάθε ασάφεια στη λήψη της απόφασης.

Τέλος, όσον αφορά τη χρονική διάρκεια αξιολόγησης μίας επένδυσης (N), σημειώνεται ότι αυτή ορίζεται από το επιχειρηματικό πλάνο του επενδυτή και συνήθως είναι δέκα έτη.

Ωστόσο, η οικονομική εκτίμηση τεχνολογικών συστημάτων συνιστάται να γίνεται για διάρκεια ίση με τη διάρκεια ζωής του υπό εξέταση συστήματος (π.χ. φωτοβολταϊκά συστήματα – 25 έτη). Αυτή είναι και η τακτική που θα εφαρμοστεί στη διερεύνηση βιωσιμότητας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης του κτιρίου, στη συνέχεια του κεφαλαίου.

6.3.2. Κριτήριο του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR / ROI – Internal rate of Return / Return on Investment)

Το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι το επιτόκιο αγοράς, IRR, για το οποίο η παρούσα αξία των δαπανών ισούται με την παρούσα αξία των κερδών. Διαφορετικά, το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι εκείνο το επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία, δηλαδή ικανοποιεί τη συνθήκη:

$$NPV = -K + \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1 + d_t)^t} = 0 \quad (6.6)$$

ή αλλιώς: $NPV (d = IRR) = 0$,

όπου NPV η παρούσα αξία, όπως ορίζεται παραπάνω, ενώ η ένδειξη ($d = IRR$) υποδηλώνει ότι η εξίσωση λύνεται ως προς d .

Αφού υπολογιστεί το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης, η αποδοχή ή μη της επένδυσης κρίνεται βάσει των εξής κριτηρίων:

- Αν $IRR > d$, η επένδυση είναι αποδεκτή.
- Αν $IRR = d$, η επένδυση είναι μεν αποδεκτή αλλά αδιάφορη
- Αν $IRR < d$, η επένδυση δεν είναι αποδεκτή

6.3.3. Κριτήριο της περιόδου αποπληρωμής ή ανάκτησης της επένδυσης

Υπάρχουν δύο ορισμοί της περιόδου αποπληρωμής ή ανάκτησης της επένδυσης οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

6.3.3.1. Απλή περίοδος αποπληρωμής ((SPB – Simple Payback period)

Η απλή περίοδος αποπληρωμής ορίζεται ως η χρονική διάρκεια εντός της οποίας αποσβένεται το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το ευκαιριακό κόστος του χρήματος d . Αν K είναι το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης και F η καθαρή χρηματοροή κατά την περίοδο t , η απλή περίοδος αποπληρωμής ορίζεται ως η ελάχιστη τιμή των χρονικών περιόδων (N) για την οποία ισχύει:

$$\sum_{t=0}^{N_{min}=SPB} F_t \geq K \quad (6.7)$$

Γενικότερα, αν η καθαρή χρηματοροή F_t θεωρείται σταθερή κατά το πέρασμα των ετών, η απλή περίοδος αποπληρωμής ορίζεται ως εξής:

$$SPB = \frac{-K}{F} \quad (6.8)$$

Το αρνητικό πρόσημο στην αρχική επένδυση K δηλώνει ότι πρόκειται για δαπάνη. Η αποδοχή ή μη μιας επένδυσης σύμφωνα με το κριτήριο της απλής περιόδου αποπληρωμής εξαρτάται από τους στόχους του επενδυτή. Για τα ελληνικά δεδομένα, η αποδεκτή περίοδος αποπληρωμής μιας επένδυσης συνήθως ορίζεται στα δέκα χρόνια.

Η αξιολόγηση της απλής περιόδου αποπληρωμής ενώ είναι απλή στον υπολογισμό, κρίνεται *ανεπαρκής* γιατί:

- Δε λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος, η οποία εισάγεται με το ευκαιριακό κόστος του χρήματος d ,
- Δεν παρέχει ενδείξεις για την πορεία της επένδυσης μετά την περίοδο αποπληρωμής.

Για τους παραπάνω λόγους, το κριτήριο της απλής περιόδου αποπληρωμής χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση βραχυπρόθεσμων επενδύσεων ή για την αξιολόγηση επενδύσεων στις οποίες υπάρχει αυξημένη αβεβαιότητα για τη μελλοντική τους πορεία.

6.3.3.2 Έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPB-Discounted Payback period)

Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής ορίζεται ως η απαιτούμενη χρονική διάρκεια για την ανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή της αξίας του χρήματος κατά τον παράγοντα d . Τελικά, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής ισούται με την ελάχιστη τιμή των περιόδων (N) για τις οποίες ισχύει:

$$\sum_{t=0}^{N_{min}=DPB} \frac{F_t}{(1+d_t)^t} \geq K \quad (6.9)$$

Αν θεωρηθεί σταθερή χρηματοροή κατά το πέρασμα των ετών, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται ως εξής:

$$DPB = \frac{-\ln\left(1 + \frac{K}{F} \cdot d\right)}{\ln(1 + d)} \quad (6.10)$$

Ο υπολογισμός της έντοκης περιόδου αποπληρωμής παρέχει πιο βάσιμες πληροφορίες λόγω των πλεονεκτημάτων της έναντι της απλής περιόδου αποπληρωμής. Και πάλι όμως, η αποδοχή ή μη της επένδυσης κρίνεται από τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή.

6.3.4. Λόγος οφέλους κόστους (BCR- Benefit to Cost Ratio)

Ο λόγος οφέλους κόστους ορίζεται ως το πηλίκο της παρούσας αξίας των ετήσιων κερδών προς την παρούσα αξία των ετήσιων δαπανών, κατά τον κύκλο ζωής της επένδυσης N :

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{B_t}{(1 + d_t)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1 + d_t)^t}} \quad (6.11)$$

Όπου:

B_t : το κέρδος κατά το έτος t

C_t : κόστος κατά το έτος t

Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, μία επένδυση κρίνεται ως αποδεκτή όταν $BCR > 1$. Ειδικότερα οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίζονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, όπως αυτές των ηλιακών συστημάτων, «όφελος» είναι η παρούσα αξία του συνόλου της εξοικονόμησης των λειτουργικών δαπανών, ενώ «κόστος» είναι η παρούσα αξία της αρχικής επένδυσης και του συνόλου των λειτουργικών δαπανών του συστήματος. Στη δεύτερη, επενδύσεις σχετικές με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, «όφελος» είναι η παρούσα αξία του συνόλου της παραγόμενης ενέργειας που πωλείται στον Λ.Α.Γ.Η.Ε., ενώ «κόστος» είναι η παρούσα αξία της αρχικής επένδυσης και του συνόλου των λειτουργικών δαπανών του συστήματος. Τα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων που παρουσιάστηκαν σε αυτήν την ενότητα θα ελεγχθούν κατά τη διερεύνηση βιωσιμότητας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης του κτιρίου του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ ΕΜΠ.

Κεφάλαιο 7^ο:

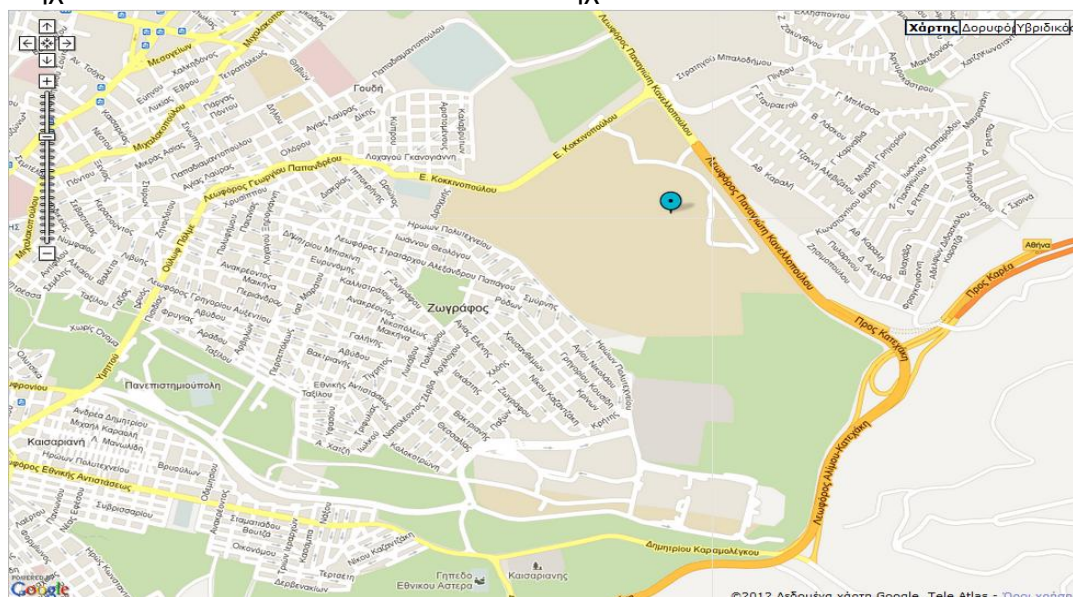
Μελέτη Εγκατάστασης

Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα γίνει ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος στο κτίριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ στην Πολυτεχνειούπολη στην περιοχή Ζωγράφου. Αρχικά, θα αναλυθούν τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής αυτής και θα πραγματοποιηθεί εισαγωγή των δεδομένων στα λογισμικά προγράμματα του PVsyst (ενότητα 7.2). Στη συνέχεια, θα καθοριστούν οι βέλτιστες τιμές της κλίσης και ο βέλτιστος προσανατολισμός της εγκατάστασης, ώστε να αυξηθεί η ηλεκτροπαραγωγική της ικανότητα (ενότητα 7.3.) Οι τιμές αυτές αφορούν κλίση 30 μοιρών και μηδενικό αζιμούθιο, ώστε να επιτευχθεί μέγιστη απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας από το σύστημα. Ακολουθεί μια μελέτη σχετικά με την χωροθέτηση των πλαισίων στη διαθέσιμη επιφάνεια της ταράτσας. Η μελέτη αυτή θα περιλαμβάνει τον υπολογισμό αποστάσεων μεταξύ των γειτονικών σειρών των Φ/Β πλαισίων για αποφυγή της σκίασης μεταξύ τους (ενότητα 7.4). Στην ενότητα 7.6 θα πραγματοποιηθεί η επιλογή των κατάλληλων ΦΒ πλαισίων. Στις ενότητες 7.5, 7.7 γίνεται η λεπτομερής διαστασιολόγηση του συστήματος, επιλέγοντας συγκεκριμένα πλαίσια και αντιστροφείς, και υπολογίζοντας με ακρίβεια τη τιμή της ηλιακής ενέργειας. Στην ενότητα 7.8 πραγματοποιείται, επίσης, μια σύντομη μελέτη για την αντοχή των πλαισίων στην ανεμοπίεση που πρόκειται να δεχθούν και επιβεβαιώθηκε η στατική αντοχή του κτιρίου στην τοποθέτηση της εγκατάστασης. Στην ενότητα 7.9 γίνεται ο διαχωρισμός των πλαισίων στις κατάλληλες στοιχειοσειρές και υπολογίστηκε η απόδοση του συστήματος και η ετήσια παραγωγή ενέργειας αυτού. Στην ενότητα 7.10 πραγματοποιείται η μελέτη βιωσιμότητας του διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος.

7.1. Το κτίριο και ο περιβάλλον χώρος

Το κτίριο που μελετούμε ανήκει στην συγκρότημα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στη περιοχή Ζωγράφου, και συγκεκριμένα στο τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ

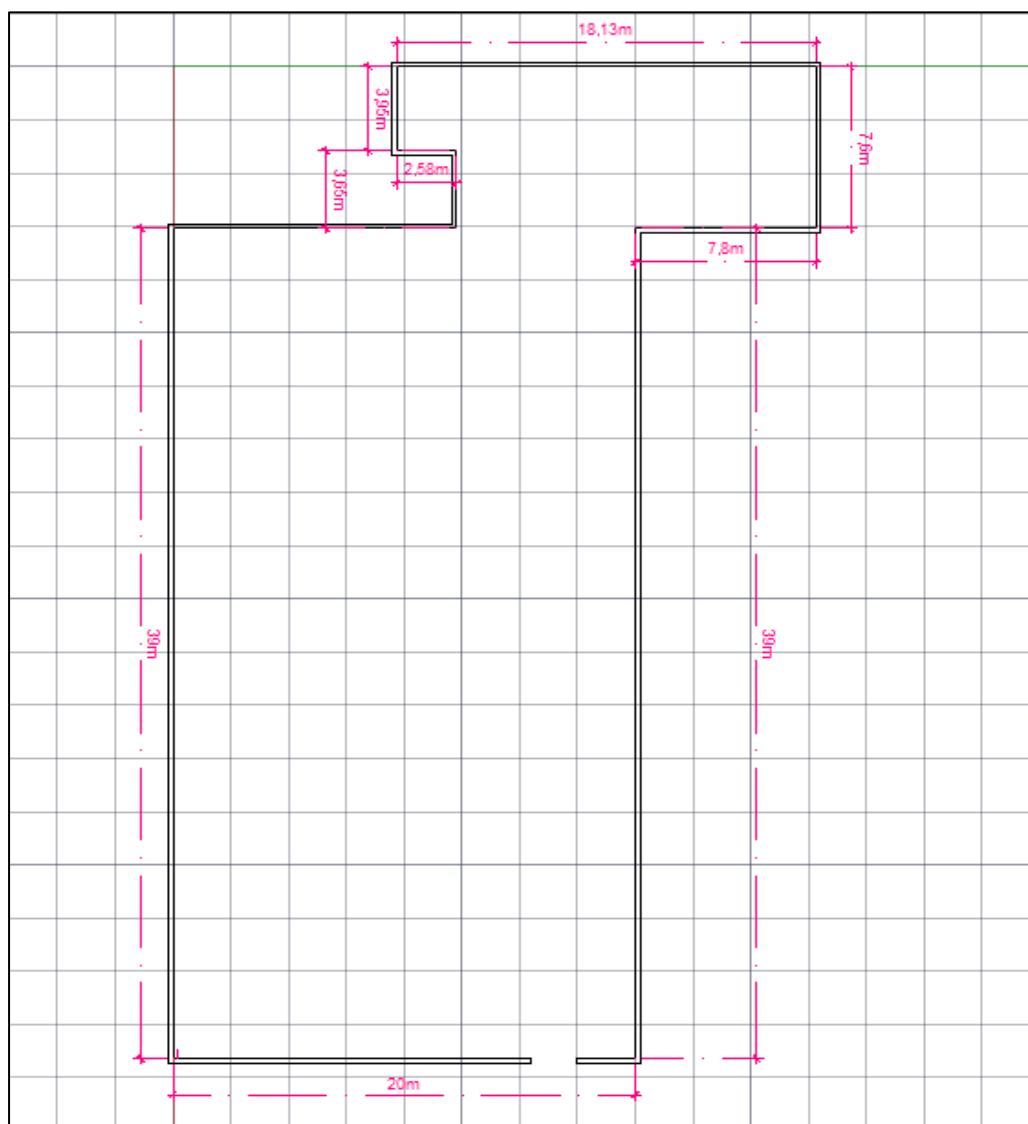


Εικόνα 7.1: Η τοποθεσία των κτιρίων καθορίζεται από την γαλάζια επισήμανση

Στην εικόνα με τη γαλάζια επισήμανση φαίνεται η τοποθεσία του κτιρίου στην περιοχή Ζωγράφου, στην Πολυτεχνειούπολη. Το κτίριο αποτελείται από 3 επίπεδα επάνω από το έδαφος (ισόγειο και 2 ορόφους) και από 1 επίπεδο κάτω από το έδαφος.

Το συνολικό ύψος του κτιρίου είναι 16m. Το συγκεκριμένο κτίριο στεγάζει εκπαιδευτικά εργαστήρια, αίθουσες διδασκαλίας, αμφιθέατρα, τη γραμματεία των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών σπουδών και ένα μεγάλο χώρο στάθμευσης.

Η εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος που μελετούμε θα γίνει στη ταράτσα της κάθε πτέρυγας του συγκροτήματος. Με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος 'AutoCAD 2011', σχεδιάσαμε την κάτοψη της ταράτσας του κτιρίου εικόνα 7.2 με τις βασικές της διαστάσεις, όπως φαίνεται στην εικόνα. Οι διαστάσεις της οροφής καθώς και οι οποιεσδήποτε ιδιαιτερότητες της παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εγκατάσταση. Γι' αυτό το λόγο ο λεπτομερής σχεδιασμός της οροφής/ στέγης παίζει αναπόσπαστο μέρος της σχεδίασης (συνήθως με χρήση σχεδιαστικών προγραμμάτων).



Εικόνα 7.2: Κάτοψη ταράτσας θεωρώντας ως βάση αναφοράς το σημείο εισόδου στην ταράτσα (δυτικός προσανατολισμός).



Εικόνα 7.3 : Το υπό μελέτη κτίριο του τμήματος HMMY του ΕΜΠ όπως φαίνεται από το νότο.

Στο κτίριο περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι χώροι:

- Εκπαιδευτικά Εργαστήρια συνολικής επιφάνειας 1.140 m²
- Αίθουσες Διδασκαλίας συνολικής επιφάνειας 572 m²
- Αμφιθέατρα συνολικής επιφάνειας 556 m²
- Διάδρομοι συνολικής επιφάνειας 511 m²
- Κλιμακοστάσια συνολικής επιφάνειας 175 m²
- Χώροι υγιεινής συνολικής επιφάνειας 180 m²
- Μηχανοστάσια συνολικής επιφάνειας 90 m²
- Ηλεκτροστάσια συνολικής επιφάνειας 90 m²
- Χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων συνολικής επιφάνειας 1.630 m²
- Χώροι στάθμευσης μοτοσυκλετών συνολικής επιφάνειας 233 m²
- Χώροι υποδοχής συνολικής επιφάνειας 500

Τα φορτία του κτηρίου είναι τα ισχυρά ρεύματα (φωτισμός- ρευματοδότες), τα ασθενή ρεύματα, ο κλιματισμός, η θέρμανση και ο αερισμός.

Όσον αφορά τον κλιματισμό και τον αερισμό για το κτήριο, υπάρχουν:

- Πολυδιαιρούμενα πολυζωνικά συστήματα μεταβλητής παροχής ψυχτικού μέσου (VRV), για την ψύξη- θέρμανση των κύριων χώρων.
- συστημάτων αερισμού των κύριων χώρων.
- Κεντρικές κλιματιστικές μονάδες επεξεργασίας αέρα (ΚΚΜ).
- Δίκτυα αεραγωγών, αερισμού- εξαερισμού.

Ο κλιματισμός (ψύξη- θέρμανση) των γραφείων, των εργαστηρίων, των αιθουσών διδασκαλίας και των διαδρόμων των οροφών, γίνεται με πολυδιαιρούμενα πολυζωνικά συστήματα μεταβλητής παροχής ψυχτικού υγρού (VRV). Για τον αερισμό και εξαερισμό των χώρων θα χρησιμοποιηθούν τοπικές μονάδες αερισμού

(TMA). Ο έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος VRV- αερισμού- εξαερισμού, εκτός από τα τοπικά χειριστήρια γίνεται και κεντρικά μέσω κέντρου ελέγχου εγκαταστάσεων (BMS) του κτιρίου και κατάλληλων προγραμμάτων. Για το κλιματισμό των αμφιθεάτρων (αυτόνομος για κάθε αμφιθέατρο), χρησιμοποιούνται κεντρικές κλιματιστικές μονάδες με στοιχείο απ' ευθείας εκτόνωσης, ο έλεγχος της λειτουργίας των οποίων γίνεται τοπικά από κάθε αμφιθέατρο, αλλά η δυνατότητα εκκίνησης στάσης τους ελέγχεται και από το κέντρο ελέγχου εγκαταστάσεων του κτιρίου.

Όσον αφορά τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- Δύο υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης
- Το δίκτυο Μέσης Τάσης 20KV- 50HZ
- Την κατασκευή του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και την κατασκευή των τοπικών ηλεκτρικών πινάκων
- Την εγκατάσταση κυκλωμάτων ανάγκης (H/Z) και αδιάλειπτης παροχής (UPS).
- Την εγκατάσταση των φωτιστικών σωμάτων και των οργάνων (διακόπτες, ρευματοδότες)
- Την ηλεκτροδότηση των μηχανημάτων και των συσκευών (ανελκυστήρες, κλιματιστικές κυκλοφορητές, ψύκτες, κλπ.)
- Την εγκατάσταση εξωτερικού φωτισμού
- Τις απαραίτητες γειώσεις.

Στο κτίριο υπάρχουν 3 κατηγορίες φορτίων:

- ❖ Φορτία που τροφοδοτούνται μόνο από τη ΔΕΗ
- ❖ Φορτία που τροφοδοτούνται από τα Η/Ζ
- ❖ Φορτία που τροφοδοτούνται από τα UPS

Τα UPS τροφοδοτούν τις καταναλώσεις της πυρανίχνευσης του BMS , του αντικλεπτικού συστήματος και του ACCESS CONTROL.

Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη τροφοδοτούν τα παρακάτω φορτία ανάγκης:

- Το φωτισμό των κλιμακοστασίων
- Τμήμα του φωτισμού (50%) των γραφειακών χώρων, των αιθουσών διδασκαλίας και των εργαστηρίων
- Το φωτισμό (100%) των κοινόχρηστων χώρων (διάδρομοι, κλιμακοστάσια κλπ.)
- Το φωτισμό των θαλάμων των ανελκυστήρων
- Το σύστημα αδιάλειπτης παροχής (UPS)

Τα υπόλοιπα φορτία τροφοδοτούνται από το πεδίο της ΔΕΗ.

7.2 Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής

Η γνώση των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής που θα γίνει η εγκατάσταση του συστήματος είναι πάρα πολύ σημαντική, διότι η ηλιοφάνεια, η μέση ημερήσια θερμοκρασία και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικοί παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του Φ/Β συστήματος. Φυσικά, λόγω της μεγάλης εξάπλωσης των πληροφοριών, υπάρχουν πολλές διαφορετικές πηγές μετεωρολογικών δεδομένων, οι οποίες παρουσιάζουν μια μικρή απόκλιση μεταξύ τους. Για την συγκεκριμένη μελέτη, προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθούν τα μετεωρολογικά δεδομένα του PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) και στην εικόνα 6.4 φαίνεται η αρχική σελίδα και το περιβάλλον εργασίας της συγκεκριμένης βάσης δεδομένων.

Το PVGIS παρέχει διαδραστικούς χάρτες, στους οποίους έχει γίνει καταγραφή των ηλιακών ενεργειακών πόρων, καθώς επίσης και εκτίμηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα στην Ευρώπη, την Αφρική και την Νοτιοδυτική Ασία. Επιλέχθηκε μεταξύ άλλων πηγών, λόγω της μεγάλης αξιοπιστίας του (είναι επίσημο εργαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και ανήκει στο Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Ενέργειας) και της συμβατότητάς του με το λογισμικό PVsyst, ώστε να υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής των μετεωρολογικών στοιχείων.



The screenshot shows the PVGIS website homepage. The browser address bar displays 're.jrc.ec.europa.eu/pvgis/'. The page header includes the JRC logo and navigation links: 'You are here: EC / JRC / IE / RE / SOLAREC / PVGIS / Home'. The main content area is titled 'Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)' and 'Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology'. It features a sidebar with navigation links: 'PVGIS Home', 'Interactive maps', 'Country maps', 'FAQ', 'Solar radiation', 'Temperature', 'About PVGIS', 'Publications', 'Download', 'Site map', 'Joint Research Centre', and 'Institute for Energy'. The main content area includes a section for 'Interactive access to solar resource and photovoltaic potential' with maps for Europe and Africa, and a section for 'Posters and maps of solar resource and photovoltaic electricity potential (Europe NEW, Africa)'. There are also sections for 'Topics' and 'News'.

Εικόνα 7.4: Αρχική σελίδα του PVGIS

Στην παρούσα εργασία, η περιοχή εγκατάστασης είναι στη Ζωγράφου, Αττικής, ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας, στην Κεντρική Ελλάδα. Από το PVGIS εξάγονται τα εξής στοιχεία για την περιοχή:

- Γεωγραφικό πλάτος: 37°58'49"Βόρεια
- Γεωγραφικό μήκος: 23°46'57"Ανατολικά
- Υψόμετρο: 190 m (πάνω από το επίπεδο της θάλασσας).

Τα συγκεκριμένα στοιχεία δίνουν κάποιες συγκεκριμένες πληροφορίες για την περιοχή, όπως ότι βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο και ανατολικά από τον μεσημβρινό του Greenwich. Επίσης, σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, το PVGIS προτείνει πως η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πανέλων για την περιοχή της Ζωγράφου είναι 30°. Η κλίση μιας επιφάνειας είναι η γωνία μεταξύ της επιφάνειας αυτής και του οριζώντιου επιπέδου ($0^\circ \leq \text{κλίση} \leq 180^\circ$). Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια με κλίση εξαρτάται από το γεωγραφικό της πλάτος, τη γωνία κλίσης και τη χρονική περίοδο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης, είναι η γωνία εκείνη με την οποία τοποθετούνται τα πανέλα ως προς το οριζόντιο επίπεδο, προκειμένου να δέχονται το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς να έχουν την μέγιστη δυνατή απόδοση, για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στην συγκεκριμένη εργασία, σαν χρονική περίοδος ορίζεται ολόκληρο το έτος.

Η εξαγωγή των παραπάνω αποτελεσμάτων γίνεται αν, από την κεντρική σελίδα του PVGIS, επιλέξουμε τα πεδία που φαίνονται στην εικόνα 7.5. Τα πεδία αυτά, αναφέρονται στην ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, στην μέση ημερήσια θερμοκρασία και στο λόγο της διάχυτης προς την ολική ακτινοβολία. Η επιλογή των συγκεκριμένων πεδίων έγινε διότι αυτά είναι τα στοιχεία που χρειάζεται το PVsyst για να ορίσει τα μετεωρολογικά στοιχεία και την τοποθεσία κάθε περιοχής.

The screenshot shows the PVGIS web interface. At the top, there are logos for JRC and CM SAF, and the title 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps'. Below the logos, there is a search bar with 'Ζωγράφου' entered and a search button. To the right of the search bar, the cursor position is shown as 37.982, 23.791 and the selected position as 37.980, 23.783. The main part of the interface is a map showing the location of Zografou, Greece, with a red pin. To the right of the map is a settings panel for 'Monthly radiation' and 'Monthly ambient temperature data'. The settings panel has several checkboxes for irradiation and temperature data, and radio buttons for output options like 'Web page', 'Text file', and 'PDF'. A 'Calculate' button is visible at the bottom of the settings panel.

Εικόνα 7.5: Απεικόνιση του περιβάλλοντος του PVGIS

Τα αποτελέσματα των παραπάνω επιλογών φαίνονται στον πίνακα.

Month	H_h	I_{opt}	D/G	T_{24h}
Jan	2060	58	0.52	9.1
Feb	2660	50	0.52	9.6
Mar	3900	39	0.48	11.2
Apr	5270	25	0.43	14.4
May	6280	13	0.41	19.4
Jun	7070	6	0.36	24.1
Jul	6980	9	0.35	26.4
Aug	6280	20	0.36	26.3
Sep	5130	36	0.35	22.5
Oct	3440	48	0.44	18.3
Nov	2180	56	0.52	14.0
Dec	1770	59	0.55	10.6
Year	4430	30	0.41	17.2

Πίνακας 7.1: Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή Ζωγράφου

Στο διάγραμμα απεικονίζονται τα εξής:

H_h : Ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ($Wh / m^2 / day$).

D/G : Λόγος της διάχυτης προς την ολική ακτινοβολία (αδιάστατο μέγεθος)

T_{24h} : Μέση ημερήσια θερμοκρασία ($^{\circ}C$)

I_{opt} : Βέλτιστη γωνία κλίσης ανά μήνα

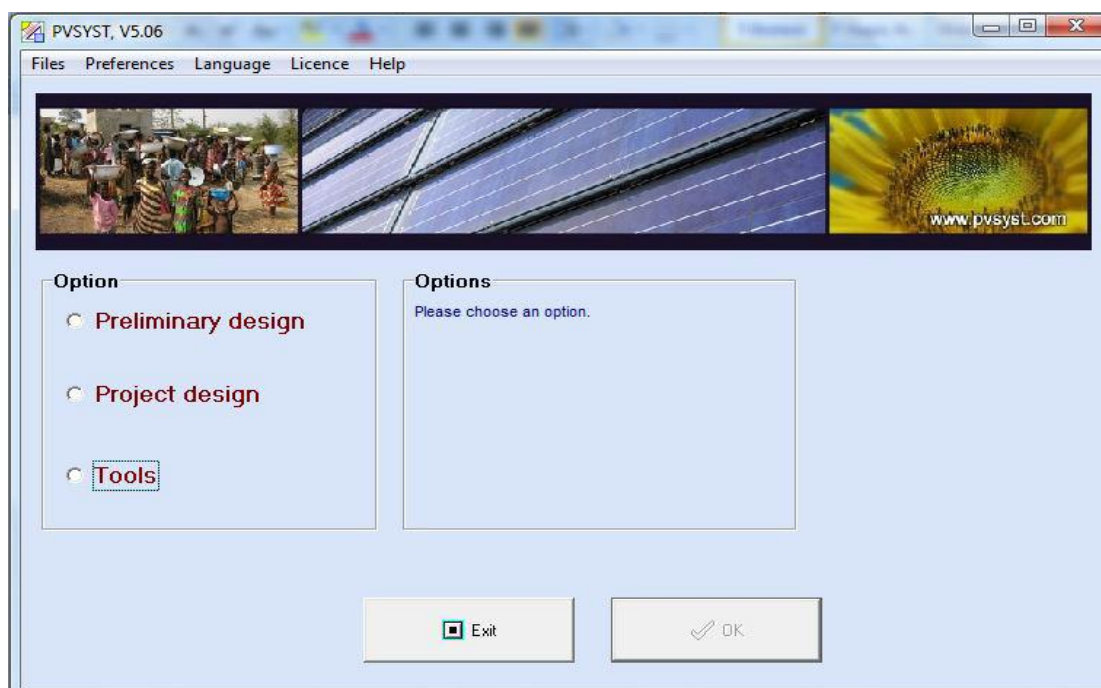
Στην παρούσα εργασία ο συντελεστής διάχυτης ανάκλασης ορίζεται 0,20 που είναι μία κοινή τιμή για τις περισσότερες εφαρμογές σε ταράτσες και στέγες. Η τιμή του συντελεστή αυτού ορίζεται σταθερή για όλους τους μήνες λειτουργίας του συστήματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.6 από το πρόγραμμα του PVsyst.

Εικόνα 7.6: Ορισμός albedo στο PVsyst

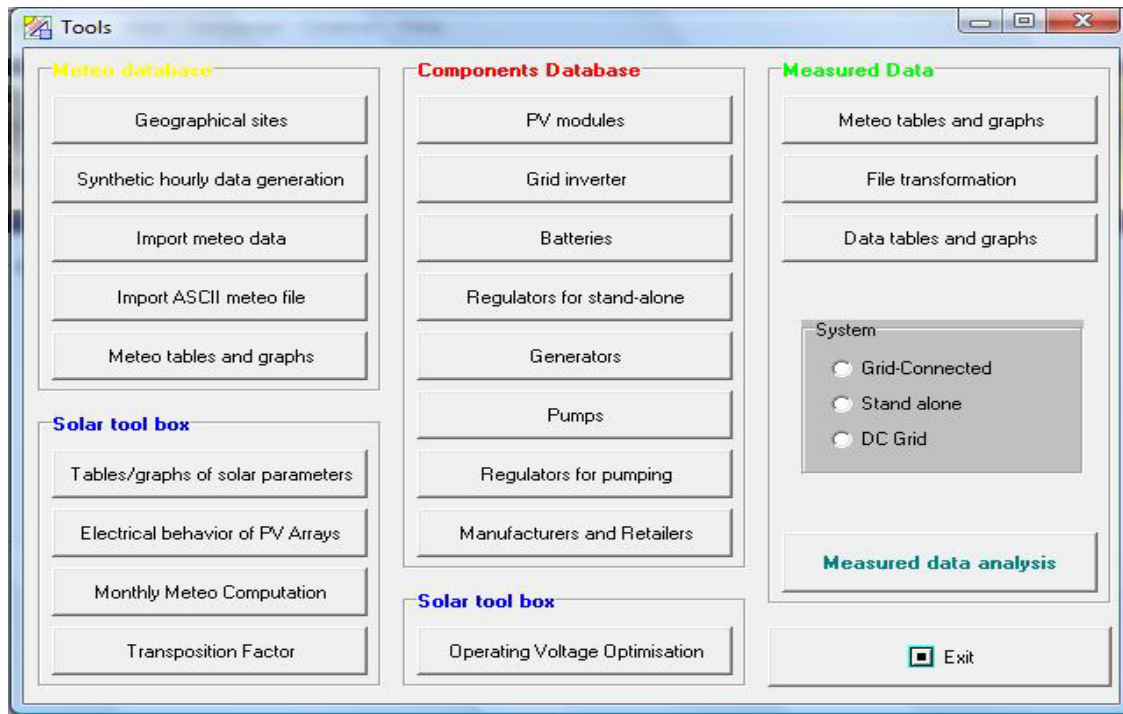
7.2.1. Εισαγωγή μετεωρολογικών στοιχείων στο PVsyst

Το λογισμικό PVsyst παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων από εξωτερικές πηγές, όπως το PVGIS που αναλύθηκε στην παράγραφο 7.2. Η εισαγωγή αυτών των δεδομένων γίνεται με την επιλογή “Tools” στο κεντρικό μενού του PVsyst (εικόνα 7.7) και στη συνέχεια με την επιλογή “Import meteo data”, από το μενού που εμφανίζεται (εικόνα 7.8). Η εισαγωγή των δεδομένων προϋποθέτει την αντιγραφή ολόκληρης της ιστοσελίδας που εμφανίζεται στην εικόνα 7.9 με τα μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

Στη συνέχεια, καθορίζεται η εξωτερική πηγή από την οποία αντλήθηκαν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν (στην συγκεκριμένη περίπτωση: PVGIS Europe + Africa) και επιλέγεται το “Import”. Το τελικό παράθυρο εργασίας φαίνεται στην εικόνα 7.9, στο οποίο φαίνεται πως έχουν περάσει αυτόματα οι γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

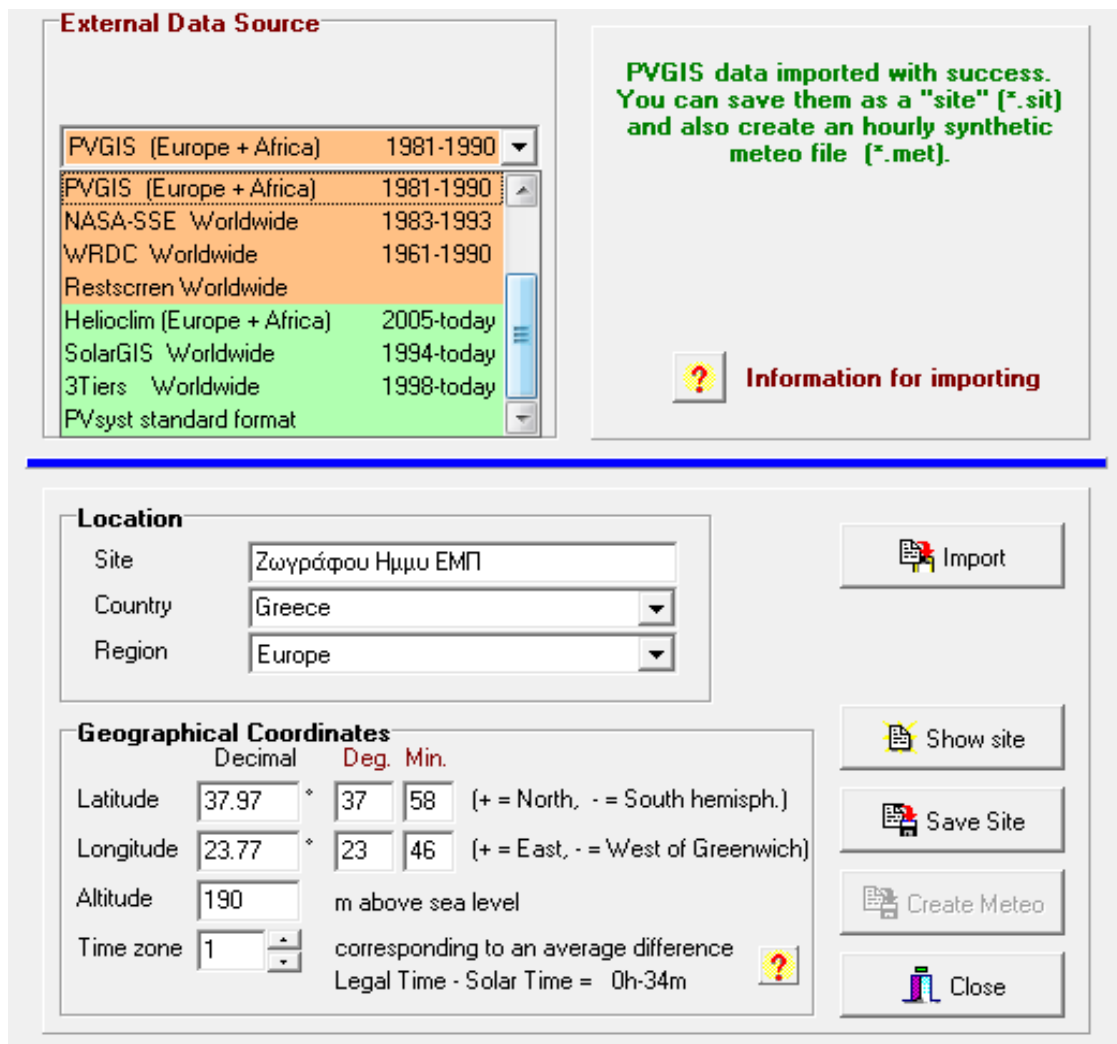


Εικόνα 7.7: Απεικόνιση αρχικής σελίδας του PVsyst



Εικόνα 7.8: Απεικόνιση των επιλογών της καρτέλας “Tools”

Το τελευταίο βήμα είναι η αποθήκευση της καινούργιας θέσης που έχει δημιουργηθεί στη βάση δεδομένων του PVsyst. Το PVsyst έχει από μόνο του αποθηκευμένη μια αρκετά μεγάλη βάση με μετεωρολογικά δεδομένα από διάφορες περιοχές. Η παραπάνω διαδικασία έγινε, αφενός για να μελετηθεί στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας και αφετέρου, για μεγαλύτερη ακρίβεια στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα, μιας δεν υπήρχαν ξεχωριστά οι δήμοι του νομού Αττικής στη βάση δεδομένων του προγράμματος.



Εικόνα 7.9: Απεικόνιση τελικού βήματος εισαγωγής μετεωρολογικών στοιχείων

7.3 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίων

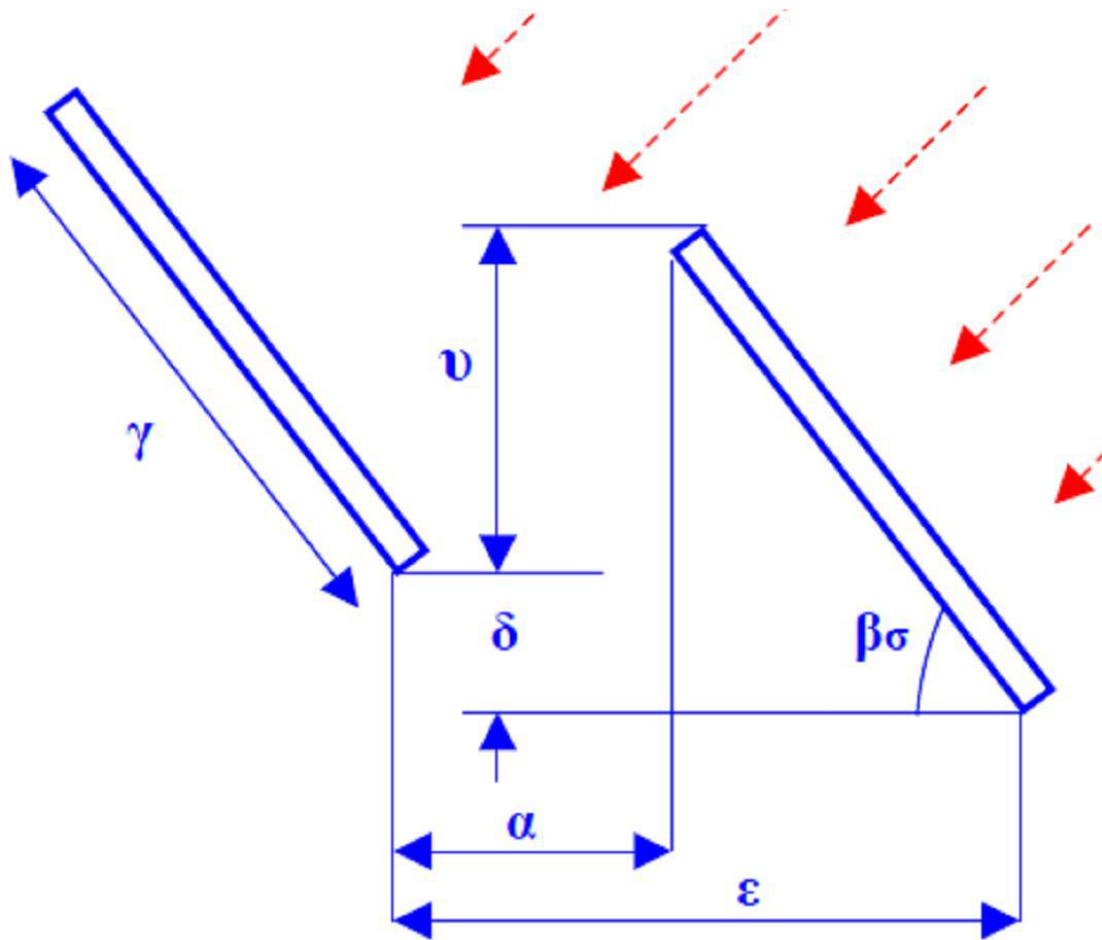
Όπως ήδη έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αζιμούθια γωνία (α) με μηδενικές μοίρες ($\alpha = 0^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του Φ/Β πλαισίου προς το Νότο, ενώ η γωνία $\alpha = 90^\circ$ προς τη Δύση, η $\alpha = -90^\circ$ προς την Ανατολή και η $\alpha = -180^\circ$ προς τον Βορρά. Στο βόρειο ημισφαίριο, τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται προς τον Νότο ($\alpha = 0^\circ$), ενώ στο νότιο ημισφαίριο τοποθετούνται προς τον Βορρά ($\alpha = -180^\circ$). Επίσης, στο βόρειο ημισφαίριο, στο οποίο γίνεται και η εφαρμογή της συγκεκριμένης εργασίας, η βέλτιστη κλίση του Φ/Β πλαισίου για την μέγιστη παραγωγή για όλη την διάρκεια του έτους σε γενικές γραμμές είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου. Η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30° .

7.4. Διάταξη των Φ/Β πλαισίων

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος είναι η ύπαρξη σκιασμών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ενέργειας συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Αναλυτικότερα, το συνολικό ρεύμα μιας στοιχειοσειράς Φ/Β πλαισίων καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της Φ/Β συστοιχίας. Βέβαια στην περίπτωση που ο σκιασμός περιορίσει την ένταση του(των) σκιασμένου(ων) πλαισίου(ων) αρκετά χαμηλά ώστε να εισέλθει σε αγωγή η δίοδος παράκαμψης, το πλαίσιο αυτό εξαιρείται της ηλεκτροπαραγωγής. Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας δύναται να καταπονήσουν το σκιαζόμενο Φ/Β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραιές ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτίρια κλπ.

Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από παρακείμενα κτήρια, κολώνες, στηθαίο, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη. Το χρονικό αυτό περιθώριο των έξι ωρών ονομάζεται και ηλιακό παράθυρο. Τέλος, για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτηρίων. Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού είναι ο ορίζοντας προς Νότο να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια (ανοιχτός ορίζοντας).

Έτσι, κατά την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων μιας συστοιχίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δεν πρέπει η μια σειρά πλαισίων να σκιάζει την επόμενη, αλλά και κανένα εμπόδιο να σκιάζει κάποια πλαίσια. Στην εικόνα 7.10 φαίνεται η διάταξη Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές.



Εικόνα 7.10: Διάταξη Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές

- Υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης.

$$v = \gamma * \eta\mu(\beta) - \delta \text{ [m]} \quad (7.1)$$

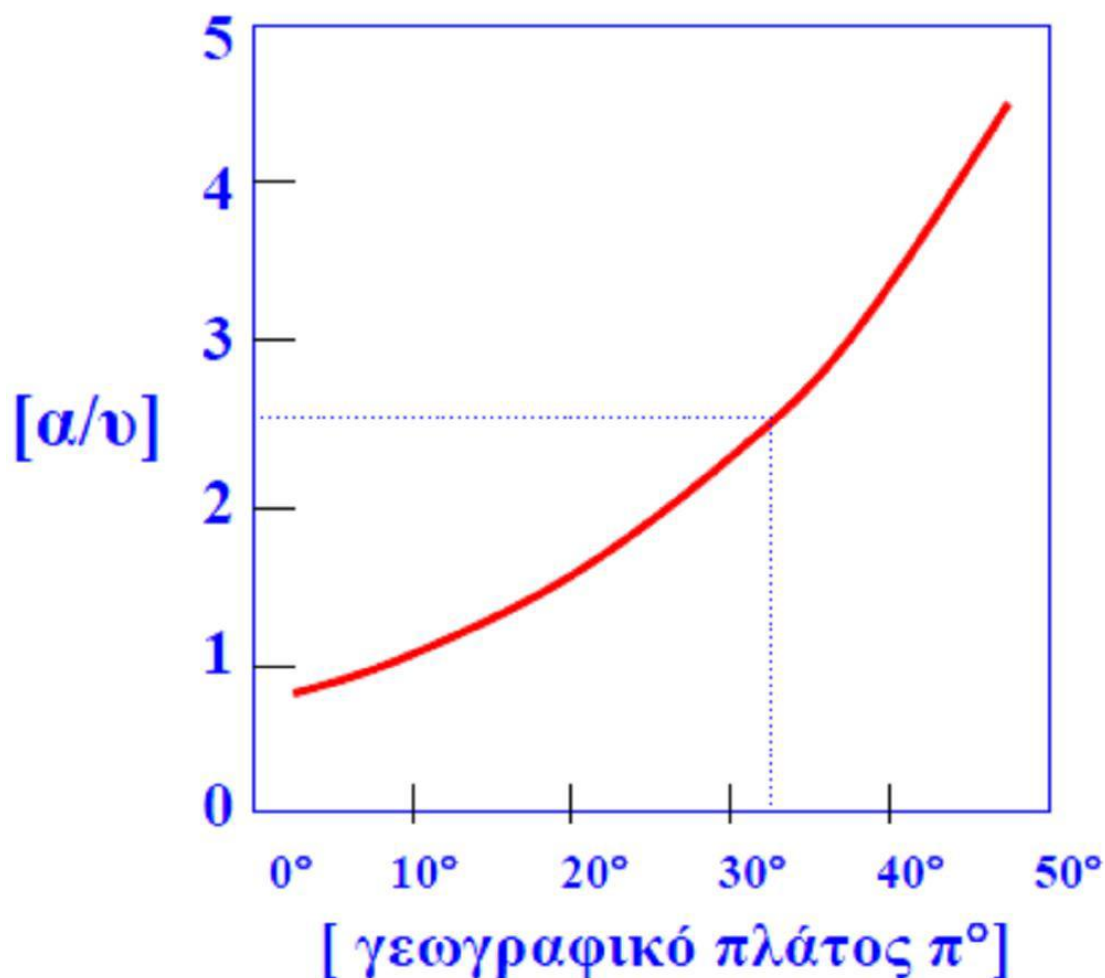
όπου:

γ [m]: μήκος Φ/Β πλαισίων

β [°]: γωνία κλίσης Φ/Β πλαισίων

δ [m]: υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών Φ/Β πλαισίων ($\delta = 0$ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο)

- Υπολογισμός της ελεύθερης απόστασης (α) μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων. Η ελεύθερη απόσταση α προκύπτει από τον λόγο α/v , τον οποίο υπολογίζουμε από το διάγραμμα της εικόνας 7.11.



Εικόνα 7.11: Καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης α μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων προς επικάλυψη του ύψους υ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου.

Το διάγραμμα της εικόνας 7.11 ονομάζεται διάγραμμα Monegon και ο λόγος (α/υ) ονομάζεται σταθερά του διαγράμματος Monegon. Για γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 25° - 45° , η σταθερά του διαγράμματος Monegon προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την μαθηματική σχέση (7.2):

$$(\alpha/\upsilon) = 0,0042 * \varphi^2 - 0,1661 * \varphi + 2,8653 \quad (7.2)$$

όπου:

φ [°]: γεωγραφικό πλάτος του τόπου

Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων.

$$\epsilon = \alpha + \gamma * \sigma\upsilon\nu(\beta) \quad [m] \quad (7.3)$$

όπου α [m], γ [m], β [°], όπως προηγουμένα.

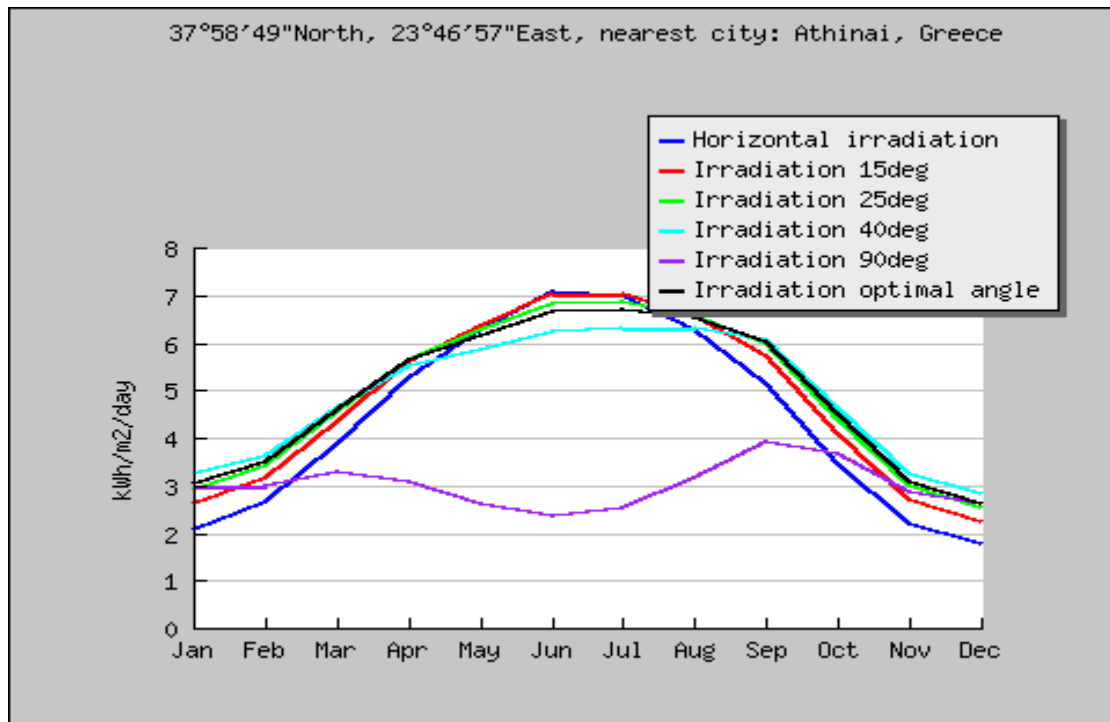
7.5. Υπολογισμός ηλιακής ενέργειας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο υπολογισμός αυτός μπορεί να γίνει αυτόματα μέσα από βάσεις δεδομένων μετεωρολογικών στοιχείων, όπως αυτή του PVGIS. Για παράδειγμα, στην περιοχή Ζωγράφου, Αττικής, οι τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο για διάφορες κλίσεις γωνιών φαίνονται στην εικόνα 7.12. Στην ίδια εικόνα φαίνονται και οι βέλτιστες γωνίες κλίσης των Φ/Β πανέλων για κάθε μήνα του έτους.

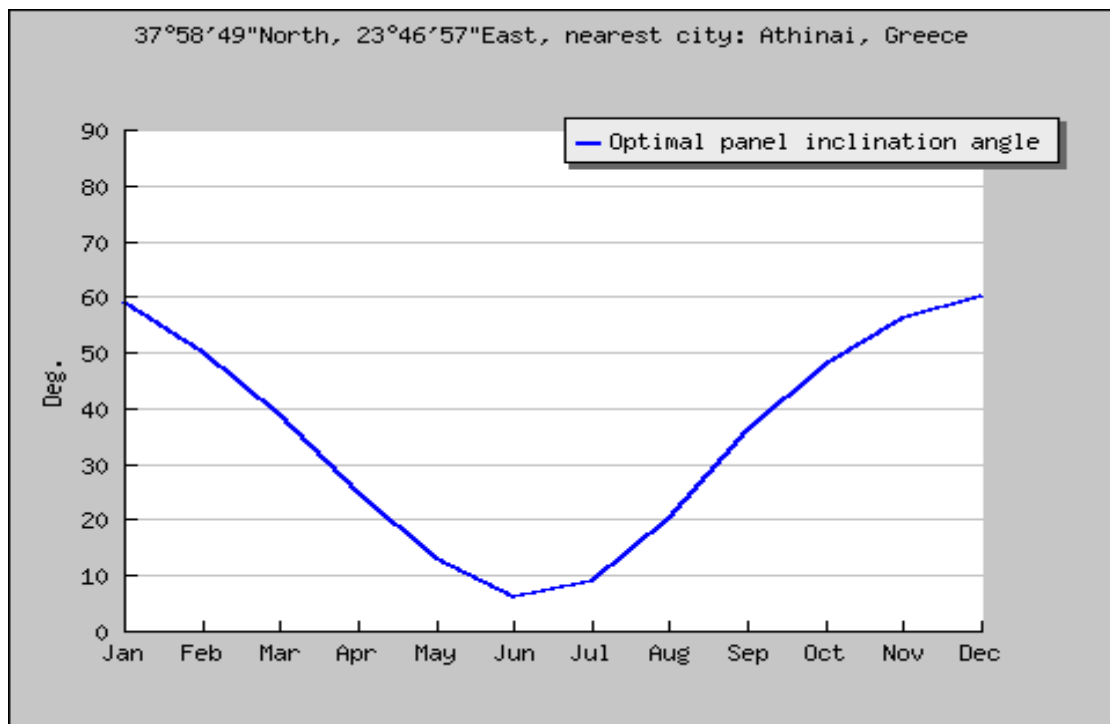
Month	Irradiation at inclination: (Wh/m ² /day)						Optimal inclination (deg.)
	0 deg.	15 deg.	25 deg.	40 deg.	90 deg.	Opt. angle	
Jan	2057	2616	2920	3244	2977	3046	59
Feb	2646	3141	3390	3617	2973	3486	50
Mar	3885	4350	4546	4648	3273	4607	39
Apr	5265	5580	5642	5497	3091	5626	25
May	6277	6367	6261	5847	2618	6156	13
Jun	7083	7040	6823	6225	2368	6661	6
Jul	6996	7022	6851	6309	2534	6707	9
Aug	6292	6578	6585	6308	3153	6530	20
Sep	5145	5738	5969	6043	3925	6031	36
Oct	3441	4069	4377	4641	3665	4492	48
Nov	2175	2696	2972	3255	2883	3085	56
Dec	1758	2246	2513	2802	2614	2625	60
Year	4427	4795	4912	4876	3006	4928	30

Εικόνα 7.12: Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Η βάση δεδομένων του PVGIS παρέχει και σχεδιαγράμματα στα οποία φαίνονται τα δεδομένα της εικόνας 7.12 με σχηματικό τρόπο. Η εικόνα 7.13 παρουσιάζει τις τιμές της ακτινοβολίας σε διάφορες κλίσεις για κάθε μήνα και η εικόνα 7.14 βέλτιστη γωνία κλίσης των πανέλων για κάθε μήνα.



Εικόνα 7.13: Διάγραμμα έντασης ηλιακής ακτινοβολίας για διαφορετική κλίση



Εικόνα 7.14: Διάγραμμα βέλτιστης γωνίας κλίσης για κάθε μήνα του χρόνου

Πέρα από τις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, υπάρχει τρόπος υπολογισμού της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο και χειρόγραφα. Η πιο διαδεδομένη και γνωστή μέθοδος υπολογισμού είναι αυτή των Liu και Jordan, η

οποία θα περιγραφεί παρακάτω. Η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο H_t δίνεται από τη σχέση:

$$H_t = R * H \text{ (kWh/m}^2\text{/μήνα)} \quad (7.4)$$

Όπου:

H : η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

R : ο συντελεστής μετατροπής (αδιάστατο μέγεθος) που δίνεται από τη σχέση:

$$R = \left(1 - \frac{H_d}{H}\right) * R_b + \frac{H_d}{H} * \frac{(1 + \cos(s))}{2} + r * \frac{(1 - \cos(s))}{2} \quad (7.5)$$

Όπου:

H_d : η μέση μηνιαία έμμεση (διάχυτη) ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

R_b : ο λόγος της μέσης μηνιαίας άμεσης ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς αυτή σε οριζόντιο επίπεδο (αδιάστατο μέγεθος)

s : η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο

r : ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους. Η τιμή του συντελεστή κυμαίνεται από 0,2~0,7. Η τιμή 0,7 είναι για χιόνι, ενώ η τιμή 0,2 είναι για κανονικό έδαφος.

Ο λόγος H_d/H εκφράζεται σαν συνάρτηση του συντελεστή αιθριότητας K_t που είναι ο λόγος της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς αυτή που θα έφθανε σε οριζόντιο επίπεδο αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Η σχέση H_d/H και K_t δίνεται από την εμπειρική σχέση 7.6 των Liu και Jordan:

$$\frac{H_d}{H} = 1,3903 - 4,0273 * K_t + 5,5215 * K_t^2 - 3,108 * K_t^3 \quad (7.6)$$

Η τιμή του R_b για επιφάνειες που είναι στραμμένες προς το νότο δίνεται σαν συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους L και της κλίσης της επιφάνειας s από την σχέση 2.7. Σημειώνεται ότι η σχέση δίνει αποτελέσματα με μικρό σχετικά σφάλμα για απόκλιση της επιφάνειας από το νότο έως 15° .

$$R_b = \frac{\cos(L-s) * \cos(\delta) * \sin(h'_s) + \frac{\pi}{180} * h'_s * \sin(L-s) * \sin(\delta)}{\cos(L) * \cos(\delta) * \sin(h_s) + \frac{\pi}{180} * h_s * \sin(L) * \sin(\delta)} \quad (7.7)$$

Όπου:

h_s : η ωριαία γωνία που δίνει ο ήλιος σε οριζόντιο επίπεδο εκφρασμένη σε μοίρες

$$h_s = \cos^{-1}(-\tan(L) * \tan(\delta)) \quad (7.8)$$

h'_s : η ωριαία γωνία που δίνει ο ήλιος σε κεκλιμένη επιφάνεια εκφρασμένη σε μοίρες

$$h'_s = \min\{h_s, \cos^{-1}(-\tan(L - s) * \tan(\delta))\} \quad (7.9)$$

δ: η ηλιακή απόκλιση εκφρασμένη σε μοίρες

$$\delta = 23,45 * \sin\left[360 * \frac{(284+n)}{365}\right] \quad (7.10)$$

n: η ημέρα του έτους (n=1 για την 1^η Ιανουαρίου)

Επισημαίνεται ότι η ηλιακή απόκλιση δ υπολογίζεται για μια διακεκριμένη ημέρα του κάθε μήνα που είναι αυτή που φαίνεται στον πίνακα 7.2 .

Ιανουάριος	17 ^η	Ιούλιος	17 ^η
Φεβρουάριος	16 ^η	Αύγουστος	16 ^η
Μάρτιος	16 ^η	Σεπτέμβριος	15 ^η
Απρίλιος	15 ^η	Οκτώβριος	15 ^η
Μάιος	15 ^η	Νοέμβριος	14 ^η
Ιούνιος	11 ^η	Δεκέμβριος	10 ^η

Πίνακας 7.2: Διακεκριμένη ημέρα για τον υπολογισμό της ηλιακής απόκλισης

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο για την περιοχή που βρίσκονται τα κτίρια ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Θα γίνει ενδεικτικά υπολογισμός για τον μήνα Ιανουάριο και για κλίση πανέλων 30°. Στην περιοχή αυτή το γεωγραφικό πλάτος είναι: L= 37°58'49"/ **L=37,97** (αφού 58/60=0,97).

Αρχικά, μέσω της σχέσης (7.10) υπολογίστηκε η ηλιακή απόκλιση για τη διακεκριμένη ημέρα του μήνα Ιανουαρίου (17η).

$$\delta = 23,45 * \sin\left[360 * \frac{(284 + 17)}{365}\right] = -20,92$$

Στη συνέχεια, μέσω των σχέσεων (7.8) και (7.9), υπολογίστηκε η ωριαία γωνία που δέει ο ήλιος σε οριζόντιο και σε κεκλιμένο επίπεδο αντίστοιχα.

$$h_s = \cos^{-1}(-\tan(39,97) * \tan(-20,92)) = 71,31$$

$$\begin{aligned} h'_s &= \min\{71,31, \cos^{-1}(-\tan(39,97 - 30) * \tan(-20,92))\} \\ &= \min\{71,31, 86,15\} = 71,31 \end{aligned}$$

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του συντελεστή R_b από τη σχέση :

$$R_b = \frac{\cos(39,97 - 30) * \cos(-20,92) * \sin(71,31) + \frac{\pi}{180} * 71,31 * \sin(39,97 - 30) * \sin(-20,92)}{\cos(39,97) * \cos(-20,92) * \sin(71,31) + \frac{\pi}{180} * 71,31 * \sin(39,97) * \sin(-20,92)}$$

$$R_b = 2,024$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός του ηλιακού H_d/H από τη σχέση 7.6 για συντελεστή αιθριότητας $K_t=0,38$, και ο υπολογισμός του συντελεστή μετατροπής R από τη σχέση 7.5 για συντελεστή ανάκλασης του εδάφους $r=0,2$:

$$\frac{H_d}{H} = 1,3903 - 4,0273 * 0,38 + 5,5215 * 0,38^2 - 3,108 * 0,38^3 = 0,49$$

$$R = (1 - 0,49) * 2,024 + 0,49 * \frac{(1 + \cos(30))}{2} + 0,2 * \frac{(1 - \cos(30))}{2}$$

$$R = 1,5$$

Τέλος, με γνωστό το συντελεστή μετατροπής R και την μέση ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο από τον πίνακα 7.3 για τον μήνα Ιανουάριο, μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης 30 μοιρών από τη σχέση 7.4.

$$H_t = 1,5 * 2060 \frac{Wh}{m^2 \eta \mu \acute{\epsilon} \rho \alpha} = 3090 \frac{Wh}{m^2 \eta \mu \acute{\epsilon} \rho \alpha}$$

Παρατηρούμε πως η τιμή που υπολογίστηκε για την ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο 30 μοιρών είναι πολύ κοντινή με αυτήν που υπολογίζει το πρόγραμμα του PVGIS. Επίσης, ο υπολογισμός με την συγκεκριμένη μέθοδο είναι πολύ χρονοβόρος και λόγω των πολλών και σύνθετων αριθμητικών πράξεων είναι πολύ εύκολο να γίνουν λάθη. Συγκεκριμένα, με την χειροκίνητη μέθοδο υπολογισμού, η τιμή που προέκυψε για τον μήνα Ιανουάριο σε επίπεδο κλίσης 30 μοιρών είναι 3090 $Wh/m^2/\eta \mu \acute{\epsilon} \rho \alpha$. Η αντίστοιχη τιμή που υπολογίζει το πρόγραμμα είναι 3030 $Wh/m^2/\eta \mu \acute{\epsilon} \rho \alpha$. Παρατηρείται, ότι η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών είναι πολύ μικρή και συγκεκριμένα είναι:

$$3090 - 3030 = 60 \frac{Wh}{m^2 \eta \mu \acute{\epsilon} \rho \alpha}$$

Το στατιστικό σφάλμα μεταξύ των δύο μεθόδων είναι:

$$\left\{ \frac{3090 - 3030}{3090} \right\} * 100\% = 1,94\%$$

Η τιμή αυτή είναι μέσα στα όρια του στατιστικού σφάλματος, το οποίο είναι 5%, και δεν προκαλεί ανησυχία για την αξιοπιστία του προγράμματος του PVGIS. Η μικρή διαφορά μεταξύ των μεθόδων είναι πιθανό να οφείλεται σε διαφορετικές παραδοχές που μπορεί να έγιναν στον συντελεστή αιθριότητας, στον συντελεστή ανάκλασης του εδάφους και σε άλλες παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν. Συνεπώς, η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων είναι αυτή των 30°.

Month	H_h	$H(30)$
Jan	2060	3030
Feb	2660	3490
Mar	3900	4610
Apr	5270	5630
May	6280	6160
Jun	7070	6660
Jul	6980	6700
Aug	6280	6520
Sep	5130	6000
Oct	3440	4470
Nov	2180	3080
Dec	1770	2610
Year	4430	4920

Πίνακας 7.3: Ακτινοβολία σε Wh/m²/ημέρα για οριζόντιο επίπεδο για κλίση 30°

7.6 Επιλογή Φ/Β πλαισίων

Η επιλογή των πλαισίων που θα τοποθετηθούν, έχει να κάνει κυρίως με τον τύπο και την ισχύ αυτών. Η αναζήτηση των βάσεων δεδομένων έγινε για πάνελα μεγάλης ισχύος των 230 W, για να υπάρξει μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Όσον αφορά τον τύπο, δηλαδή την τεχνολογία των πλαισίων, αναζητήθηκαν πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η μειωμένη τους απόδοση σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αντισταθμίζεται από την χαμηλότερη τιμή τους. Μετά από αναζήτηση στις βάσεις δεδομένων επιλέχθηκαν τα Φ/Β πλαίσια της εταιρίας Yingli Solar και μάλιστα το μοντέλο YL230P-29b, το οποίο πληρούσε όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές.

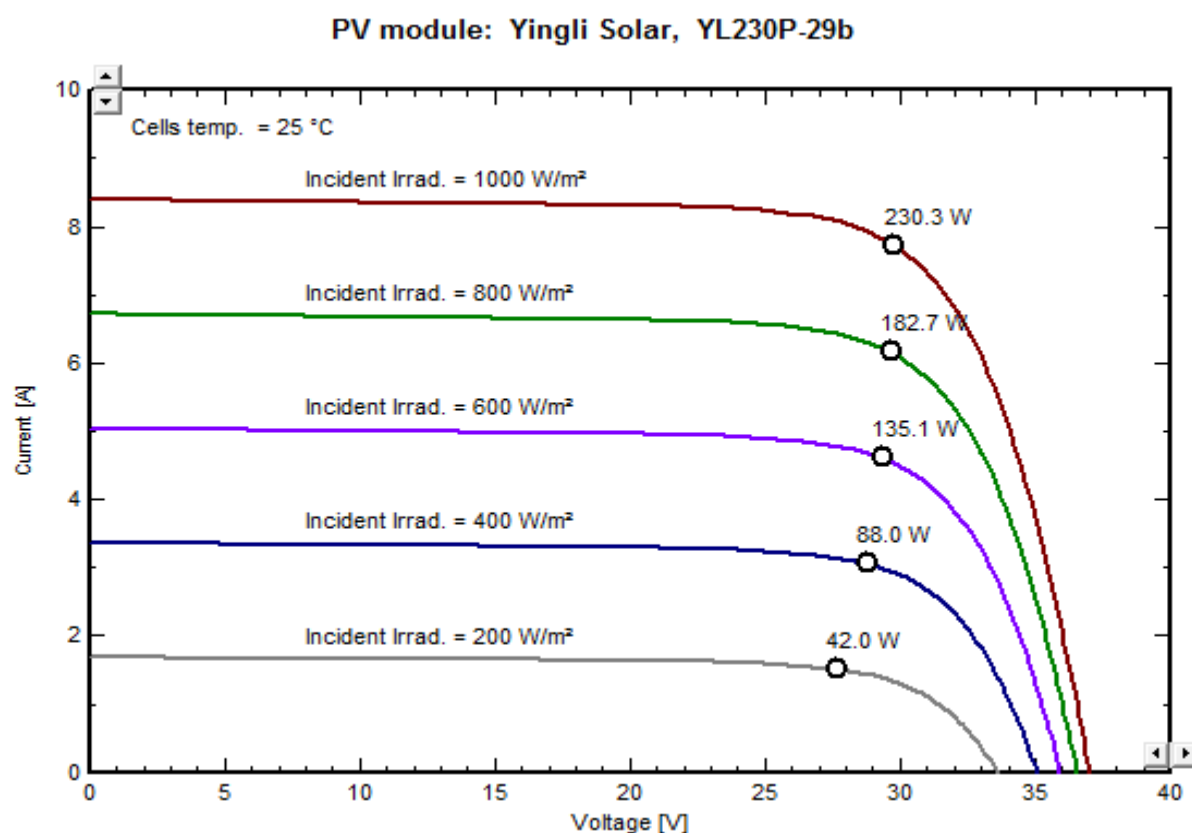
Στο παράρτημα παρατίθεται φυλλάδιο με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, καθώς και στοιχεία για την εταιρία που το κατασκευάζει.

Στη συνέχεια, ακολουθούν κάποιες γραφικές παραστάσεις για το πλαίσιο της Yingli Solar, ενδεικτικά, τις οποίες δίνει το πρόγραμμα PVsyst. Στις γραφικές παραστάσεις φαίνεται πώς επιδρά η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία στην χαρακτηριστική

καμπύλη ρεύματος-τάσης, του συγκεκριμένου μοντέλου, για διαφορετικές συνθήκες από τις STC.

Συνθήκες STC είναι οι πρότυπες συνθήκες δοκιμής και αναφέρονται στις εξής συνθήκες:

- Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m^2 .
- Θερμοκρασία πλαισίου 25°C .
- Φασματική κατανομή $AM = 1,5$. Το $AM = 1,5$ είναι ένα τυπικό ηλιακό φάσμα πάνω στην επιφάνεια της γης για μια καθαρή μέρα, με ολική ηλιακή ένταση 1000W/m^2 .
- Ανοχές μετρήσεων $\pm 3\%$.

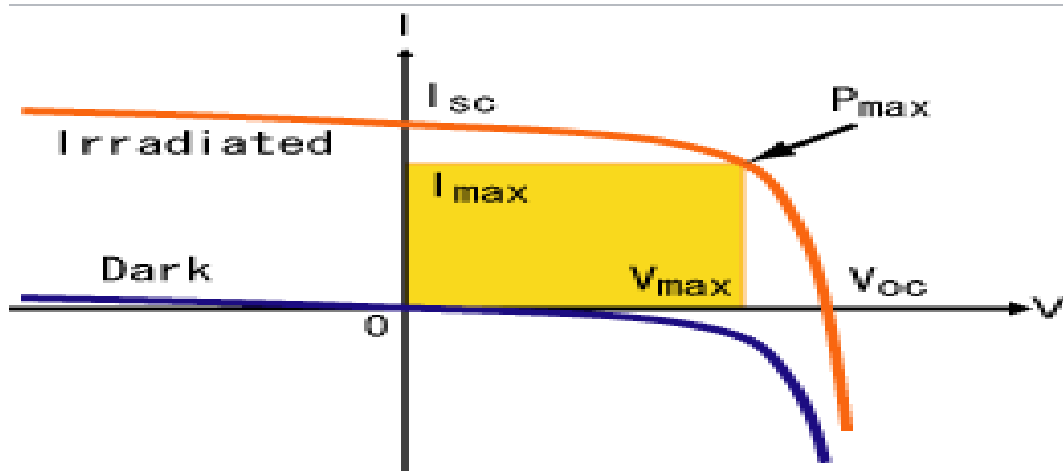


Εικόνα 7.15: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους 25°C . Με την μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παρατηρείται σημαντική μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sc}) και της παραγόμενης ισχύος στο MPP. Αντίθετα η τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}) μετατοπίζεται ελαφρά.

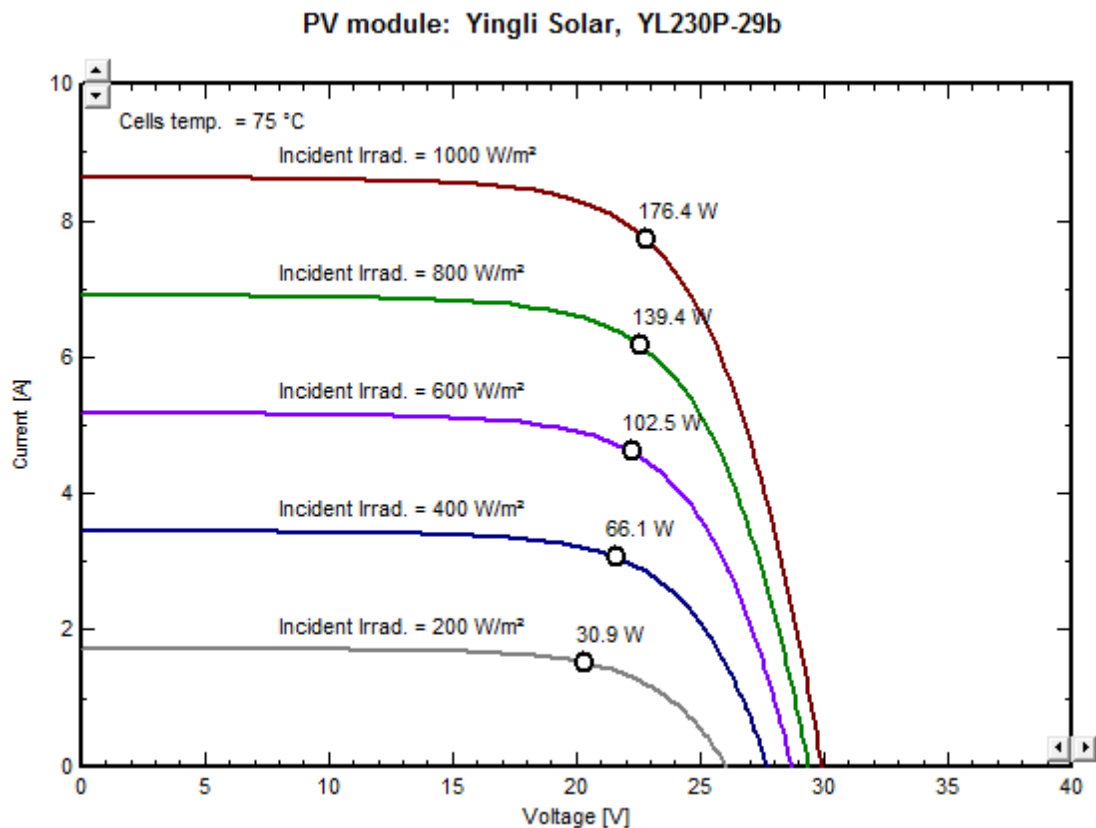
- I_{sc} : το ρεύμα βραχυκύκλωσης στην έξοδο του πλαισίου για τάση εξόδου $V=0$.
- V_{oc} : η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που είναι η τάση για ρεύμα $I=0$.
- MPP: το σημείο μέγιστης ισχύος εξόδου που είναι το σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V, από όπου μπορούμε να κατασκευάσουμε το ορθογώνιο με την μέγιστη επιφάνεια μέσα στην καμπύλη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 7.16. Η ισχύς στο σημείο αυτό, για δοσμένες συνθήκες

θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει το πλαίσιο (P_{max}).



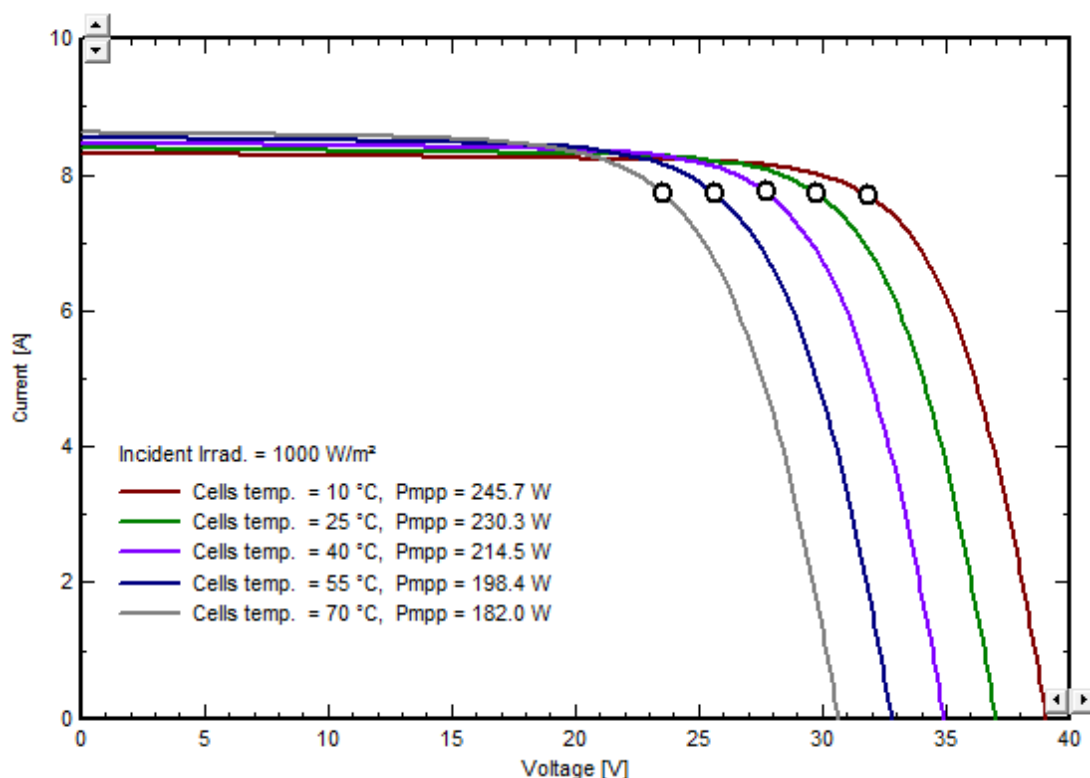
Εικόνα 7.16. Χαρακτηριστική I-V σε συγκεκριμένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και σε σκοτάδι, για κάποιο ηλιακό κύτταρο

Όπως φαίνεται στην εικόνα 7.17, με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας, από τους 25 στους 75 βαθμούς Κελσίου, παρατηρείται μείωση της παραγόμενης ισχύος στο σημείο μέγιστης ισχύος, για τις ίδιες συνθήκες ακτινοβολίας. Η εικόνα 7.18 είναι περισσότερο αποσαφηνιστική για την επίδραση της θερμοκρασίας.



Εικόνες 7.17: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους 75°C.

PV module: Yingli Solar, YL230P-29b



Εικόνα 7.18: Χαρακτηριστικές I-V για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων του πλαισίου

Στην εικόνα 7.18 η τιμή της προσπίπτουσας ολικής ακτινοβολίας παραμένει σταθερή στα 1000 W/m^2 . Παρατηρείται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων του πλαισίου, υπάρχει μετατόπιση του σημείου μέγιστης ισχύος, που αντιστοιχεί σε μείωση της παραγόμενης ισχύος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται ελαφρά, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος μειώνεται περισσότερο αισθητά. Συμπερασματικά, η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του πλαισίου, κάτι που συμβαίνει και με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του.

7.7 Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων

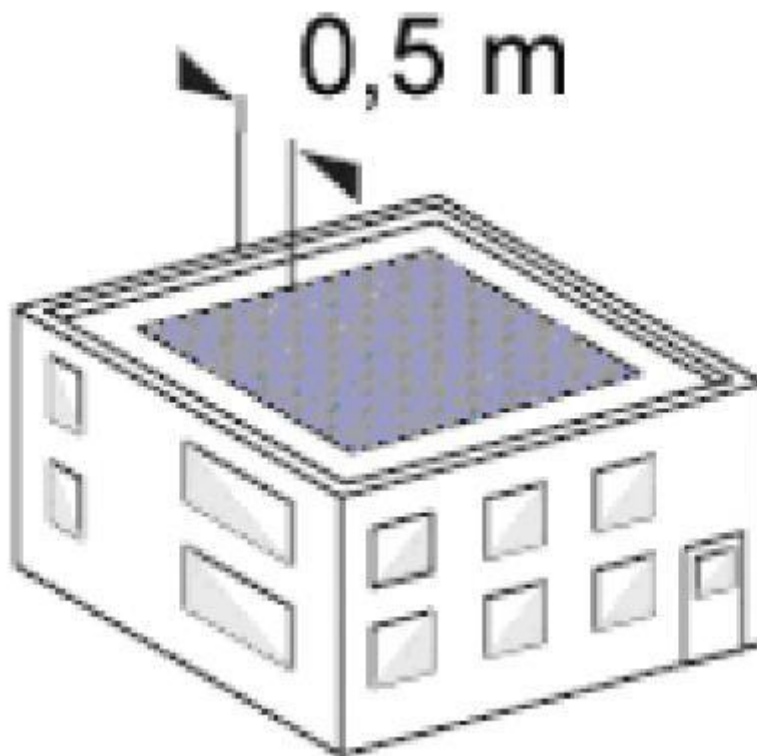
Η χωροθέτηση των πλαισίων στην ταράτσα ή στο δώμα κάποιου κτιρίου απαιτεί την γνώση του χώρου όπου θα γίνει η εγκατάσταση, τη γνώση των κανονισμών χωροθέτησης σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και την μελέτη για την αποφυγή της σκίασης μεταξύ των διαδοχικών σειρών των πανέλων.

Η περιγραφή του κτιρίου και η καταγραφή των διαστάσεών του έγινε στην ενότητα 7.1. Η συνολική διαθέσιμη επιφάνεια της ταράτσας του κτιρίου, όπου μπορεί να γίνει η εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος είναι **907,833 m^2** . Η επιφάνεια αυτή είναι διαφορετική, και προφανώς μεγαλύτερη, από την ωφέλιμη επιφάνεια που μπορεί να αξιοποιηθεί, λόγω περιορισμών που προκύπτουν από το θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας των Φ/Β συστημάτων.

Όσον αφορά τους κανόνες χωροθέτησης, συγκεντρωτικά, αυτοί είναι οι εξής:

- Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνω από την απόληξη του κλιμακοστασίου, του φρεατίου ανελκυστήρα και οποιασδήποτε άλλης κατασκευής.
- Σε περίπτωση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών σε υπάρχουσες στέγες, θα πρέπει αυτή να γίνεται εντός του όγκου της στέγης ακολουθώντας την κλίση τους. Δεν υπάρχει περιορισμός απόστασης από τη περίγραμμά της.
- Αν τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται σε δώμα, θα πρέπει η απόσταση από το στηθαίο του δώματος να είναι μισό (0,5) μέτρο εσωτερικά αυτού για λόγους ασφαλείας.
- Το ολικό ύψος της εγκατάστασης δε θα πρέπει να ξεπερνάει τα 2,5 μέτρα.
- Επιτρέπεται η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων στις προσόψεις κτιρίων.

Η απόσταση που θα πρέπει να κρατηθεί από το στηθαίο του κτιρίου είναι μισό μέτρο, ώστε να είναι η εγκατάσταση σύμφωνη με την νομοθεσία. Οπότε, η ωφέλιμη επιφάνεια του κτιρίου για εγκατάσταση Φ/Β συστήματος είναι **824,92 m²**.



Εικόνα 7.20: Ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση από το στηθαίο

Από τις προηγούμενες παραγράφους είναι γνωστά τα πλαίσια που θα τοποθετηθούν, είναι γνωστή η βέλτιστη γωνία κλίσης αυτών και ο προσανατολισμός τους. Εφόσον είναι γνωστή και η επιφάνεια τοποθέτησής τους, μένει μόνο η μελέτη σκίασης για την τελική χωροθέτηση των πανέλων. Η μελέτη σκίασης του συστήματος είναι απαραίτητη ώστε να βρεθεί η κατάλληλη απόσταση που πρέπει να έχουν μεταξύ τους οι συστοιχίες των πλαισίων ώστε να αποφεύγεται η σκιάσή τους και να επιτρέπεται η πρόσβαση σε αυτά για τις απαραίτητες λειτουργίες συντήρησης και ελέγχου των πλαισίων.

Στην ενότητα 7.4 έχει γίνει ήδη αναφορά στους τύπους για την εκπόνηση της μελέτης σκίασης. Το μήκος του πλαισίου που έχει επιλεγεί, σύμφωνα με τα τεχνικά του χαρακτηριστικά που παρατίθενται στο παράρτημα , είναι 1650mm (1,65m), η γωνία κλίσης των πλαισίων είναι 30 μοίρες και η υψομετρική τους διαφορά είναι μηδέν, αφού στηρίζονται στο ίδιο επίπεδο. Οπότε, η επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης είναι:

$$u = \gamma * \eta\mu(\beta) - \delta = 1,65 * \eta\mu(30) - 0 = 1,65 * 0,5 = 0,825 \text{ m}$$

Από το διάγραμμα Monogon της εικόνας 7.11 και από την μαθηματική σχέση 7.2 που προσεγγίζει το διάγραμμα, υπολογίζεται ο λόγος (α/u), προκειμένου να υπολογιστεί η ελεύθερη απόσταση (α) των συστοιχιών. Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι 39,97.

$$\frac{\alpha}{u} = 0,0042 * \varphi^2 - 0,1661 * \varphi + 2,8653$$

$$= 0,0042 * 39,97^2 - 0,1661 * 39,97 + 2,8653 = 2,94$$

Η ελεύθερη απόσταση (α) είναι:

$$\alpha = 2,94 * u = 2,94 * 0,825 = 2,43$$

Τελικά, η ελάχιστη απόσταση (ε) μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων είναι:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma * \cos(\beta) = 2,43 + 1,65 * \cos(30) = 3,86 \text{ m}$$

Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης ε παραπάνω, έγινε για την περίπτωση της κάθετης (landscape) διάταξης των πλαισίων. Αντίστοιχα μπορεί να γίνει και στην περίπτωση της οριζόντιας (portrait) διάταξης. Στην περίπτωση της οριζόντιας διάταξης των πλαισίων, ως μήκος θα θεωρείται το πλάτος των πλαισίων δηλαδή, όπως φαίνεται και στα τεχνικά χαρακτηριστικά του παραρήματος, 990mm (0,99m). Έτσι, η επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης για την περίπτωση της οριζόντιας στήριξης των πλαισίων είναι:

$$v = \gamma * \sin(\beta) - \delta = 0,99 * \sin(30) - 0 = 0,495 \text{ m}$$

Ο λόγος (α/u), ο οποίος προκύπτει από το διάγραμμα Monogon είναι ίδιος με την περίπτωση της κάθετης διάταξης των πανέλων, εφόσον εξαρτάται μόνο από το

γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το οποίο φυσικά είναι ίδιο. Έτσι, $(\alpha/u) = 2,94$.

Η ελεύθερη απόσταση (α) είναι:

$$\alpha = 2,94 * v = 2,94 * 0,495 = 1,46m$$

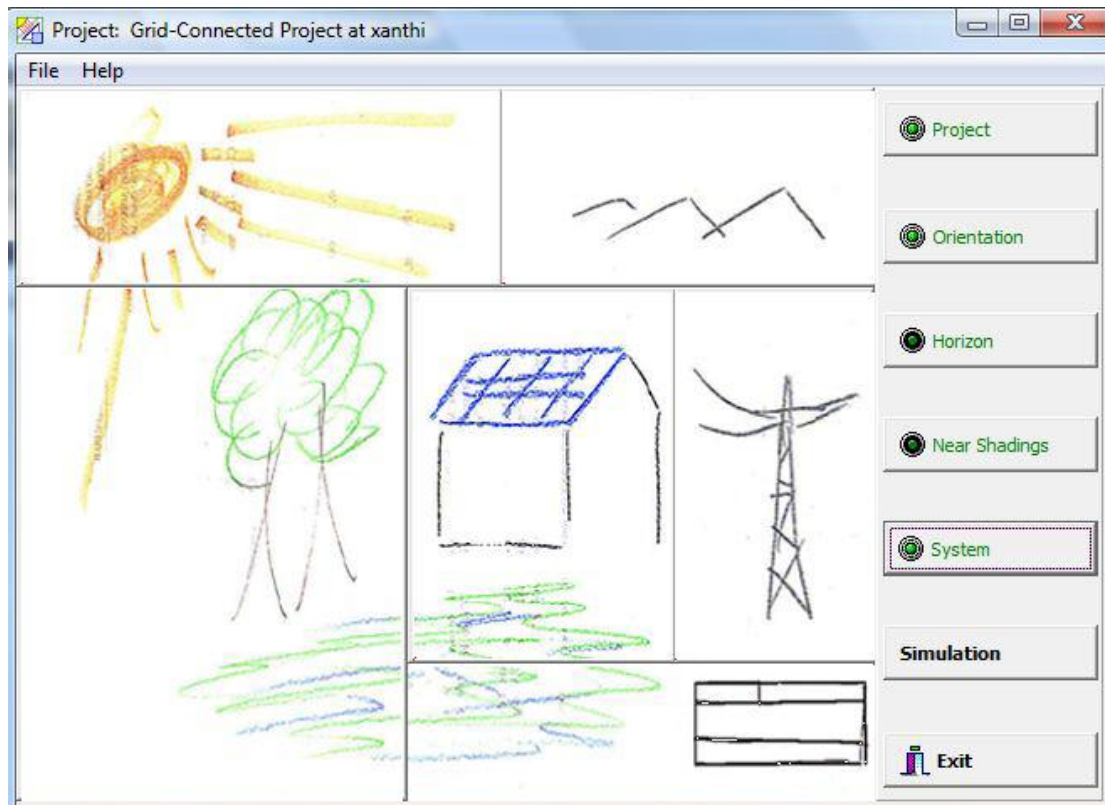
Τελικά, η ελάχιστη απόσταση (ε) μεταξύ δύο γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων είναι:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma * \cos(\beta) = 1,46 + 0,99 * \cos(30) = 2,32m$$

Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, κύριος στόχος είναι να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή ενέργειας από το σύστημα, ώστε να επιτευχθεί και μεγιστοποίηση των εσόδων από την πώληση αυτής της ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο διερευνάται η βέλτιστη τοποθέτηση των πλαισίων στην ταράτσα, ώστε να χωρέσουν όσο το δυνατό περισσότερα και να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της εγκατεστημένης ισχύος της εγκατάστασης. Όπως αποδεικνύεται από τα παραπάνω, η οριζόντια διάταξη των πανέλων απαιτεί μικρότερη ελάχιστη απόσταση ε μεταξύ δύο γειτονικών σειρών. Αυτό είναι λογικό, επειδή λόγω μικρότερου ύψους, δημιουργείται μικρότερη επικάλυψη, και ως εκ τούτου σκίαση, των πιο πίσω σειρών.

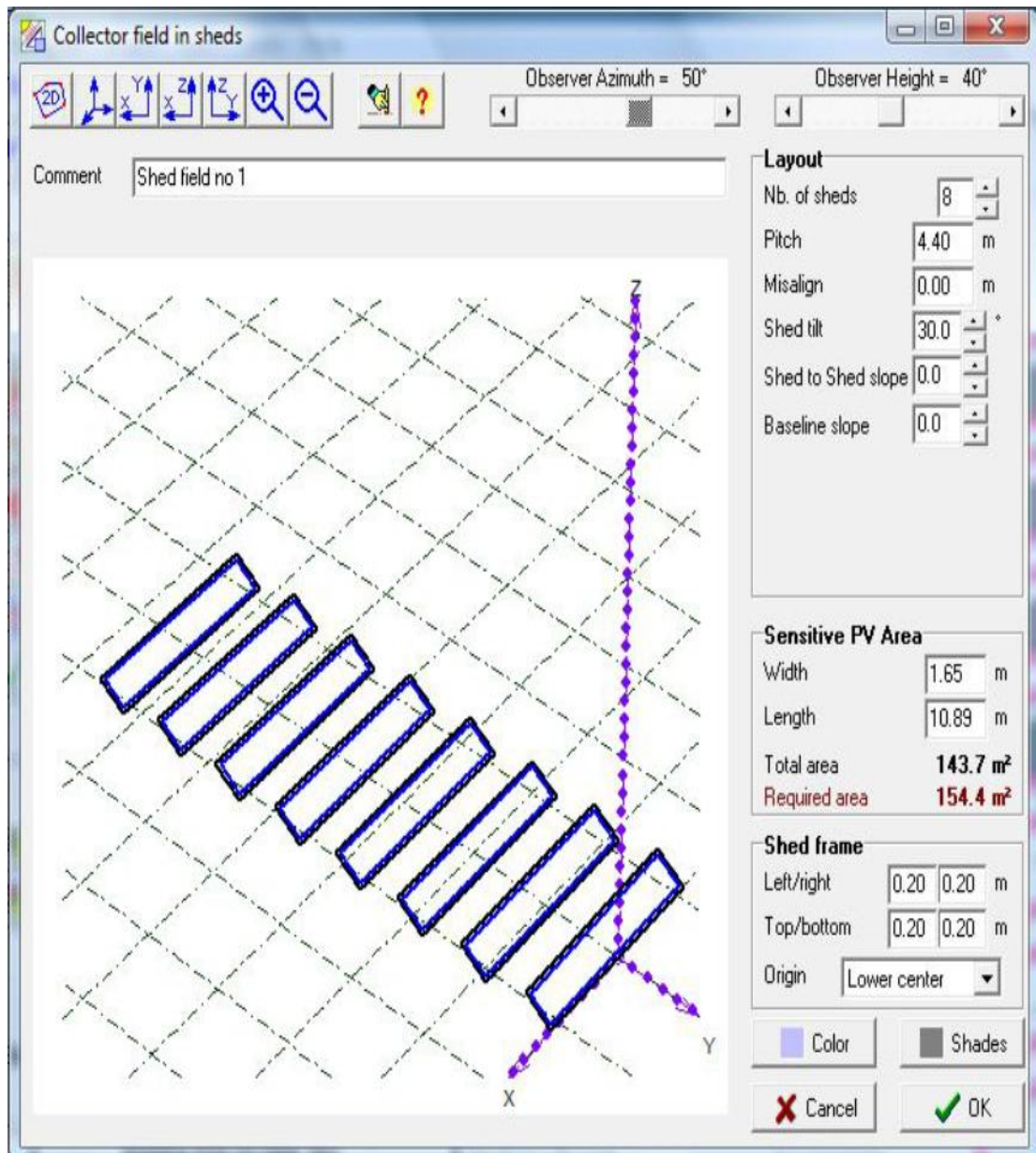
Από την άλλη, δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση του ίδιου αριθμού πλαισίων στην ίδια σειρά, λόγω αύξησης του μήκους τους. Έτσι, μπορεί η απόσταση μεταξύ των σειρών να είναι μικρότερη, αλλά χρησιμοποιούνται και λιγότερα πανέλα σε κάθε σειρά. Ανάλογα με τις διαστάσεις της ταράτσας, στην οποία θα γίνει η τοποθέτηση, προκύπτει και διαφορετική βέλτιστη επιλογή. Γενικότερα, όταν οι διαφορές στην ποσότητα των πλαισίων, ανάλογα με την διάταξη τοποθέτησης, είναι μικρές, αποφεύγεται ή θα έπρεπε να αποφεύγεται η υλοποίηση της οριζόντιας διάταξης. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή θα χρησιμοποιείται περισσότερο μέρος της βάση στήριξης για να “σηκωθεί” μικρότερος αριθμός πλαισίων.

Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης ε μεταξύ δύο γειτονικών σειρών, μπορεί να γίνει και με το πρόγραμμα του PVsyst. Λόγω της χρήσης ως παραδείγματος, θα γίνει υπολογισμός μόνο για την περίπτωση της κάθετης διάταξης. Η διαφορά με την μέθοδο που ακολουθήθηκε παραπάνω είναι πως υπάρχει δυνατότητα προσομοίωσης της κατάστασης σκίασης των πανέλων σε όλη τη διάρκεια της μέρας. Επιπλέον, το πρόγραμμα του PVsyst λαμβάνει υπ' όψιν τα ακριβή μετεωρολογικά δεδομένα που επικρατούν στην περιοχή που γίνεται η μελέτη. Ο υπολογισμός της ελεύθερης απόστασης γίνεται από την επιλογή “Near shadings” του κεντρικού μενού του προγράμματος της εικόνας 7.22.



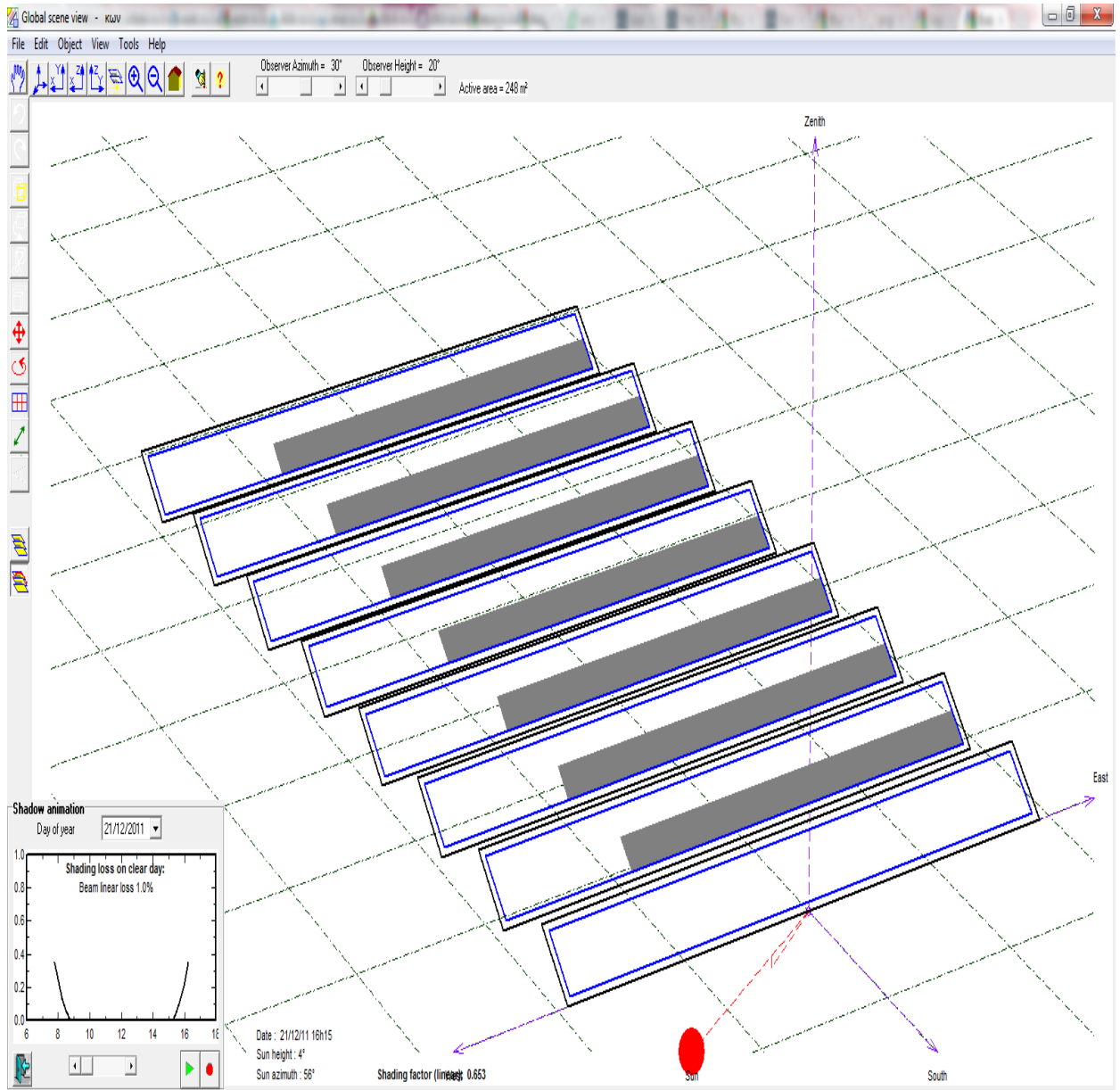
Εικόνα 7.22: Απεικόνιση των επιλογών του κεντρικού μενού του Pvsys

Αρχικά, πρέπει να περαστούν τα δεδομένα στο πρόγραμμα με σχηματικό τρόπο, ώστε να υπάρχει οπτική απεικόνιση και να είναι εύκολα κατανοητή η αναπαράσταση της κατάστασης, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.23. Στην συγκεκριμένη εργασία τα πάνελα που επιλέχθηκαν έχουν μήκος 1,65 μέτρα και πλάτος 0,99 μέτρα. Ο υπολογισμός της ελεύθερης απόστασης με τους τύπους που έγινε παραπάνω, δεν λαμβάνει υπ' όψιν ούτε τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, ούτε τον αριθμό των πανέλων που θα έχει κάθε συστοιχία, ούτε τον αριθμό των συστοιχιών. Τα στοιχεία αυτά ποικίλουν και διαφέρουν για κάθε περίπτωση. Όσον αφορά την συγκεκριμένη μελέτη υπολογίζεται πως θα τοποθετηθούν 19 πάνελα σε κάθε συστοιχία και 8 συστοιχίες στην ταράτσα του κτιρίου. Το μήκος της κάθε συστοιχίας θα είναι $19 * 0,99 = 18,81$ μέτρα. Το pitch είναι το ύψος, δηλαδή η απόσταση που θα έχει κάθε συστοιχία με την άλλη ή αλλιώς η ελάχιστη απόσταση που υπολογίστηκε παραπάνω, δεδομένου ότι προτιμάται κάθετη διάταξη. Βέβαια, στη συνέχεια βρίσκεται μέσω του προγράμματος ποια είναι η ακριβέστερη τιμή που πρέπει να πάρει η μεταβλητή pitch.



Εικόνα 7.23: Απεικόνιση δεδομένων για υπολογισμό σκίασης με PVsyst

Αφού περαστούν τα απαραίτητα δεδομένα στο πρόγραμμα, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.23, μπορεί να γίνει μια προσομοίωση, μια αναπαράσταση της πραγματικής κατάστασης. Η αναπαράσταση αυτή, δείχνει οπτικά σε κάθε στιγμή της ημέρας, και ανάλογα με την θέση του ήλιου, την σκίαση που υπάρχει σε κάθε επιφάνεια των Φ/Β πανέλων της εγκατάστασης. Λαμβάνει υπ' όψιν δηλαδή τη μετακίνηση του ήλιου, την τροχιά που ακολουθεί από την ανατολή προς τη δύση, καθώς και το ύψος που έχει σε κάθε θέση, ώστε να εξαχθούν τα ακριβέστερα δυνατά συμπεράσματα. Στην εικόνα 7.24 φαίνεται ένα στιγμιότυπο από ολόκληρη την αναπαράσταση της κατάστασης για μία συγκεκριμένη ώρα της ημέρας, και τι σκίαση έχουν τα πανέλα σύμφωνα με την θέση του ήλιου, ο οποίος είναι το κόκκινο σύμβολο στην εικόνα.

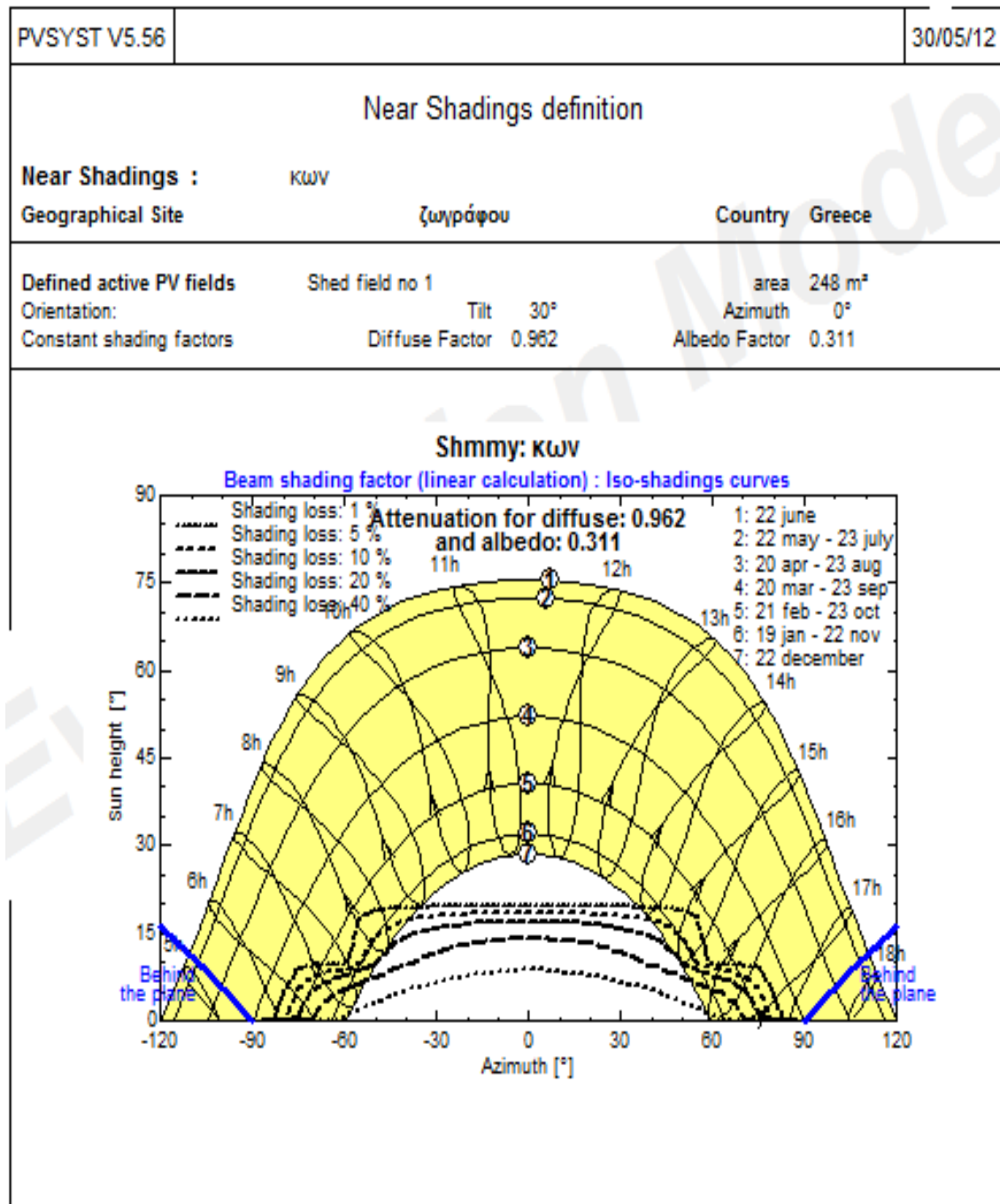


Εικόνα 7.24: Στιγμιότυπο αναπαράστασης της σκίασης στο Pvsyst

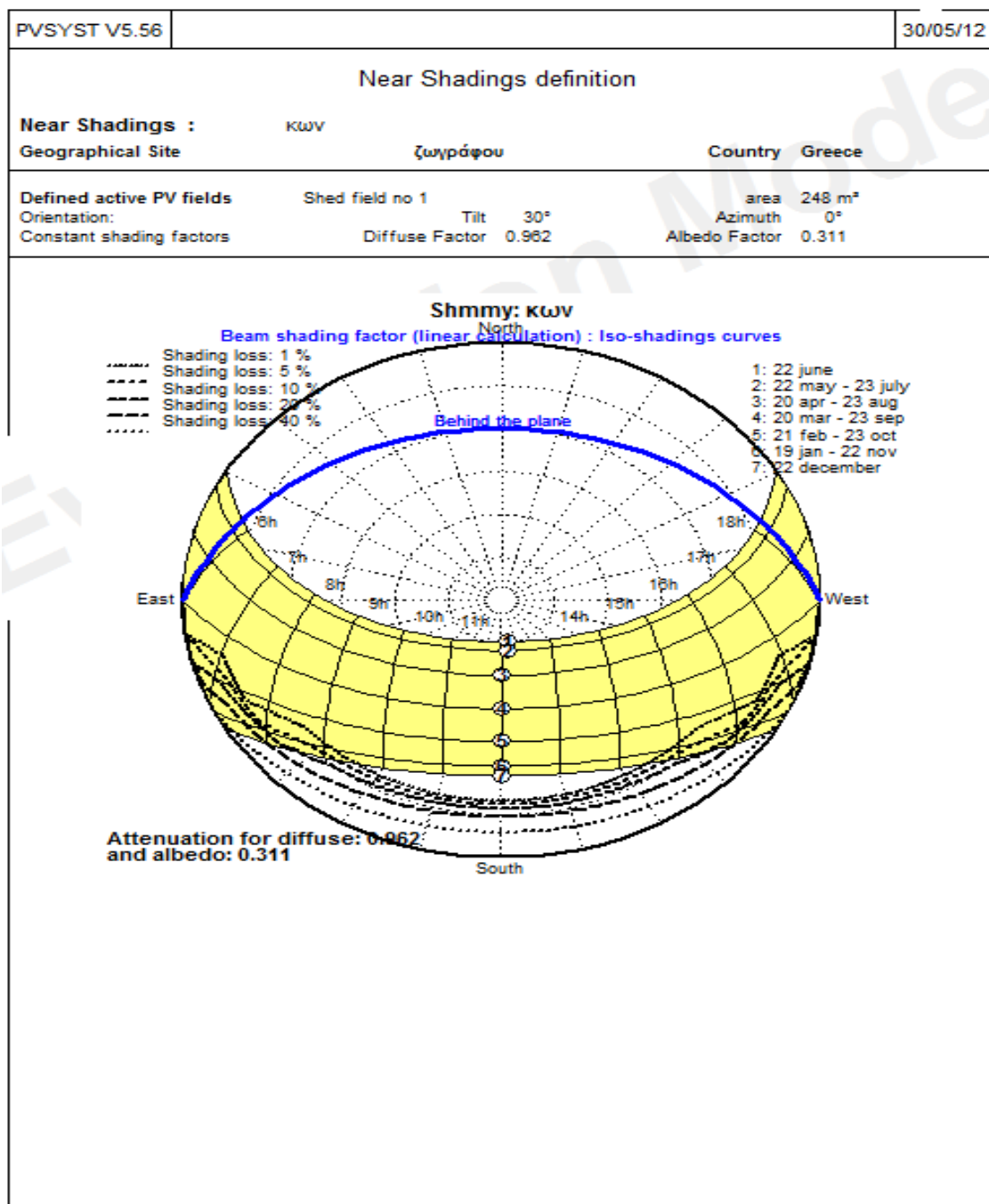
Οι συστοιχίες προστέθηκαν από την επιλογή *pn plane in sheds* και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν τα ζητούμενα στοιχεία. Το μόνο άγνωστο στοιχείο ήταν το μήκος του *pitch*, το οποίο βρέθηκε με κριτήριο τη μείωση των σκιάσεων μεταξύ των πανέλων. Σκοπός ήταν να βρεθεί το μέγιστο δυνατό μήκος το οποίο θα επέτρεπε απώλειες σκιάσεων λόγω των κελιών περίπου της τάξεως του 1%. Με δοκιμές βρήκαμε ότι η κατάλληλη τιμή είναι 4,4 μέτρα. Σχηματικά, οι απώλειες στις 21/12 (αντιπροσωπευτικής ημέρας της χειμερινής ισημερίας) είναι 1%, ενώ οι απώλειες στις 21/6 (αντιπροσωπευτική ημέρα της καλοκαιρινής ισημερίας) είναι αμελητέες δεδομένου ότι ο ήλιος είναι πιο ψηλά.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχουν άλλες σκιάσεις από γειτονικά κτίρια, δέντρα ή αλλου είδους αντικείμενα.

Συνολικά, οι απώλειες λόγω σκίασης ενός έτους καταναμημένες ανά χρονική περίοδο παρουσιάζονται παρακάτω. Στην πρώτη εικόνα χρησιμοποιούνται καρτεσιανές συντεταγμένες ενώ στη δεύτερη πολικές.

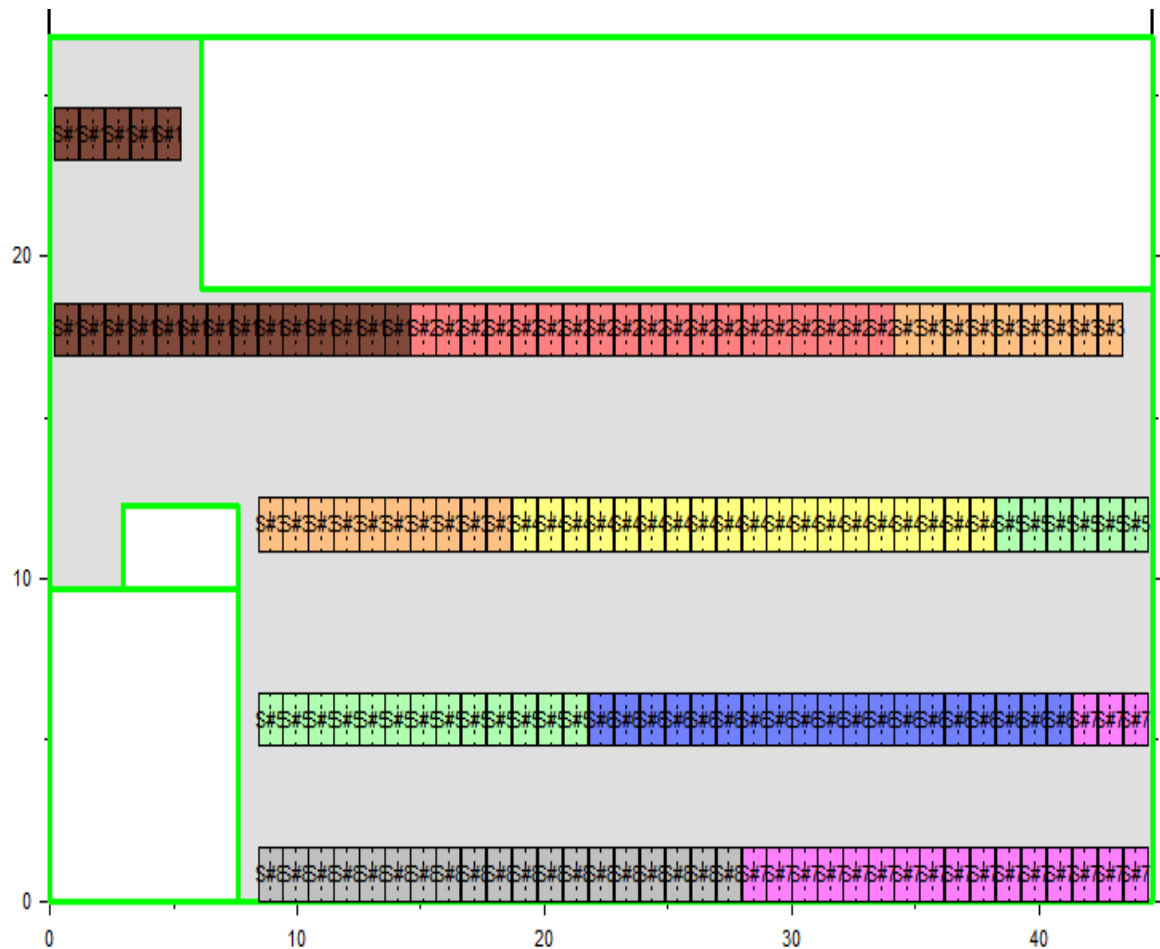


Εικόνα 7.25: Σκίαση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε καρτεσιανές συντεταγμένες



Εικόνα 7.26: Σκίαση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε πολικές συντεταγμένες

Αφού έγινε η μελέτη για αποφυγή της σκίασης και μελετήθηκαν οι κανόνες χωροθέτησης, μπορεί να γίνει η τελική χωροθέτηση των πανέλων στην διαθέσιμη επιφάνεια του κτιρίου για κάθετη διάταξη. Στην εικόνα 7.27 παρουσιάζεται η χωροθέτηση των πλαισίων για κάθετη διάταξη. Οι χρωματισμοί των πανέλων αφορούν στη δημιουργία των στοιχειοσειρών και θα εξηγηθούν στην επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 7.27: Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων στο κτίριο σε κάθετη διάταξη

7.8 Μελέτη μηχανικής αντοχής

Πέρα από την κατάλληλη χωροθέτηση των πλαισίων στην διαθέσιμη επιφάνεια της ταράτσας, είναι πολύ σημαντική μια ανάλυση σχετικά με την ανεμοπίεση που θα δέχονται τα πλαίσια. Η εν λόγω ανάλυση είναι πολύ σημαντική για την ασφάλεια της εγκατάστασης αλλά και για την αποφυγή πιθανού ανθρώπινου τραυματισμού από πτώση κάποιου πλαισίου από τον άνεμο. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί πως η μελέτη για την ανεμοπίεση στα πανέλα δεν έχει να κάνει με την διάταξη τοποθέτησής τους, είτε δηλαδή είναι landscape είτε portrait. Πρακτικά, η δύναμη που θα ασκείται από τον άνεμο θα είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις, αφού η επιφάνεια κόντρα στον άνεμο θα είναι ίδια και υπό την ίδια γωνία κλίσης. Η ανάλυση της ανεμοπίεσης εξαρτάται από τις τεχνικές προδιαγραφές και τα χαρακτηριστικά των βάσεων στήριξης, καθώς και από την ανάλυση του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

Τα κριτήρια για την επιλογή των βάσεων στήριξης είναι τα εξής:

- Η ευκολία στην εγκατάσταση.
- Ο περιορισμός του χώρου (περισσότερα πάνελ ανά βάση).
- Το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος εγκατάστασης όπως έχει αναφερθεί και στην νομοθεσία.
- Η ποιότητα του εδάφους που θα γίνει η εγκατάσταση και ο τρόπος πάκτωσης της βάσης.

Στο παράρτημα παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά των βάσεων στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν. Επιλέχθηκε σταθερό σύστημα στήριξης, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που έχει σε σχέση με τους ηλιοστάτες (trackers), τα οποία είναι:

- Μεγαλύτερη αντοχή σε ανεμοπίεση.
- Απλότητα στην κατασκευή.
- Μικρότερο κόστος εγκατάστασης.
- Μεγαλύτερη ταχύτητα εγκατάστασης.
- Μικρότερο κόστος συντήρησης.
- Μεγαλύτερη απεξάρτηση του επενδυτή από τον κατασκευαστή σε θέματα αξιοπιστίας.

Το σταθερό σύστημα θα είναι κατασκευασμένο από ειδικό κράμα αλουμινίου εξαιρετικής αντοχής, εξασφαλίζοντας αντιδιαβρωτική προστασία και θα είναι σύμφωνα με τους διεθνείς και ευρωπαϊκούς κανονισμούς διαδικασιών παραγωγής και ποιότητας. Οι προδιαγραφές των βάσεων παρατίθενται στον πίνακα 7.4. Από τις προδιαγραφές των βάσεων στήριξης προκύπτει πως η μέγιστη ταχύτητα ανέμου που μπορούν να δεχτούν είναι 27 m/s. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε ταχύτητα 97,2 km/h. Αυτό που μένει τώρα είναι να ελεγχθούν οι ταχύτητες των ανέμων που πνέουν στην περιοχή της Ζωγράφου, στην οποία θα γίνει η εγκατάσταση. Τα μετεωρολογικά στοιχεία αντλήθηκαν από το πρόγραμμα RETScreen Plus.

Τύπος κατασκευής	MSP-AL
<u>Μέγιστη ταχύτητα ανέμου</u>	27 m/s
Υπερύψωση κατασκευής από έδαφος	30-50 cm
Γωνία κλίσης	30
Τύπος θεμελίωσης	Κοχλίωση

Πίνακας 7.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά βάσεων στήριξης

Στην εικόνα 7.28, στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής, φαίνονται οι μέσες μηνιαίες ταχύτητες των ανέμων για τη περιοχή της Βόρειας Αθήνας, καθώς και η μέση μηνιαία τιμή. Η μέση ετήσια τιμή είναι 2,1 m/s και μέγιστη μηνιαία τιμή της είναι 2,7 m/s.

Από τα συγκεκριμένα δεδομένα προκύπτει πως οι ταχύτητες των ανέμων σε καμία περίπτωση δεν ξεπερνούν τα μέγιστα όρια των τεχνικών προδιαγραφών των βάσεων στήριξης. Έτσι, διασφαλίζεται η ασφάλεια της εγκατάστασης και η αντοχή των πλαισίων στην ανεμοπίεση που πρόκειται να δεχθούν.

Country - region: Greece
Province / State:
Climate data location: Athinai (Athens) Observatory

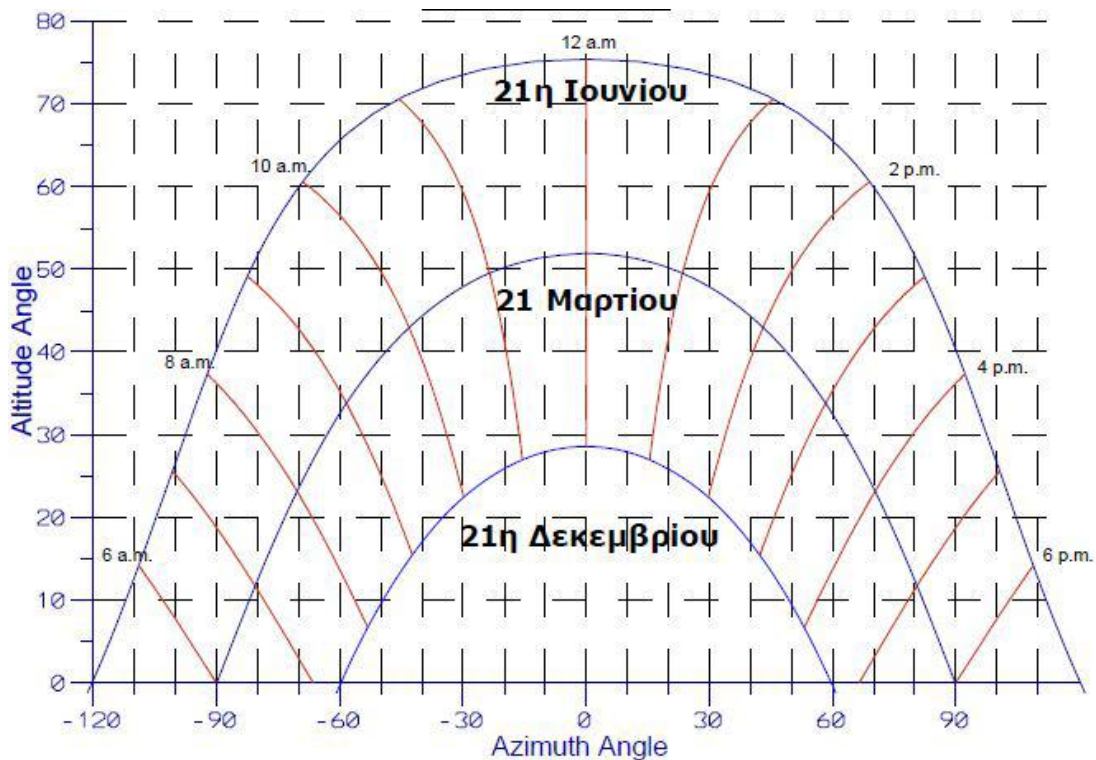
Latitude: °N 38,0
Longitude: °E 23,7 Source
Elevation: m 107 Ground
Heating design temperature: °C 3,1 Ground
Cooling design temperature: °C 33,0 Ground
Earth temperature amplitude: °C 15,2 NASA

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days 18 °C	Cooling degree-days 10 °C
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	9,3	72,0%	1,90	99,2	1,9	10,9	270	0
February	9,8	71,0%	2,62	99,0	2,2	11,4	230	0
March	11,7	68,0%	3,77	99,0	2,7	13,8	195	53
April	15,5	62,0%	5,11	98,8	1,8	17,6	75	165
May	20,2	58,0%	6,26	98,8	1,8	22,6	0	316
June	24,6	52,0%	6,98	98,8	1,8	27,3	0	438
July	27,0	48,0%	6,97	98,7	2,2	29,5	0	527
August	26,6	49,0%	6,27	98,7	2,2	29,2	0	515
September	23,3	56,0%	5,02	99,0	1,9	26,1	0	399
October	18,3	66,0%	3,46	99,3	1,8	21,3	0	257
November	14,4	73,0%	2,29	99,3	2,3	16,0	108	132
December	11,1	73,0%	1,74	99,2	2,1	12,2	214	34
Annual	17,7	62,3%	4,37	99,0	2,1	19,9	1.092	2.836
Source	Ground	Ground	Ground	Ground	Ground	NASA	Ground	Ground
Measured at	m		10	0				

Εικόνα 7.28: Κλιματολογικά δεδομένα για την περιοχή της Βόρειας Αθήνας

7.9 Διαστασιολόγηση Διασυνδεδεμένου συστήματος

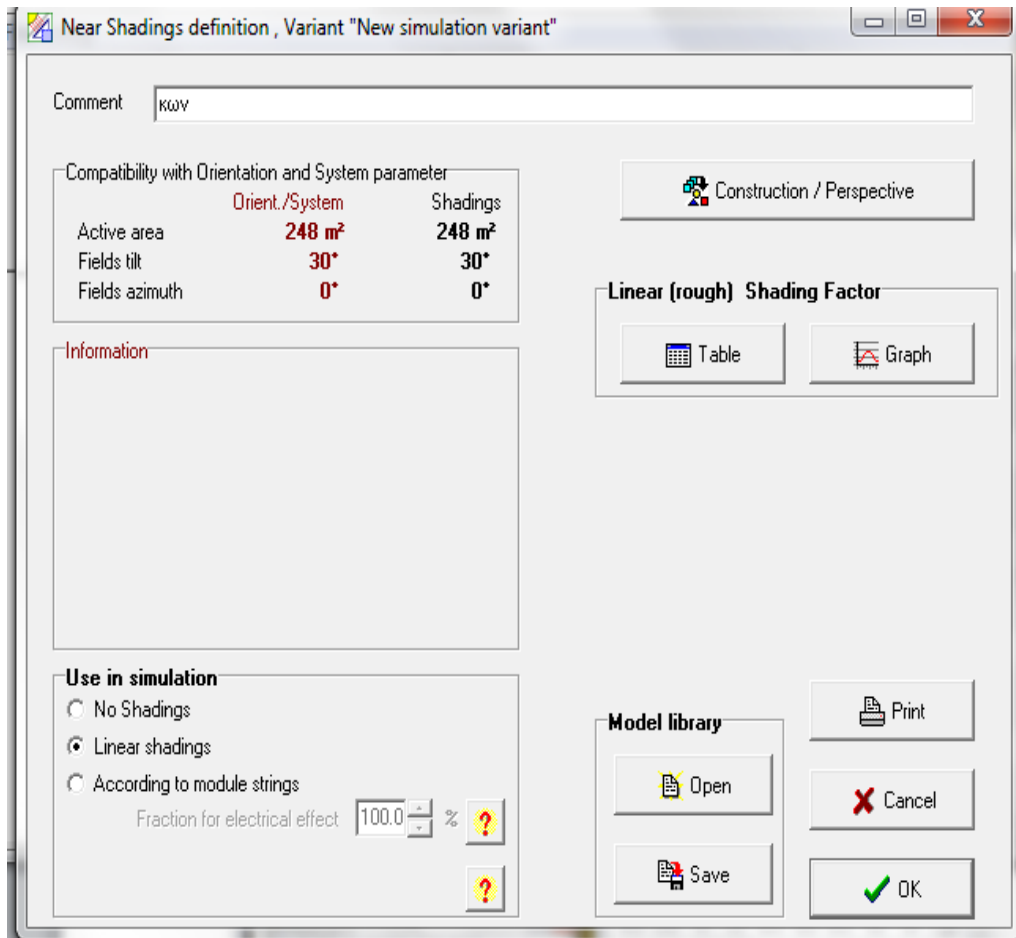
Η επιλογή των αντιστροφών είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας Φ/Β εγκατάστασης. Για την συγκεκριμένη εγκατάσταση, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν αντιστροφείς της γερμανικής εταιρίας Delta Energy και μάλιστα της σειράς Solivia 11EU G4 TR. Η εταιρία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στο χώρο των αντιστροφών για Φ/Β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία όσον αφορά την αξιοπιστία και την απόδοση. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των προϊόντων της διατίθενται στο παράρτημα. Για την εγκατάστασή μας χρησιμοποιήθηκαν 3 τέτοιοι τριφασικοί αντιστροφείς. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η μελέτη του συστήματος θα γίνει με τη βοήθεια του λογισμικού PVsyst, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα από εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο και έχει ήδη παρουσιαστεί στην αρχή της εργασίας. Στην εικόνα 7.20 φαίνονται τα στοιχεία και οι κατηγορίες που απαιτούν συμπλήρωση ώστε να δουλέψει το πρόγραμμα. Στο “Project” γίνεται ο καθορισμός των βασικών στοιχείων, όπως όνομα και στοιχεία του έργου και κυρίως ο καθορισμός της μετεωρολογικής βάσης δεδομένων, η οποία είναι τεράστιας σπουδαιότητας για την εξαγωγή ακριβών αποτελεσμάτων. Στο “Orientation” καθορίζεται ο τύπος των βάσεων στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και παράμετροι που αφορούν την κλίση και τον προσανατολισμό των πανέλων. Στο “Horizon” φαίνεται η γραμμή του ορίζοντα και ένα διάγραμμα της τροχιάς του ήλιου για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.29. Ο οριζόντιος άξονας του διαγράμματος αντιστοιχεί στην αζιμούθια γωνία του ήλιου, ήτοι την γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου (γωνιακή απόσταση του ήλιου από τη διεύθυνση του Νότου), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στη γωνία του ύψους του ήλιου, δηλαδή ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, στο συγκεκριμένο κτίριο θεωρείται πως δεν υπάρχουν σκιάσεις από πιθανά εμπόδια καθ’ όλο το έτος και ο ορίζοντας προς το νότο είναι ελεύθερος (ανοιχτός ορίζοντας).



Εικόνα 7.29: Διάγραμμα τροχιάς ηλίου

Στο “Near Shadings”, χρήση του οποίου έγινε παραπάνω, πέρα από τον υπολογισμό της ελεύθερης απόστασης, υπάρχει δυνατότητα διερεύνησης της επίδρασης των σκιάσεων από γειτονικά κτίρια ή όγκους. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου σχεδιαστικού εργαλείου που έχει το πρόγραμμα. Έτσι, μπορούν να γίνουν διάφορες δοκιμές προσομοίωσης και να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή λύση. Στο κτίριο που μελετάται υπάρχουν μηδενικές σκιάσεις (No shadings) από γειτονικά κτίρια, αφού βρίσκονται όλα σε χαμηλότερο ύψος.

Συνεχίζοντας την μοντελοποίηση του Φ/Β συστήματος, στην επιλογή “System”, πρέπει να οριστούν στο πρόγραμμα τα πάνελα και οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν μέσα από μια πολύ μεγάλη βάση δεδομένων. Επιλέγοντας την επιθυμητή εγκατεστημένη ισχύ και το μοντέλο του πλαισίου και του αντιστροφέα, το πρόγραμμα υπολογίζει τον αριθμό και την ακριβή συνδεσμολογία των υλικών. Προκειμένου να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός μεταξύ πλαισίων και αντιστροφέων, τα πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν σε όλη την εγκατάσταση θα είναι ίδια.



Εικόνα 7.30: Επιλογή προσομοίωσης υπό μηδενικές σκιάσεις στο Pvsyst

Όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενες παραγράφους, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς της συγκεκριμένης εγκατάστασης είναι **35 KWp** και τα πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα YL230P-29b της εταιρίας Yingli Solar. Όσον αφορά τους αντιστροφείς, θα επιλεγεί ο τριφασικός Solivia 11EU G4 TR της Delta Energy. Ο προσδιορισμός των στοιχείων του συστήματος μέσα από το πρόγραμμα του Pvsyst φαίνεται στην εικόνα 7.31.

Grid system definition, Variant "New simulation variant"

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-fields

Simplified Schema

Global system summary

Nb. of modules	152	Nominal PV Power	35.0 kWp
Module area	248 m ²	Maximum PV Power	33.3 kWdc
Nb. of inverters	3	Nominal AC Power	33.0 kWac

Homogeneous System

Presizing Help

No Sizing Enter planned power 35.4 kWp, ... or available area 252 m²

Select the PV module

Sort modules: Power Technology Manufacturer Prod. from 2011

230 Wp 25V	Si-poly	YL 230 P-29b	Yingli Solar	Manufacturer	
------------	---------	--------------	--------------	--------------	--

Approx. needed modules: **154** Sizing voltages: V_{mpp} (60°C) **25.5 V**
V_{oc} (-10°C) **41.2 V**

Select the inverter

Sort inverters by: Power Voltage (max) Manufacturer Prod. from 2011

50 Hz 60 Hz

11 kW	425 - 800 V	50 Hz	Solar Inverter SOLVIA 11 EU G4 TR	Delta Energy	
-------	-------------	-------	-----------------------------------	--------------	--

Nb. of inverters: Operating Voltage: **425-800 V** Global Inverter's power: **33.0 kWac**
Input maximum voltage: **900 V** **Master/Slave invert** **Slave**

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: should be between 17 and 21

Nbre strings: only possibility 8

Overload loss: **0.0 %**

P_{nom} ratio: **1.06**

Nb. modules: 152 Area: 248 m²

Operating conditions

V_{mpp} (60°C): 484 V
V_{mpp} (20°C): 578 V
V_{oc} (-10°C): 783 V

Plane irradiance: **1000 W/m²** Max. in data STC

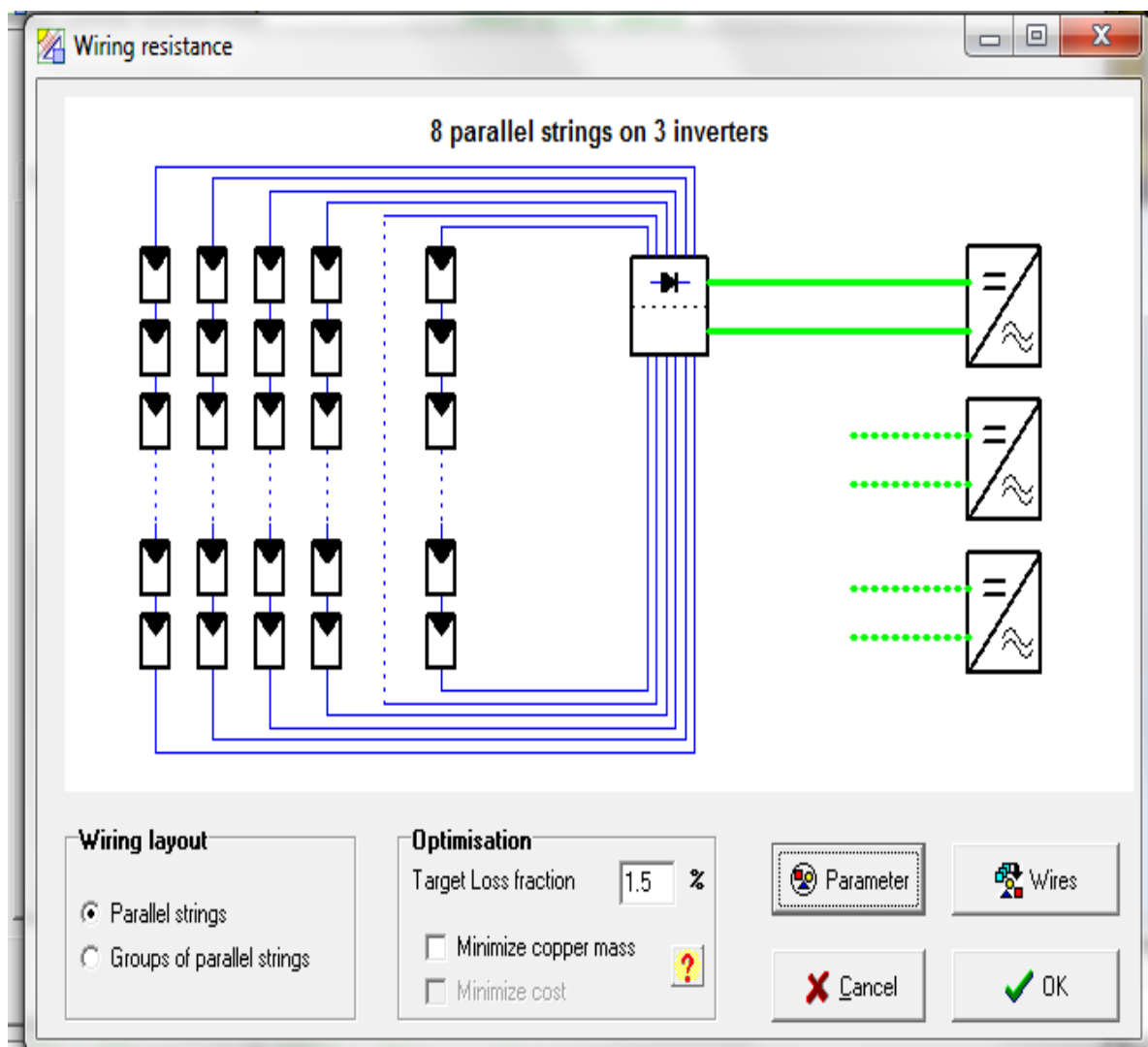
I_{mpp} (STC): 61.9 A Max. operating power: **31.4 kW**
I_{sc} (STC): 68.2 A at 1000 W/m² and 50°C

I_{sc} (at STC): 67.2 A **Array nom. Power (STC): 35.0 kWp**

User's needs
 Detailed losses
 Cancel
 OK

Εικόνα 7.31: Καθορισμός των στοιχείων του συστήματος στο Pvsyst

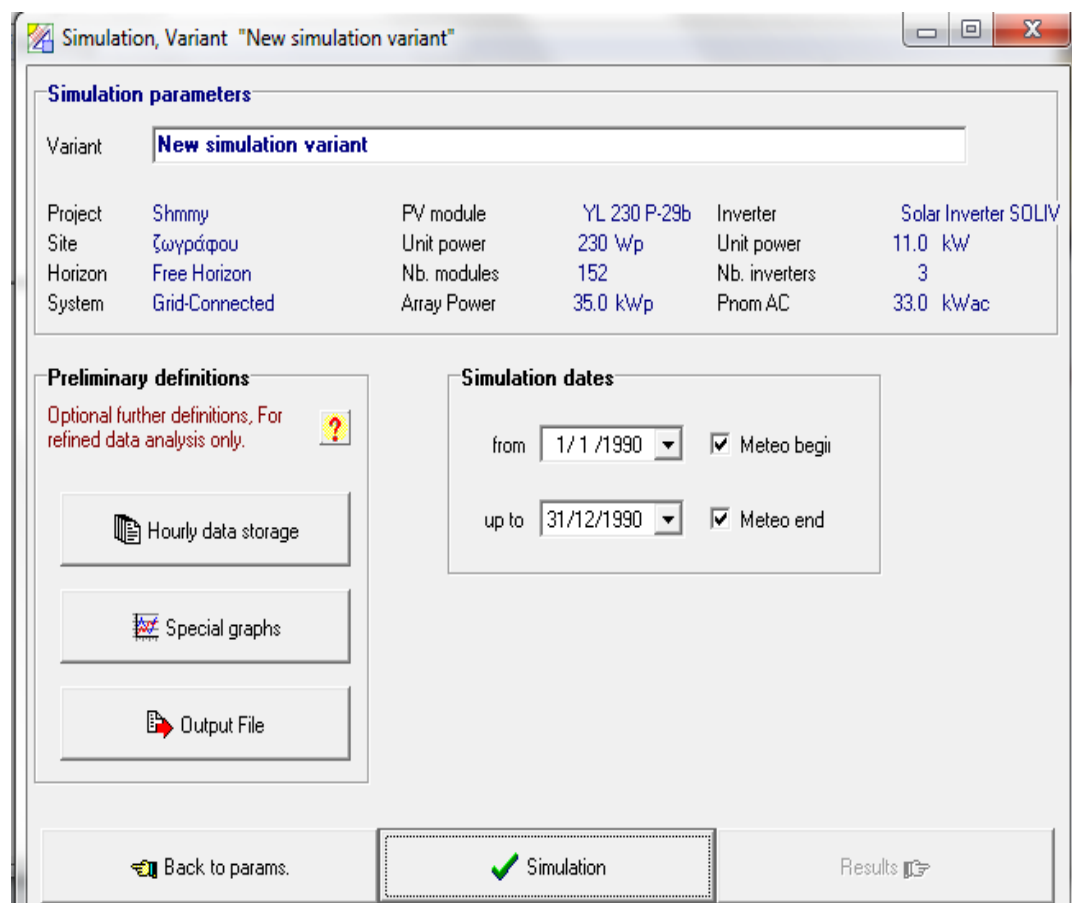
Το πρόγραμμα δεν εμφανίζει καμία προειδοποίηση και καμία υπόδειξη βελτίωσης της συγκεκριμένης διαστασιολόγησης, άρα είναι αποδεκτή. Στο κομμάτι σχεδιασμού της Φ/Β συστοιχίας προτείνεται ο διαχωρισμός του συστήματος σε **8 στοιχειοσειρές, οι οποίες θα περιλαμβάνουν 19 πλαίσια σε σειρά η κάθε μία**. Για τη συνολική εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθούν **3 αντιστροφείς**. Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης φαίνεται χωροταξικά στην εικόνα 7.32, στην οποία με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται τα πλαίσια που ανήκουν στο ίδιο string και φαίνεται η σύνδεση των Φ/Β πλαισίων με τους αντιστροφείς.



Εικόνα 7.32: Σύνδεση Φ/Β πλαισίων με τους αντιστροφείς.

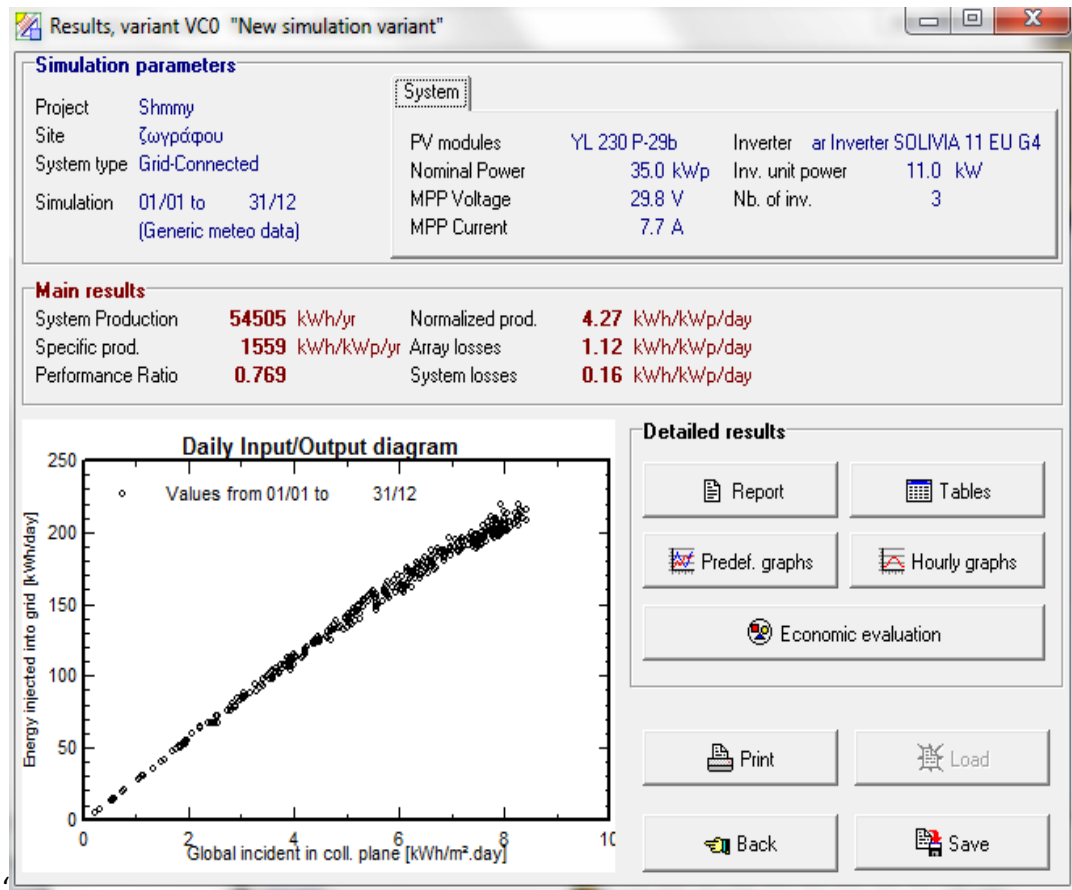
Μετά από όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις που έγιναν στο PVsyst και τον καθορισμό όλων των παραμέτρων, το πρόγραμμα μπορεί να τρέξει και να εξάγει τα αποτελέσματά του. Το πρόγραμμα παρέχει αρκετές δυνατές μορφές των αρχείων εξόδου, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.32. Επίσης, απεικονίζονται οι βασικοί παράμετροι του συστήματος που έχει δημιουργηθεί, όπως είναι οι αριθμοί των πλαισίων και των αντιστροφέων, τα είδη αυτών καθώς και το είδος του συστήματος.

Κάνοντας προσομοίωση με τα συγκεκριμένα δεδομένα, η εφαρμογή υλοποιείται επιτυχώς και βγαίνουν σημαντικά συμπεράσματα, όπως οι συνολικές παραγόμενες κιλοβατώρες, ο συντελεστής απόδοσης της εγκατάστασης και απώλειες του συστήματος και της συστοιχίας. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση της σκίασης στην εγκατάσταση, τόσο μεγαλύτερη πτώση θα έχει ο συντελεστής απόδοσης.



Εικόνα 7.33: Παράμετροι προσομοίωσης και καθορισμός μορφών των αρχείων του PVsyst.

Στην εικόνα 7.34 φαίνονται τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι, για την συγκεκριμένη εγκατάσταση, **οι παραγόμενες κιλοβατώρες είναι 54.505 το χρόνο και ο συντελεστής απόδοσης είναι 0,769 ή 76,9% (Performance Ratio: 0,769)**. Επίσης, φαίνεται ότι μπορεί να γίνει εξαγωγή πλήθους διαγραμμάτων και πινάκων, ικανά να διαλευκάνουν τις συνθήκες και τα αποτελέσματα της εφαρμογής που έχει δημιουργηθεί.



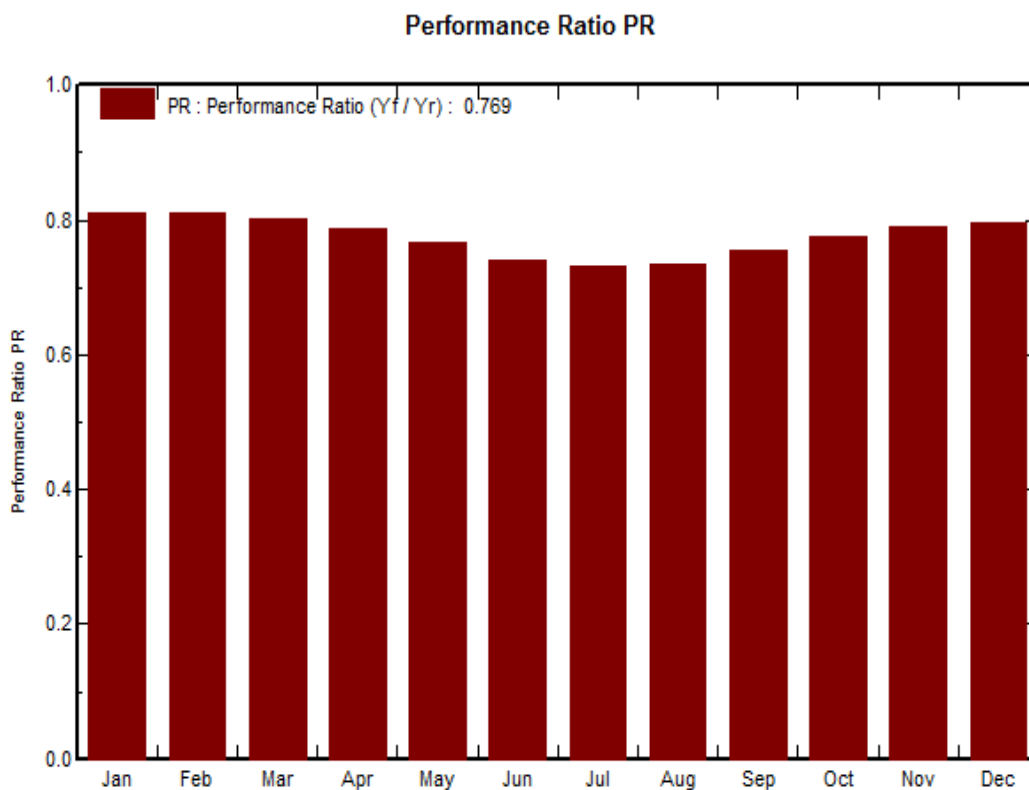
Εικόνα 7.34: Απεικόνιση αποτελεσμάτων από το Pvsyst

Στη συνέχεια ακολουθούν τα αναλυτικά αποτελέσματα από το πρόγραμμα Pvsyst. Στα αναλυτικά αποτελέσματα επισυνάπτονται τα εξής:

- **Simulation parameters:** Οι παράμετροι προσομοίωσης όπως είναι τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά, οι κλίσεις των πλαισίων, τα πλαίσια, οι αντιστροφείς κ.λπ. Στην εικόνα 7.36 φαίνεται πως η κλίση των πλαισίων είναι στις 30 μοίρες και το αζιμούθιο στις μηδέν μοίρες, όπως είχαν ορισθεί και σε προηγούμενες παραγράφους. Φαίνεται, επίσης, πως η συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι 35KWp, τα οποία προκύπτουν από την τοποθέτηση 152 πλαισίων. Τα πλαίσια χωρίζονται σε 8 παράλληλα string των 19 πλαισίων το καθένα και η συνολική επιφάνεια των πλαισίων που χρησιμοποιούνται είναι 248m². Τέλος, χρησιμοποιούνται τρεις αντιστροφείς με συνολική ισχύ 33KW σε AC.
- **Main results:** ουσιαστικά πρόκειται για τιμές του συντελεστή απόδοσης και της ισχύος εξόδου σε μηνιαία βάση και για διάστημα ενός έτους. Ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος αγγίζει το 76,9% και θεωρείται πολύ ικανοποιητικός για τέτοιες εγκαταστάσεις που έχουν απώλειες. Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια του συστήματος είναι 54,5 MWh τον χρόνο και η ειδική παραγωγή ενέργειας ανά KWp εγκατεστημένης ισχύος ανέρχεται στις 1.559 kWh το χρόνο. Όπως δείχνουν, επίσης, τα διαγράμματα της εικόνας 7.37, η

παραγωγή ενέργειας από το σύστημα είναι μεγαλύτερη τους θερινούς μήνες, γεγονός το οποίο είναι λογικό λόγω μεγαλύτερης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

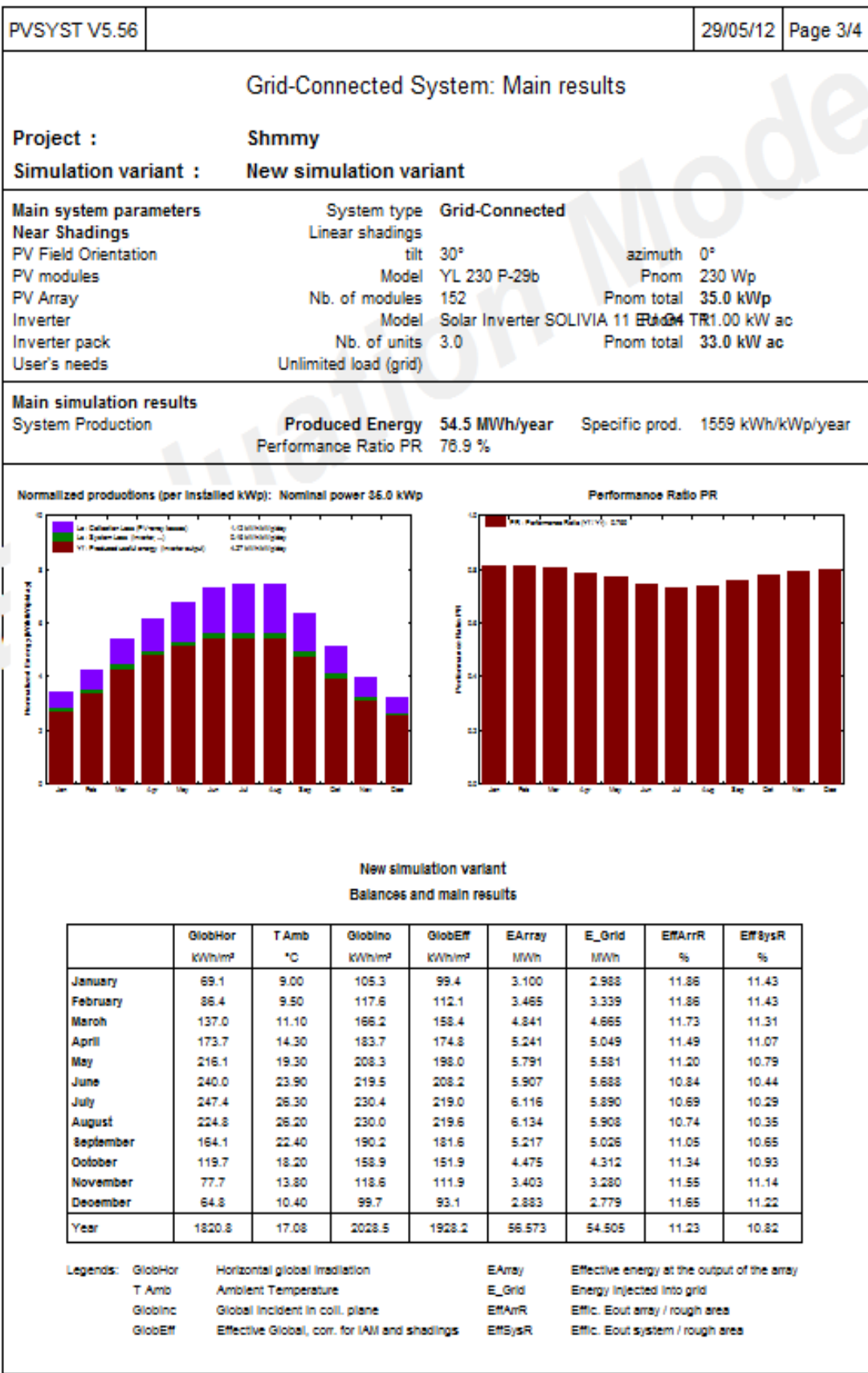
- **Near Shadings:** Εμφανίζονται τα στιγμιότυπα της ενότητας 7.7 με τις σκιάσεις, όπως αναλύσαμε προηγουμένα.
- **Loss Diagram:** Πρόκειται για διάγραμμα που ξεκαθαρίζει το πόσες είναι οι απώλειες και το πώς κατανέμονται με ευδιάκριτο τρόπο. Η απεικόνιση των απωλειών γίνεται με την βοήθεια ενός διαγράμματος sankey στην εικόνα 7.38. Αρχικά φαίνεται πόση είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και πόση τελικά δέχονται τα πλαίσια που είναι υπό κάποια κλίση. Λόγω τοποθέτησης των πανέλων σε βέλτιστη κλίση το ποσό αυτό είναι αισθητά μεγαλύτερο. Στη συνέχεια υπολογίζεται πόση θα ήταν η παραγόμενη ενέργεια του συστήματος σε μια ιδανική περίπτωση όπου δεν θα υπήρχαν απώλειες. Από το ποσό αυτό αφαιρείται σε κάθε στάδιο του διαγράμματος το ποσό που αντιστοιχεί στις εκάστοτε απώλειες, μέχρι που καταλήγει στην τελική συνολική παραγόμενη ενέργεια. Οι σημαντικότερες απώλειες του συστήματος έχουν να κάνουν με απώλειες λόγω θερμοκρασίας, λόγω ανακλάσεων, λόγω ποιότητας του πλαισίου, λόγω αστοχίας πλαισίου. Επίσης, σημαντικό ποσό απωλειών χάνεται στις καλωδιώσεις του συστήματος και στον αντιστροφέα.



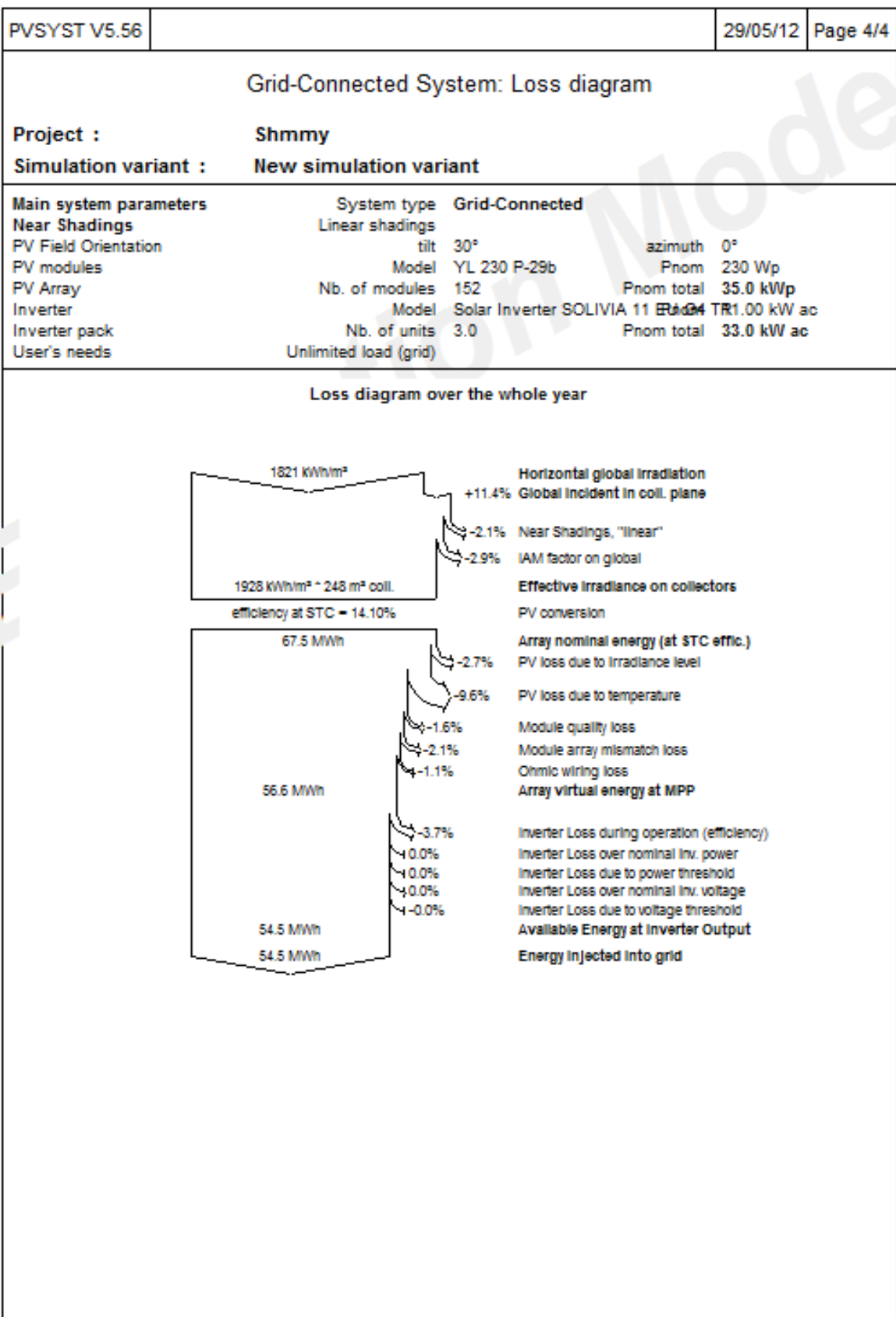
Εικόνα 7.35: Μηνιαίος συντελεστής απόδοσης

PVSYST V5.56		29/05/12	Page 1/4	
Grid-Connected System: Simulation parameters				
Project :	Shmmy			
Geographical Site	ζωγράφου	Country	Greece	
Situation	Latitude	38.0°N	Longitude	23.8°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+1	Altitude	184 m
	Albedo	0.20		
Meteo data :	ζωγράφου, Synthetic Hourly data			
Simulation variant :	New simulation variant			
	Simulation date	29/05/12 19h51		
Simulation parameters				
Collector Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
Horizon	Free Horizon			
Near Shadings	Linear shadings			
PV Array Characteristics				
PV module	Si-poly	Model	YL 230 P-29b	
		Manufacturer	Yingli Solar	
Number of PV modules	In series	19 modules	In parallel	8 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	152	Unit Nom. Power	230 Wp
Array global power	Nominal (STC)	35.0 kWp	At operating cond.	31.4 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	508 V	I mpp	62 A
Total area	Module area	248 m ²	Cell area	222 m ²
Inverter		Model	Solar Inverter SOLIVIA 11 EU G4 TR	
		Manufacturer	Delta Energy	
Characteristics	Operating Voltage	425-800 V	Unit Nom. Power	11.0 kW AC
Inverter pack	Number of Inverter	3 units	Total Power	33.0 kW AC
PV Array loss factors				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (wind)	0.0 W/m ² K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m ² , Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT	56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	137 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
User's needs :	Unlimited load (grid)			

Εικόνα 7.36: Απεικόνιση σημαντικότερων παραμέτρων του συστήματος



Εικόνα 7.37: Απεικόνιση των κυριότερων αποτελεσμάτων του συστήματος



Εικόνα 7.38: Παρουσίαση των σημαντικότερων απωλειών του συστήματος

7.10. Ανάλυση κόστους διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

Το συνολικό κόστος της συγκεκριμένης Φ/Β εγκατάστασης περιλαμβάνει τα κόστη εξοπλισμού, τα κόστη εγκατάστασης, τα κόστη έκδοσης αδειών, το κόστος παρακολούθησης, το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης. Αναλυτικότερα, το κόστος εξοπλισμού αφορά τη δαπάνη για αγορά του εξοπλισμού, συμπεριλαμβανομένων των φόρων και των τελών μεταφοράς. Το συνολικό κόστος εξοπλισμού μπορεί να διαχωριστεί στα εξής κόστη για:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Αντιστροφείς (inverters)
- Βάσεις στήριξης
- Υλικά πάκτωσης, όπως χημικά βύσματα και ρητίνες ταχείας πήξεως (χρησιμοποιούνται για την έδραση και πάκτωση ακριβείας βάσεων κάθε είδους μηχανημάτων, ράβδων και πλαισίων επάνω σε δομικά στοιχεία.
- Καλωδιώσεις
- Πίνακας με αντικεραυνική προστασία

Για τα συγκεκριμένα **πλαίσια** των 230 Watt της Yingli Solar η τιμή αγοράς είναι 1,03 €/watt, η οποία περιλαμβάνει, πέρα από την αγορά των πλαισίων, την μεταφορά στο επιθυμητό μέρος και την ασφάλισή τους κατά την μεταφορά αυτή. Έτσι, για τα 152 πλαίσια, συνολικής ισχύος $152 \cdot 230 = 34960$ Watt απαιτούνται:

$$1,03 \frac{\text{€}}{\text{Watt}} * 34960 \text{ Watt} = 36008,80\text{€}$$

Στην τιμή αυτή δεν συμπεριλαμβάνεται ο φόρος προστιθέμενης αξίας (ΦΠΑ), ο οποίος με τα σημερινά δεδομένα είναι 23%. Τελικά, το κόστος για τα Φ/Β πλαίσια είναι:

$$36008,8 * 1,23 = 44290,82\text{€}$$

Αντίστοιχα, για τους 3 τριφασικούς **αντιστροφείς** Solivia 11EU G4 TR της Delta Energy, η τιμή αγοράς, συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ, είναι 0,30€/Watt ή 300,00€/KW, οπότε το κόστος των 3 αντιστροφέων είναι:

$$3 \text{αντιστροφείς} * \frac{11000\text{watt}}{\text{inverter}} * \frac{0,3\text{€}}{\text{watt}} = 9900,00\text{€}$$

Όσον αφορά τις **βάσεις στήριξης**, οι οποίες είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του σταθμού, η τιμή τους, συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ είναι 0,28€/Watt. Οπότε, για την συγκεκριμένη εγκατάσταση:

$$\frac{0,28\text{€}}{\text{Watt}} * 34960 \text{ Watt} = 11048,8\text{€}$$

Όσον αφορά τον **πίνακα και τις καλωδιώσεις** που θα χρειαστούν για την εγκατάσταση, το κόστος ανέρχεται στα 2.000,00 € συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνονται και στηρίγματα καλωδίων και βύσματα. Απαιτείται ο

πίνακας να παρέχει αντικεραυνική προστασία τόσο στο AC όσο και στο DC. Το κόστος των **υλικών πάκτωσης** υπολογίζεται στα 2,00 €/τρύπα και για ολόκληρη την εγκατάσταση εκτιμάται ότι θα χρειαστούν περί τις 424 τρύπες δηλαδή γύρω στα 848,00€. Τέλος, στο κόστος εξοπλισμού περιλαμβάνεται και η προμήθεια και τοποθέτηση νέου ρολογιού με **διπλό μετρητή**, ώστε να γίνει σύνδεση με την ΔΕΗ. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα 930,00 € μαζί με ΦΠΑ.

Το κόστος έκδοσης αδειών περιλαμβάνει ένα παράβολο των 300,00 € για την αίτηση σύνδεσης με την ΔΕΗ και έξοδα 300,00 € που θα δαπανηθούν για την έκδοση και συλλογή των απαραίτητων δικαιολογητικών και εγγράφων. Το συνολικό κόστος του εξοπλισμού και το κόστος έκδοσης αδειών είναι πιστώσεις που αφορούν το αρχικό κόστος της επένδυσης. Επίσης, στο αρχικό κόστος της επένδυσης περιλαμβάνεται και το **κόστος εγκατάστασης** του σταθμού. Εκτιμάται ότι ένα εξειδικευμένο συνεργείο τοποθέτησης θα χρειαστεί περί τις 8 εργάσιμες μέρες αν δουλεύουν 5 άτομα. Ο ημερήσιος μισθός κάθε υπαλλήλου, μαζί με την ασφάλειά του υπολογίζεται στα 95,00€. Αν συνυπολογιστούν κόστη μεταφοράς του συνεργείου και πιθανές καθυστερήσεις λόγω απρόβλεπτων καιρικών φαινομένων, το κόστος εγκατάστασης ανέρχεται περίπου στα 5000,00€ μαζί με το ΦΠΑ.

Σε αντίθεση με το αρχικό κόστος, υπάρχουν και πιστώσεις που αφορούν ετήσια κόστη. Στα ετήσια κόστη περιλαμβάνονται το **κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης**. Στο κόστος λειτουργίας περιλαμβάνεται και η ασφάλιση του εξοπλισμού, η οποία είναι απαραίτητη προϋπόθεση σε περίπτωση χορήγησης τραπεζικού δανείου, αλλά προστατεύει και την εγκατάσταση από ακραία καιρικά φαινόμενα που μπορεί να προκύψουν. Μια τέτοια ασφάλεια καλύπτει οποιαδήποτε απρόοπτη και ξαφνική υλική ζημιά ή απώλεια, που μπορεί να οφείλεται ενδεικτικά σε αιτίες όπως:

- Φωτιά, κεραυνό, έκρηξη, πτώση αεροσκάφους
- Πλημμύρα, καταιγίδα, χιόνι, βροχή, θύελλα, χαλάζι, παγετό
- Σεισμό, καθίζηση, κατολίσθηση
- Ανθρώπινα λάθη, λανθασμένο χειρισμό, αμέλεια, απροσεξία, αδεξιότητα, κακόβουλη ενέργεια τρίτων
- Αστική ευθύνη έναντι τρίτων

Από έρευνα και στοιχεία της αγοράς, το ποσό για την **ασφάλιση** ενός Φ/Β συστήματος 35KW είναι 300,00 € μαζί με το φόρο προστιθέμενης αξίας. Επίσης, στο κόστος λειτουργίας περιλαμβάνεται και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν οι αντιστροφείς, αλλά το κόστος αυτό είναι αμελητέο. Παρά το γεγονός ότι τα περισσότερα πλαίσια συνοδεύονται από εγγυήσεις του κατασκευαστή που καλύπτουν τυπικές φθορές σε συνήθεις καιρικές συνθήκες, η συντήρηση του

συστήματος είναι απαραίτητη. Το σύστημα απαιτεί μια τυπική συντήρηση και έλεγχο, ώστε να επιβεβαιώνεται η καλή λειτουργία μέσα στα πλαίσια και τις προδιαγραφές λειτουργίας που περιγράφονται και από τη σύμβαση με τη ΔΕΗ. Από στοιχεία της αγοράς προκύπτει ότι το **ετήσιο κόστος συντήρησης** ενός συστήματος 35KW είναι περίπου 300 € με το ΦΠΑ. Στα ετήσια κόστη του συστήματος, όπως είναι το κόστος λειτουργίας και το κόστος συντήρησης, θεωρείται ότι μπορεί να προκύψουν και κάποια **απρόβλεπτα κόστη** της τάξης του 3%.

Συνολικά, λοιπόν, **το κόστος της επένδυσης**, που είναι το άθροισμα όλων των επιμέρους αρχικών κοστών, είναι **74.618,00€**. Στο συνολικό κόστος της επένδυσης δεν περιλαμβάνονται τα ετήσια κόστη λειτουργίας και συντήρησης. Όσον αφορά τα έσοδα που θα έχει το πανεπιστήμιο από την υλοποίηση της συγκεκριμένης εγκατάστασης αυτά καθορίζονται από τον υπ' αριθμό νόμο 3851 του 2010 «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής αλλαγής». Η τιμή πώλησης για διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα της περίπτωσης Β, για εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των 100KW, είναι 375,54 €/MWh ή αλλιώς 0,375 €/KWh. Η τιμή αυτή θα ισχύει μέχρι τον Αύγουστο του 2012, όπου και θα διαφοροποιηθεί στα 353,55 €/MWh. Στον πίνακα 7.5 παρουσιάζεται αναλυτικά η τιμολογιακή πολιτική για ενέργεια που παράγεται από Φ/Β σταθμούς.

Έτος Μήνας	Διασυνδεδεμένο		Μη Διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ (ανεξαρτήτως ισχύος)
	>100kW	<=100kW	
2009 Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00
2009 Αύγουστος	400,00	450,00	450,00
2010 Φεβρουάριος	400,00	450,00	450,00
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
2011 Αύγουστος	351,01	394,89	394,89
2012 Φεβρουάριος	333,81	375,54	375,54
2012 Αύγουστος	314,27	353,55	353,55
2013 Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23
2013 Αύγουστος	281,38	316,55	316,55
2014 Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56
2014 Αύγουστος	260,97	293,59	293,59
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	1,3χμΟΤΣ _{ν-1}	1,4χμΟΤΣ _{ν-1}	1,4χμΟΤΣ _{ν-1}

μΟΤΣ_{ν-1}: Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1»

Πίνακας 7.5. Τιμολογιακή πολιτική για Φ/Β σταθμούς

7.10.1 Ανάλυση εσόδων και τρόπου χρηματοδότησης

Στο κεφάλαιο αυτό είχε υπολογιστεί με την βοήθεια του λογισμικού PVsyst η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος σε 54500 KWh κάθε έτος. Με την τιμή πώλησης να είναι σταθερή για 25 χρόνια, σύμφωνα με την σύμβαση που υπογράφεται με την ΔΕΗ, η ετήσια εισροή θα είναι:

$$54500 \frac{\text{KWh}}{\text{έτος}} * \frac{0,375\text{€}}{\text{KWh}} = 20437,50\text{€/έτος}$$

Η παραγόμενη ενέργεια ενός Φ/Β συστήματος, όπως έχει εξηγηθεί και σε άλλες παραγράφους, δεν είναι σταθερή για κάθε έτος. Εξαρτάται άμεσα από την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία που θα έχει κάθε χρόνο. Προφανώς, η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας αστάθμητος παράγοντας, ο οποίος δεν μπορεί να υπολογιστεί ούτε να προβλεφθεί με ακρίβεια για κάθε έτος. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την παραγόμενη ενέργεια

του συστήματος, θα θεωρηθεί σταθερή. Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως η απόδοση του Φ/Β συστήματος δεν μπορεί να είναι σταθερή για πάντα.

Υπάρχουν απώλειες λόγω γήρανσης του εξοπλισμού με το πέρασμα των χρόνων. Υπολογίζεται πως υπάρχει μία ετήσια μείωση της απόδοσης του εξοπλισμού της τάξης του 0,8%. Η μείωση της απόδοσης του εξοπλισμού θα έχει ως αναπόφευκτο αποτέλεσμα και την μείωση, κατά του αντίστοιχου ποσοστού, της παραγόμενης ενέργειας. Έτσι, το πρώτο έτος λειτουργίας του Φ/Β συστήματος, η παραγωγή θα είναι 54500 KWh, ενώ το δεύτερο έτος θα είναι:

$$54500\text{KWh} * (1 - 0,008) = 54064\text{KWh}$$

Κατά το ίδιο ποσοστό θα μειώνεται κάθε χρόνο σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Επίσης, στη σταθερή τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει και ένας κυλιόμενος φόρος, ο οποίος αφορά την ετήσια προσαύξηση της τιμής πώλησης κατά το 25% του πληθωρισμού του προηγούμενου έτους, όπως αυτός καθορίζεται από την Τράπεζα της Ελλάδος (άρθρο 5, παράγραφος 7, νόμος 3851/2010). Για να μπορούν να εξαχθούν τα αποτελέσματα των οικονομικών δεικτών, θα θεωρηθεί σταθερός ετήσιος πληθωρισμός 5%, στα επίπεδα του 2010. Έτσι, ο συντελεστής προσαύξησης της τιμής πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι $0,25 * 0,05 = 0,0125$ ή 1,25%. Η διάρκεια ζωής του έργου, η οποία είναι και η διάρκεια μελέτης αυτού, ορίζεται στα 25 χρόνια. Τόσα χρόνια είναι και η διάρκεια της σύμβασης με την ΔΕΗ για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά τον τρόπο χρηματοδότησης της επένδυσης, θεωρείται ότι ολόκληρο το πόσο της επένδυσης, το δανείζει στο πανεπιστήμιο η Επιτροπή Ερευνών **με μηδενικό επιτόκιο**. Η αποπληρωμή του συγκεκριμένου άτοκου δανείου, θα γίνεται από τα ετήσια έσοδα που θα προκύπτουν από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας. Στον πίνακα 7.6 φαίνονται τα έσοδα που θα έχει το πανεπιστήμιο για κάθε έτος. Από τον πίνακα 7.6 μπορεί να υπολογιστεί η μέση τιμή της ετήσιας παραγωγής ενέργειας, η οποία προκύπτει αν αθροιστεί η παραγόμενη ενέργεια για κάθε έτος και διαιρεθεί με το σύνολο των ετών. Η μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι 49575,24 KWh.

Παρατηρείται ότι τα ετήσια έσοδα από τις πωλήσεις της ενέργειας αυξάνονται κάθε χρόνο παρά την ετήσια μείωση της απόδοσης του συστήματος. Αυτό συμβαίνει επειδή ο συντελεστής προσαύξησης της τιμής πώλησης είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερος από την συντελεστή μείωσης της απόδοσης του συστήματος.

Θεωρείται πως το συνολικό κόστος της επένδυσης θα καλυφθεί από δάνειο με μηδενικό επιτόκιο που θα πάρει το πανεπιστήμιο από την Επιτροπή Ερευνών. Η αποπληρωμή του συγκεκριμένου δανείου μαζί με τα ετήσια κόστη λειτουργίας της εγκατάστασης θα αποτελούν τα συνολικά έξοδα. Θεωρείται πως η διάρκεια του άτοκου δανείου θα είναι 10 χρόνια, οπότε η ράντα αποπληρωμής θα περιλαμβάνει για 10 χρόνια το ποσό των 7461,8 €. Το ποσό αυτό προκύπτει αν διαιρέσουμε το συνολικό κόστος της επένδυσης με τα 10 χρόνια.

Έτος	Τιμή πώλησης €/MWh με προσαύξηση 1.25%	Παραγόμενη ενέργεια MWh/έτος με μείωση 0,8%	Ετήσια Έσοδα (MWh *Τιμή Πώλησης)
0			
1	375,54	54,50	20466,93
2	380,23	54,06	20556,98
3	385,00	53,63	20647,43
4	389,80	53,20	20738,28
5	394,67	52,78	20829,53
6	399,60	52,35	20921,18
7	404,60	51,93	21013,24
8	409,66	51,52	21105,69
9	414,78	51,11	21198,56
10	419,96	50,70	21291,83
11	425,21	50,29	21385,52
12	430,53	49,89	21479,61
13	435,91	49,49	21574,12
14	441,36	49,09	21669,05
15	446,88	48,70	21764,39
16	452,46	48,31	21860,16
17	458,12	47,93	21956,34
18	463,84	47,54	22052,95
19	469,64	47,16	22149,98
20	475,51	46,79	22247,44
21	481,46	46,41	22345,33
22	487,47	46,04	22443,65
23	493,57	45,67	22542,40
24	499,74	45,31	22641,59
25	505,98	44,94	22741,21

Πίνακας 7.6: Έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας

Στα ετήσια λειτουργικά κόστη περιλαμβάνεται το κόστος συντήρησης της εγκατάστασης και το ποσό για τα ασφάλιστρα. Αν και έχει γίνει μια εκτίμηση αυτού του κόστους παραπάνω, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, αποτελεί το 1% του συνολικού κόστους της επένδυσης (από 0,5-1,5% συγκεκριμένα). Έτσι, το ποσό αυτό θα ανέρχεται στα 746,18 € που είναι πολύ κοντά στο κόστος που έχει εκτιμηθεί παραπάνω. Τέλος, θεωρείται ένας ετήσιος συντελεστής προσαύξησης των λειτουργικών εξόδων της τάξεως του 3%, λόγω γήρανσης της συνολικής εγκατάστασης και πληθωρισμού.

Έτος	Ετήσια Έξοδα (Λειτουργικά Κόστη)	Δάνειο	Συνολικά Έξοδα
0			
1	746,18€	7461,80€	8207,98€
2	768,56€	7461,80€	8230,37€
3	791,62€	7461,80€	8253,42€
4	815,37€	7461,80€	8277,17€
5	839,83€	7461,80€	8301,63€
6	865,03€	7461,80€	8326,83€
7	890,98€	7461,80€	8352,78€
8	917,71€	7461,80€	8379,51€
9	945,24€	7461,80€	8407,04€
10	973,60€	7461,80€	8435,40€
11	1002,80€	-	1002,80€
12	1032,89€	-	1032,89€
13	1063,87€	-	1063,87€
14	1095,79€	-	1095,79€
15	1128,66€	-	1128,66€
16	1162,52€	-	1162,52€
17	1197,40€	-	1197,40€
18	1233,32€	-	1233,32€
19	1270,32€	-	1270,32€
20	1308,43€	-	1308,43€
21	1347,68€	-	1347,68€
22	1388,11€	-	1388,11€
23	1429,76€	-	1429,76€
24	1472,65€	-	1472,65€
25	1516,83€	-	1516,83€

Πίνακας 7.7: Έξοδα της επένδυσης σχετικά με το δάνειο και τα λειτουργικά κόστη

Στον πίνακα 7.7 φαίνονται τα έξοδα που αφορούν την συγκεκριμένη επένδυση. Από τον πίνακα 7.7 προκύπτει πως η μέση τιμή των λειτουργικών εξόδων είναι 1088,21 €. Η τιμή αυτή προκύπτει αθροίζοντας τα λειτουργικά κόστη κάθε έτους και διαιρώντας το αποτέλεσμα με τα χρόνια της διάρκειας ζωής του έργου.

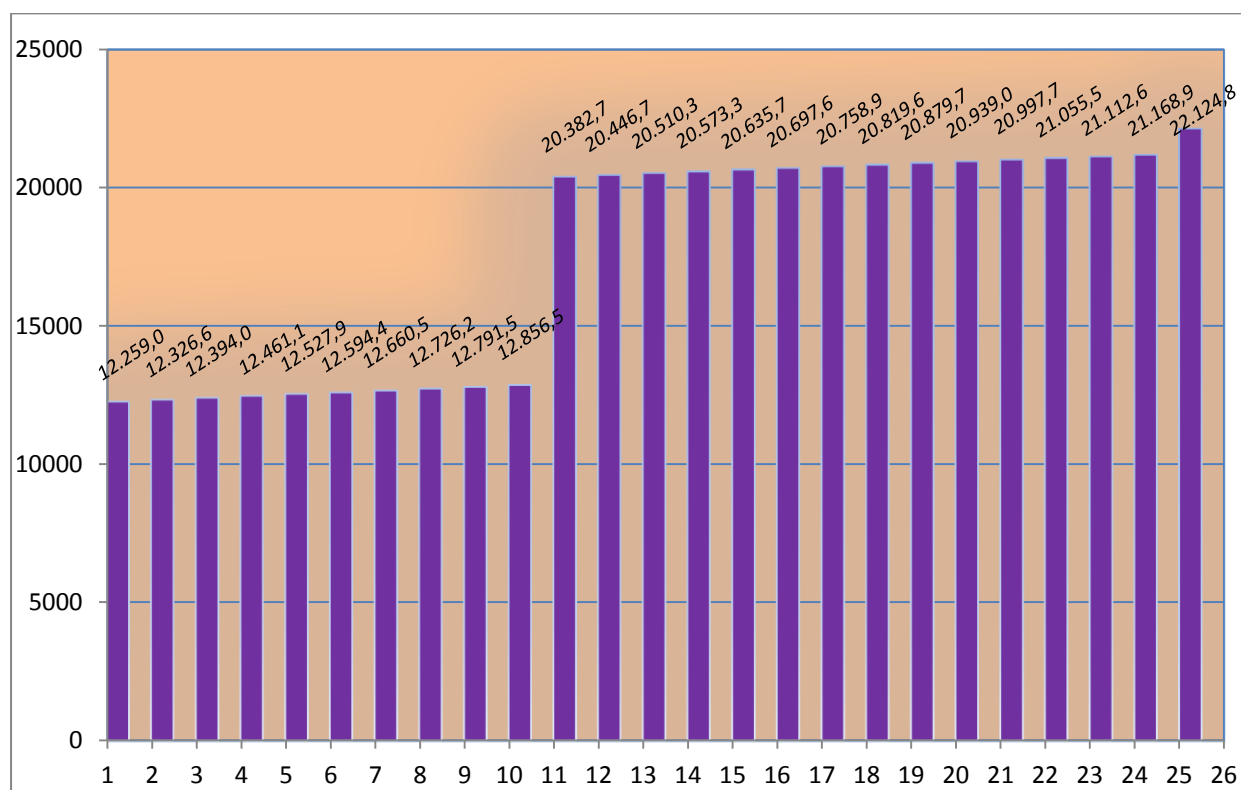
Ο στόχος στην συγκεκριμένη εργασία είναι να υπολογιστούν κάποιοι οικονομικοί δείκτες, προκειμένου να φανεί κατά πόσο η επένδυση είναι συμφέρουσα και κατά πόσο το σύστημα είναι βιώσιμο. Προκειμένου να υπολογιστούν αυτοί οι δείκτες, είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η ετήσια ταμειακή ροή για την επένδυση. Η ταμειακή ροή ανά έτος υπολογίζεται ως εξής:

Χρηματική ροή = -Αρχική Επενδυτική δαπάνη + Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας – Αποπληρωμή δανειακού κεφαλαίου – Πληρωμή τόκων – Κόστος λειτουργίας και συντήρησης – Φόρος εισοδήματος.

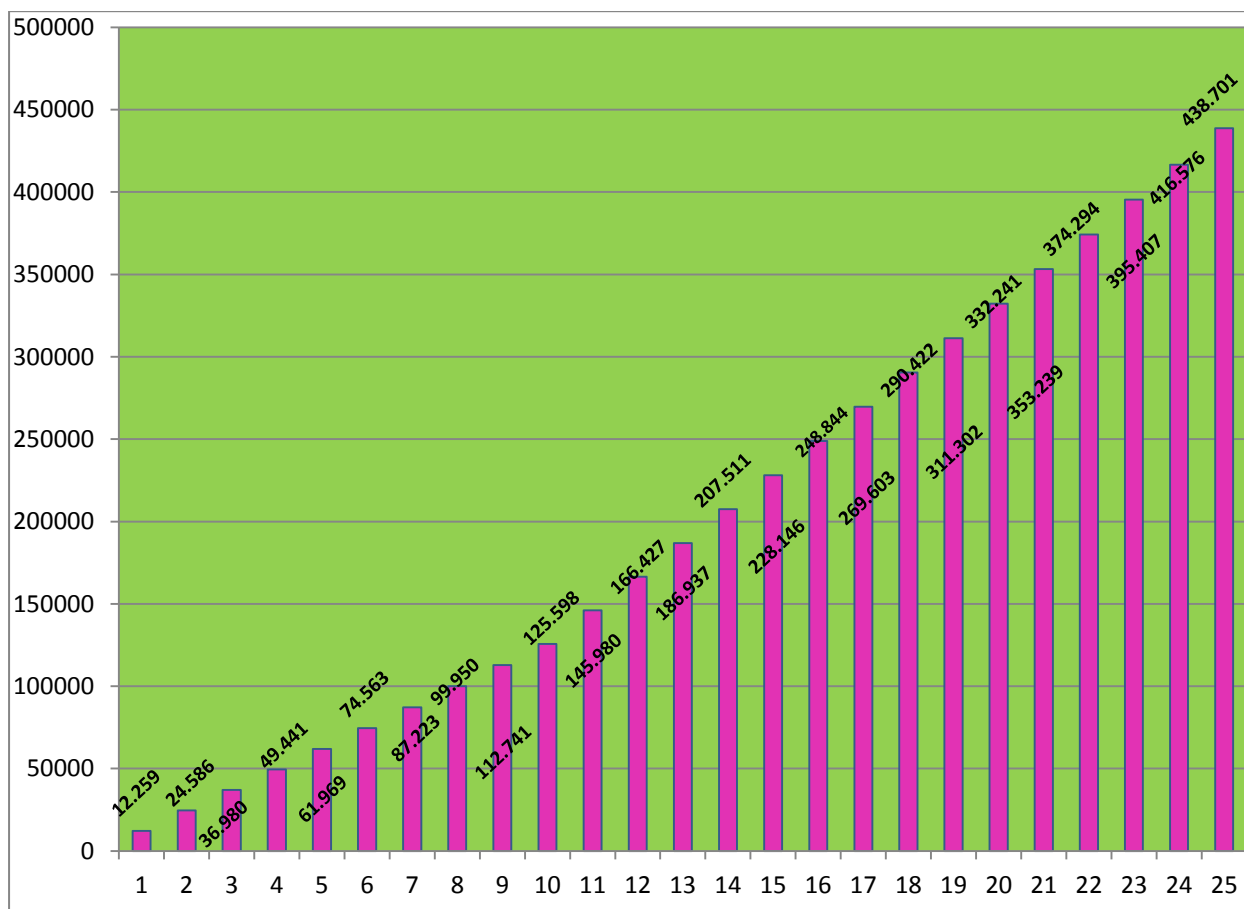
Για την συγκεκριμένη περίπτωση, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, το δάνειο έχει μηδενικό επιτόκιο, οπότε η αποπληρωμή των τόκων είναι μηδενική. Επίσης, το πανεπιστήμιο ως νομικό πρόσωπο δημοσίου δικαίου δεν θα έχει φορολογική επιβάρυνση. Έτσι, ο φόρος εισοδήματος είναι μηδενικός και δεν χρειάζεται να υπολογιστούν ετήσιες αποσβέσεις για την επένδυση. Η σχέση για την ετήσια ταμειακή ροή στην συγκεκριμένη μελέτη διαμορφώνεται ως εξής:

Χρηματική ροή = -Αρχική Επενδυτική δαπάνη + Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας – Αποπληρωμή δανειακού κεφαλαίου – Κόστος λειτουργίας και συντήρησης .

Στον πίνακα 7.8 παρουσιάζονται οι εισροές, οι εκροές και οι ταμειακές ροές για την συγκεκριμένη επένδυση. Στις εισροές περιλαμβάνονται τα έσοδα από την πώληση της ενέργειας και το ποσό του δανείου από την Επιτροπή Ερευνών, ενώ στις εκροές, πέρα από το κόστος της επένδυσης, περιλαμβάνονται τα συνολικά έξοδα, το άθροισμα δηλαδή της δόσης του δανείου και των λειτουργικών εξόδων. Οι ταμειακές ροές είναι η διαφορά των εισροών από των εκροών. Επίσης, στα διαγράμματα 7.1 και 7.2 φαίνονται τα καθαρά και τα συσσωρευτικά κέρδη της επένδυσης αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7.1: Καθαρά κέρδη της επένδυσης για κάθε έτος



Διάγραμμα 7.2: Συσσωρευτικά κέρδη της επένδυσης για κάθε έτος

Στη συνέχεια, προκειμένου να υπολογιστούν οι επιθυμητοί οικονομικοί δείκτες για την επένδυση, πρέπει να οριστεί το ευκαιριακό κόστος του κεφαλαίου ή αλλιώς το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία. Το επιτόκιο αναγωγής είναι το επιτόκιο δανεισμού από την Ευρωπαϊκή Ένωση, δηλαδή το επιτόκιο Euribor, το οποίο με τα σημερινά δεδομένα ισούται με 5,5%. Το Euribor αποτελεί επιτόκιο αναφοράς για πάρα πολλές συναλλαγές, όπως δάνεια, ομόλογα και άλλες συμβάσεις. Πρόκειται για τα αρχικά των λέξεων Euro Interbank Offered Rate (διατραπεζικό επιτόκιο καταθέσεων σε ευρώ). Αυτή η τιμή θα ληφθεί για τους μετ' έπειτα υπολογισμούς.

Έτος	ΡΟΕΣ				
	Εισροές		Εκροές		Ταμειακές ροές
	Έσοδα από ΛΑΓΗΕ	Δάνειο	Εκροές	Κόστος Επένδυσης	
0		74618€		74618€	
1	20466,93€		8207,98€		12258,95€
2	20556,98€		8230,36€		12326,61€
3	20647,43€		8253,42€		12394,01€
4	20738,28€		8277,17€		12461,11€
5	20829,53€		8301,63€		12527,90€
6	20921,18€		8326,83€		12594,35€
7	21013,24€		8352,78€		12660,46€
8	21105,69€		8379,51€		12726,18€
9	21198,56€		8407,04€		12791,52€
10	21291,83€		8435,40€		12856,43€
11	21385,52€		1002,80€		20382,72€
12	21479,61€		1032,89€		20446,72€
13	21574,12€		1063,87€		20510,24€
14	21669,05€		1095,79€		20573,26€
15	21764,39€		1128,66€		20635,72€
16	21860,16€		1162,52€		20697,63€
17	21956,34€		1197,40€		20758,94€
18	22052,95€		1233,32€		20819,63€
19	22149,98€		1270,32€		20879,66€
20	22247,44€		1308,43€		20939,01€
21	22345,33€		1347,68€		20997,64€
22	22443,65€		1388,11€		21055,53€
23	22542,40€		1429,76€		21112,64€
24	22641,59€		1472,65€		21168,94€
25	22741,21€		1516,83€		21224,38€

Πίνακας 7.8: Συνολικές Ροές και ταμειακές ροές της επένδυσης

7.10.2. Υπολογισμός Οικονομικών κριτηρίων αξιολόγησης

Η καθαρή ετήσια χρηματοροή, όπως φαίνεται στον πίνακα 7.8 δεν είναι σταθερή αλλά διαφέρει ανάλογα με το έτος. Σαν ετήσια χρηματοροή εννοείται η καθαρή ροή της επένδυσης για κάθε χρόνο. Γνωρίζοντας την καθαρή ταμειακή ροή και το επιτόκιο αναγωγής, είναι εφικτό να υπολογιστούν οι δείκτες που έχουν αναφερθεί στην § 6.3. Αρχικά υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία από την σχέση 6.5.

$$NPV = -K + \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1 + d_t)^t}$$

Από την λύση της σχέσης προκύπτει ότι η καθαρή παρούσα αξία της είναι 142.024,80€. Εφ' όσον **NPV = 142.024,80€ > 0**, και σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 6.3, η επένδυση θεωρείται αποδεκτή.

Ο υπολογισμός του εσωτερικού ποσοστού απόδοσης της επένδυσης από την σχέση NPV ($d = IRR$) = 0 γίνεται με βάση τη σχέση 6.6 και προκύπτει 0,183387. Δηλαδή προκύπτει ότι **IRR = 18,34%**. Αναμφισβήτητα, η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από το ευκαιριακό κόστος του χρήματος ($d = 5,5\%$) και η επένδυση κρίνεται και με αυτόν τον δείκτη βιώσιμη.

Η χρήση της σχέσης 6.8 για τον υπολογισμό της απλής περιόδου αποπληρωμής δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, αφού η ετήσια ταμειακή ροή δεν είναι σταθερή στο πέρας των ετών. Ωστόσο, εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί ότι τα συνολικά κέρδη λόγω της επένδυσης προκύπτουν 74.563 € ενώ το αρχικό κόστος είναι 74.618€. Συνεπώς, με την προϋπόθεση ότι η σύμβαση πώλησης ενέργειας με τον Λ.Α.Γ.Η.Ε περιλαμβάνει μηνιαία καταβολή των χρημάτων, προκύπτει ότι η απλή περίοδος αποπληρωμής είναι 6 έτη και 1 μήνας.

Όσον αφορά την έντοκη περίοδο αποπληρωμής χρησιμοποιούμε τη σχέση 6.9 και βρίσκουμε ότι απαιτούνται 7,53 έτη. Αυτό αντιστοιχεί σε διάστημα 7 ετών και 7 μηνών. Η περίοδος αποπληρωμής θεωρείται ένας ακόμα θετικός παράγοντας πραγματοποίησης της επένδυσης. Με δεδομένη την 25 ετή συμφωνία με τη ΔΕΗ είναι εμφανές ότι σε διάστημα μικρότερο από το 1/3 του συνολικού η επένδυση αποσβένεται. Αν ληφθεί υπόψη και η πραγματική διάρκεια ζωής η οποία φτάνει τα 40 χρόνια, η επένδυση είναι σίγουρα βιώσιμη και κερδοφόρα.

Ένας άλλος δείκτης που προσφέρει σημαντικές πληροφορίες είναι ο λόγος οφέλους-κόστους της επένδυσης, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση 6.11

:

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{B_t}{(1 + d_t)^t}}{\sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1 + d_t)^t}}$$

Όπως φαίνεται από την συγκεκριμένη σχέση, προκειμένου να υπολογιστεί ο λόγος οφέλους-κόστους, πρέπει να γίνει αναγωγή των εισροών και των εκροών της επένδυσης στο παρόν για κάθε έτος της διάρκειας ζωής της επένδυσης. Σημαντική παρατήρηση είναι η ύπαρξη του έτους 0 που αντιστοιχεί στο αρχικό κόστος της επένδυσης. Τα αποτελέσματα αυτών των αναγωγών φαίνονται στον πίνακα 7.9. Στον ίδιο πίνακα φαίνονται και οι συνολικές παρούσες αξίες. Η συνολική παρούσα αξία των εισροών είναι 360728,23€ και η συνολική παρούσα αξία των εκροών είναι 144321,58€.

Τελικά, προκύπτει πως ο λόγος οφέλους-κόστους για την συγκεκριμένη επένδυση

είναι:

$$BCR = \frac{286.110,23}{144.321,58} = 1,98$$

Εφ' όσον ο λόγος οφέλους-κόστους είναι μεγαλύτερος από την μονάδα, η επένδυση κρίνεται οικονομικά αποδεκτή.

Έτος	Ανάλυση λόγου οφέλους- κόστους (BCR)	
	Παρούσες Αξίες Εισροών-Εκροών	
	PV Εισροών	PV Εκροών
0		74618,00€
1	19399,93€	7780,06€
2	18469,47€	7394,59€
3	17583,63€	7028,73€
4	16740,29€	6681,47€
5	15937,39€	6351,86€
6	15173,00€	6039,00€
7	14445,27€	5742,00€
8	13752,44€	5460,08€
9	13092,85€	5192,43€
10	12464,89€	4938,34€
11	11867,05€	556,47€
12	11297,88€	543,28€
13	10756,01€	530,41€
14	10240,13€	517,84€
15	9748,99€	505,57€
16	9281,41€	493,59€
17	8836,25€	481,89€
18	8412,45€	470,47€
19	8008,97€	459,32€
20	7624,84€	448,44€
21	7259,14€	437,81€
22	6910,97€	427,44€
23	6579,51€	417,31€
24	6263,94€	407,42€
25	5963,51€	397,76€
Συνολική PV	286110,23€	144321,58€

Πίνακας 7.9: Παρούσες αξίες εισροών-εκροών για κάθε έτος

Κεφάλαιο 8^ο:
Αυτόνομο Σύστημα

8.1 Διαστασιολόγηση Αυτόνομου συστήματος

Στο παρών κεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί η μελέτη εγκατάστασης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά που θα τοποθετηθούν στην οροφή του κτιρίου θα καλύπτουν τις ανάγκες των φορτίων που τροφοδοτούνται από τα Η/Ζ, όπου έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 6.

Τα αποτελέσματα μηνιαίως, για τη συνολική κατανάλωση ενέργειας λόγω των φορτίων ανάγκης φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ	
Μήνας	[MWh]
Ιανουάριος	8,591
Φεβρουάριος	8,866
Μάρτιος	8,869
Απρίλιος	7,552
Μάιος	7,012
Ιούνιος	7,001
Ιούλιος	5,982
Αύγουστος	5,547
Σεπτέμβριος	6,013
Οκτώβριος	8,869
Νοέμβριος	8,836
Δεκέμβριος	6,447
Σύνολο	89,585

Πίνακας 8.1: Μηνιαίες Καταναλώσεις

Θεωρώντας ότι η ενεργειακή κατανάλωση είναι ίσο-κατανεμημένη μεταξύ των μηνών και των ημερών της κάθε περιόδου, μπορεί να γίνει και ημερήσια εκτίμηση της κατανάλωσης του κτιρίου. Έτσι, προκύπτει ο πίνακας 8.2:

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ		
Μήνας	[MWh]	MWh/day
Ιανουάριος	8,591	0,277
Φεβρουάριος	8,866	0,317
Μάρτιος	8,869	0,286
Απρίλιος	7,552	0,252
Μάιος	7,012	0,226
Ιούνιος	7,001	0,233
Ιούλιος	5,982	0,193
Αύγουστος	5,547	0,179
Σεπτέμβριος	6,013	0,200
Οκτώβριος	8,869	0,286
Νοέμβριος	8,836	0,295
Δεκέμβριος	6,447	0,208
Σύνολο	89,585	2,952

Πίνακας 8.2: Εκτίμηση ημερήσιας κατανάλωσης ανά μήνα

Στην περίπτωση του αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι αυτονόητο πως πρέπει να τοποθετηθούν διατάξεις συσσωρευτών, ώστε να μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου σε περίπτωση που δεν θα υπάρχει ηλιοφάνεια. Η ύπαρξη συσσωρευτών είναι και η μεγαλύτερη διαφορά που υπάρχει μεταξύ διασυνδεδεμένων και αυτόνομων Φ/Β συστημάτων. Η διαστασιολόγηση των συσσωρευτών είναι μείζονος σημασίας για τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος, και ουσιαστικά είναι ταυτόσημη με τον υπολογισμό της χωρητικότητάς τους. Το βασικότερο, ίσως, στοιχείο για το οποίο θα πρέπει να αποφασίσει ο μελετητής, βάση των εκάστοτε ιδιαιτεροτήτων, είναι οι ημέρες αυτοδυναμίας ή ημέρες αυτονομίας που θα παρέχουν οι συσσωρευτές στο σύστημα. Με βάση, λοιπόν, τις ημέρες αυτοδυναμίας και τις καταναλώσεις του κτιρίου, μπορεί να υπολογιστεί η χωρητικότητα που απαιτείται να έχουν οι συσσωρευτές. Η ονομαστική χωρητικότητα ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή, δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευτεί στο εσωτερικό του με τη μορφή χημικής ενέργειας, δίνεται από τη σχέση 8.1.

$$C = \frac{Sp * Ej}{dp * V} (Ah) \quad (8.1)$$

Όπου:

Sp: οι ημέρες αυτοδυναμίας του συστήματος

Ej: η ημερήσια κατανάλωση (Wh/ ημέρα)

V: η ονομαστική τάση συσσωρευτή (V)

dp: βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή (αδιάστατο μέγεθος)

Με τον όρο αυτοδυναμία, εννοείται το χρονικό διάστημα (πόσες μέρες) για το οποίο το σύστημα θα είναι ικανό να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση νέφωσης. Αυτή η παράμετρος ορίζεται ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί το σύστημα, τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής εγκατάστασης, τις επιπτώσεις από τη διακοπή στην παροχή ενέργειας καθώς επίσης και την δυνατότητα πρόσβασης που έχουμε σε άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας αν παραστεί ανάγκη.

Ο όρος αυτοδυναμία του συστήματος αναφέρεται μόνο στα αυτόνομα συστήματα, όπου δεν είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης και καλύπτουν μόνο τους τις ενεργειακές ανάγκες τους. Η επιλογή της αυτοδυναμίας του συστήματος είναι πολύ σημαντική παράμετρος στα αυτόνομα συστήματα, διότι έχει τεράστιες επιπτώσεις στο σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας (χωρητικότητα συσσωρευτών). Οι επιπτώσεις αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με οικονομικά κριτήρια και κριτήρια διαθέσιμου χώρου για την εκάστοτε εγκατάσταση.

Λέγοντας, για παράδειγμα, ότι το σύστημα έχει αυτοδυναμία 5 ημερών ($S_p=5$), εννοείται ότι έχει την ικανότητα να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες 5 εικοσιτετράωρων χωρίς να υπάρξει ηλιοφάνεια, με ενέργεια που προέρχεται από το σύστημα αποθήκευσης (συσσωρευτές). Προφανώς, ο συντελεστής S_p έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση της μονάδας και υπολογίζεται από τη σχέση 8.2:

$$S_p = \frac{5}{17} * \left[\frac{N_s * d_{om} - N_{so}}{N_s} \right] + \frac{12}{17} \quad (8.2)$$

Όπου :

N_s : ο ημερήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας για τελείως ανέφελο ουρανό της 15^{ης} ημέρας του μήνα

N_{so} : ο πραγματικός αριθμός ωρών ηλιοφάνειας του μήνα και

d_{om} : οι ημέρες που έχει ο αντίστοιχος μήνας

Όπως φαίνεται από τον τύπο, η σχέση αυτή λαμβάνει υπ' όψιν μηνιαία μετεωρολογικά στοιχεία, οπότε θα είχε διαφορετικά αποτελέσματα για κάθε μήνα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο χρόνος λειτουργίας του συστήματος έχει ορισθεί σε ολόκληρο το χρόνο και θα έπρεπε να επιλεγεί η δυσμενέστερη περίπτωση αποτελεσμάτων, η οποία θα έβγαζε πολλές ημέρες αυτοδυναμίας για το συγκεκριμένο κτίριο. Λόγω έλλειψης στην ακρίβεια των συγκεκριμένων στοιχείων και λαμβάνοντας υπ' όψιν το μέγεθος και τις ανάγκες του συγκεκριμένου συστήματος, η αυτοδυναμία του ορίζεται σε δύο ημέρες ($S_p=2$).

Οι ημερήσιες καταναλώσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 8.2. Για τον υπολογισμό της χωρητικότητας των συσσωρευτών θα επιλεγεί ο δυσμενέστερη μήνας κατανάλωσης του κτιρίου, ο οποίος είναι ο Φεβρουάριος με 317 KWh/ημέρα. Η ονομαστική τάση του συσσωρευτή είναι ένα μέγεθος το οποίο επιλέγεται συναρτήσει

της ισχύος αιχμής της Φ/Β συστοιχίας. Για Φ/Β συστήματα με ισχύ αιχμής πάνω από 10 KWp, όπως συμβαίνει στην εν λόγω περίπτωση, προτείνεται ονομαστική τάση συσσωρευτή 48V. Βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή είναι το ποσό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, που προσφέρεται από το συσσωρευτή σε κάθε εκφόρτιση. Επίσης, το βάθος εκφόρτισης καθορίζει και τους κύκλους λειτουργίας, δηλαδή τον αριθμό των διαδοχικών φορτίσεων και εκφορτίσεων του συσσωρευτή, και κατ'επέκταση την διάρκεια ζωής του. Αυτό συμβαίνει επειδή το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας παραμένει σταθερό. Στον πίνακα 8.3 φαίνεται το μέγιστο βάθος εκφόρτισης για κάποιους τύπους μπαταριών. Στην περίπτωση των συσσωρευτών για Φ/Β εφαρμογές η τιμή αυτή είναι 0,6 ή 60%.

Τύπος μπαταρίας	Προεπιλεγμένο μέγιστο βάθος
Lead-acid (car)	20%
Lead-acid (gel)	20%
Lead-acid (PV, vented)	60%
Nickel-Cadmium	85%

Πίνακας 8.3: Μέγιστο βάθος εκφόρτισης διαφόρων τύπων μπαταριών

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω στη σχέση 8.1 προκύπτει:

$$C = \frac{Sp * Ej}{dp * V} = \frac{2 * 317}{0,6 * 48} = 22.014 Ah$$

Λόγω της μεγάλης χωρητικότητας των συσσωρευτών που απαιτείται είναι εύλογο να μην υπάρχει στην αγορά ένας συσσωρευτής που να μπορεί μόνος του να καλύψει τις ανάγκες που υπάρχουν. Για αυτόν τον λόγο πρέπει να συνδεθούν περισσότεροι συσσωρευτές μεταξύ τους, δημιουργώντας συστοιχίες συσσωρευτών. Παρατηρώντας εξωτερικά τους συσσωρευτές, κάθε ένας από αυτούς έχει δύο ηλεκτρόδια που ονομάζονται πόλοι. Υπάρχει πάντα ο θετικός και ο αρνητικός πόλος. Ο θετικός πόλος συμβολίζεται με (+) και ο αρνητικός με (-). Η σύνδεση των συσσωρευτών μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους, δίνοντας ο καθένας τα δικά του χαρακτηριστικά στην συστοιχία:

- ❖ **Σύνδεση σε σειρά.** Η διάταξη αυτή υλοποιείται συνδέοντας τον θετικό πόλο του ενός συσσωρευτή με τον αρνητικό του άλλου. Σε αυτήν την περίπτωση η συνολική τάση της συστοιχίας ισούται με το άθροισμα των επιμέρους ονομαστικών τάσεων των συσσωρευτών. Επισημαίνεται πως οι χωρητικότητες των συσσωρευτών που απαρτίζουν την συστοιχία θα πρέπει να είναι ίσες μεταξύ τους και η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας ισούται με την χωρητικότητα του ενός.

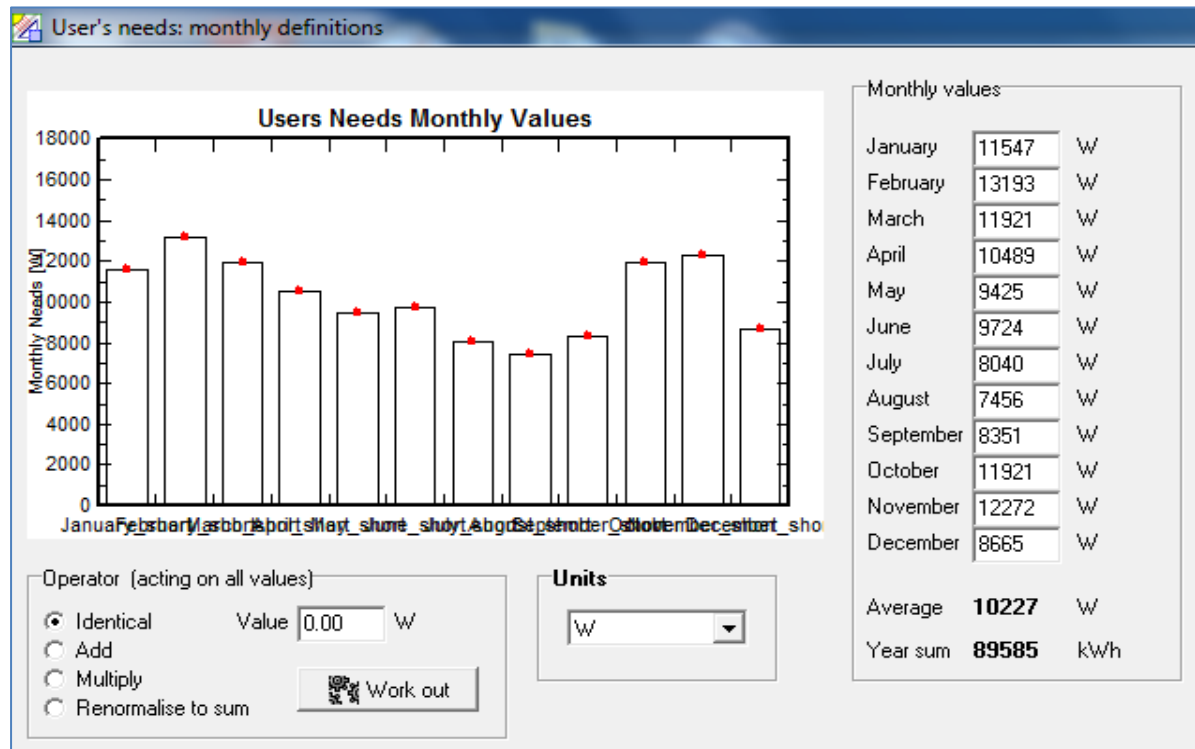
- ❖ **Παράλληλη σύνδεση.** Η διάταξη αυτή υλοποιείται συνδέοντας μεταξύ τους όλους τους θετικούς πόλους σε έναν κοινό θετικό πόλο και όλους τους αρνητικούς σε έναν κοινό αρνητικό. Σε αυτήν την περίπτωση η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας ισούται με το άθροισμα των επιμέρους χωρητικοτήτων των συσσωρευτών. Ανάλογα με την προηγούμενη περίπτωση σύνδεσης, οι τάσεις των συσσωρευτών που απαρτίζουν την συστοιχία θα πρέπει να είναι ίσες μεταξύ τους. Η συνολική τάση της συστοιχίας ισούται με την τάση του ενός συσσωρευτή.
- ❖ **Μικτή σύνδεση.** Η διάταξη αυτή υλοποιείται με συνδυασμό των δύο προηγούμενων διατάξεων.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των συσσωρευτών, το οποίο δεν αναφέρθηκε, είναι ο δείκτης σχετικά με τον ρυθμό εκφόρτισής τους. Ανάλογα με αυτόν τον δείκτη καθορίζεται και η χωρητικότητα του συσσωρευτή. Έτσι, για παράδειγμα, όταν η χωρητικότητα κάποιου συσσωρευτή είναι 100 Ah με δείκτη εκφόρτισης C20, αυτό σημαίνει ότι τα 100 Ah του συσσωρευτή επιτυγχάνονται όταν η σταδιακή του εκφόρτιση διαρκεί 20 ώρες. Σε περίπτωση που η εκφόρτιση διαρκέσει λιγότερες ώρες, θα αποδοθούν και λιγότερα Ah από την μπαταρία. Αντίστοιχα, αν η εκφόρτιση διαρκέσει περισσότερες ώρες θα προσφερθούν και περισσότερα Ah από τον συσσωρευτή ή την συστοιχία αυτών. Προκύπτει, δηλαδή, πως η χωρητικότητα των συσσωρευτών δεν είναι ένα σταθερό τεχνικό χαρακτηριστικό που έχουν, αλλά διαφέρει ανάλογα με τον ρυθμό εκφόρτισής τους. Προς αποφυγή σύγχυσης, στην συγκεκριμένη εργασία οι χωρητικότητες των συσσωρευτών που θα αναφέρονται θα αφορούν ρυθμό εκφόρτισης 10 ωρών (C10).

8.1.1 Διαστασιολόγηση Αυτόνομου συστήματος με το PVsyst

Έχοντας καθορίσει τις σημαντικότερες παραμέτρους του αυτόνομου συστήματος, μπορεί να γίνει διαστασιολόγησή του με την χρήση του προγράμματος PVsyst. Η λειτουργία του προγράμματος έχει εξηγηθεί σε προηγούμενες παραγράφους, όσον αφορά την εισαγωγή των κλιματολογικών δεδομένων και τον καθορισμό της κλίσης και του προσανατολισμού της εγκατάστασης. Τα στοιχεία που διαφοροποιούνται σε σχέση με το διασυνδεδεμένο σύστημα που αναλύθηκε, αφορούν τις παραμέτρους του συστήματος. Στην εικόνα 8.1 φαίνονται οι συγκεκριμένοι παράμετροι και μια προσεγγιστική βοήθεια για την υλοποίηση του συστήματος. Όπως φαίνεται στο πάνω μέρος της εικόνας, έχουν οριστεί οι ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες που πρόκειται να καλυφθούν, οι ημέρες αυτοδυναμίας του συστήματος και η ονομαστική τάση στην οποία θα λειτουργούν οι συσσωρευτές, όπως αυτά έχουν ορισθεί και παραπάνω. Το μόνο καινούργιο στοιχείο είναι ο καθορισμός του LOL. Το LOL προκύπτει από το “loss of load” και στο πεδίο αυτό ο χρήστης πρέπει να καθορίσει την αποδεκτή πιθανότητα απώλειας φορτίου, ουσιαστικά δηλαδή την διάρκεια κατά την οποία δε θα μπορεί να ικανοποιηθεί το φορτίο. Ο δείκτης αυτός καθορίζεται από την σημαντικότητα των φορτίων που πρόκειται να εξυπηρετηθεί το σύστημα. Ανάλογα με αυτό το δείκτη, Το πρόγραμμα προτείνει και την συνολική ισχύ που θα πρέπει να έχει η εγκατάσταση. Έτσι, για δείκτη LOL στο 1%, δεδομένων των υπολοίπων

παραμέτρων, προτείνεται ένα σύστημα συνολικής ισχύος αιχμής **124 kWp** για να μπορέσουν να καλυφθούν οι ανάγκες του κτιρίου.



Εικόνα 8.1: Ισχύς που πρέπει να καλύπτουν τα φωτοβολταϊκά κάθε μήνα

Stand-alone System definition, Variant "New Simulation Variant"

Presizing help
 Av. daily needs: Enter accepted LOL %
 246 kWh/day Enter requested autonomy day(s)

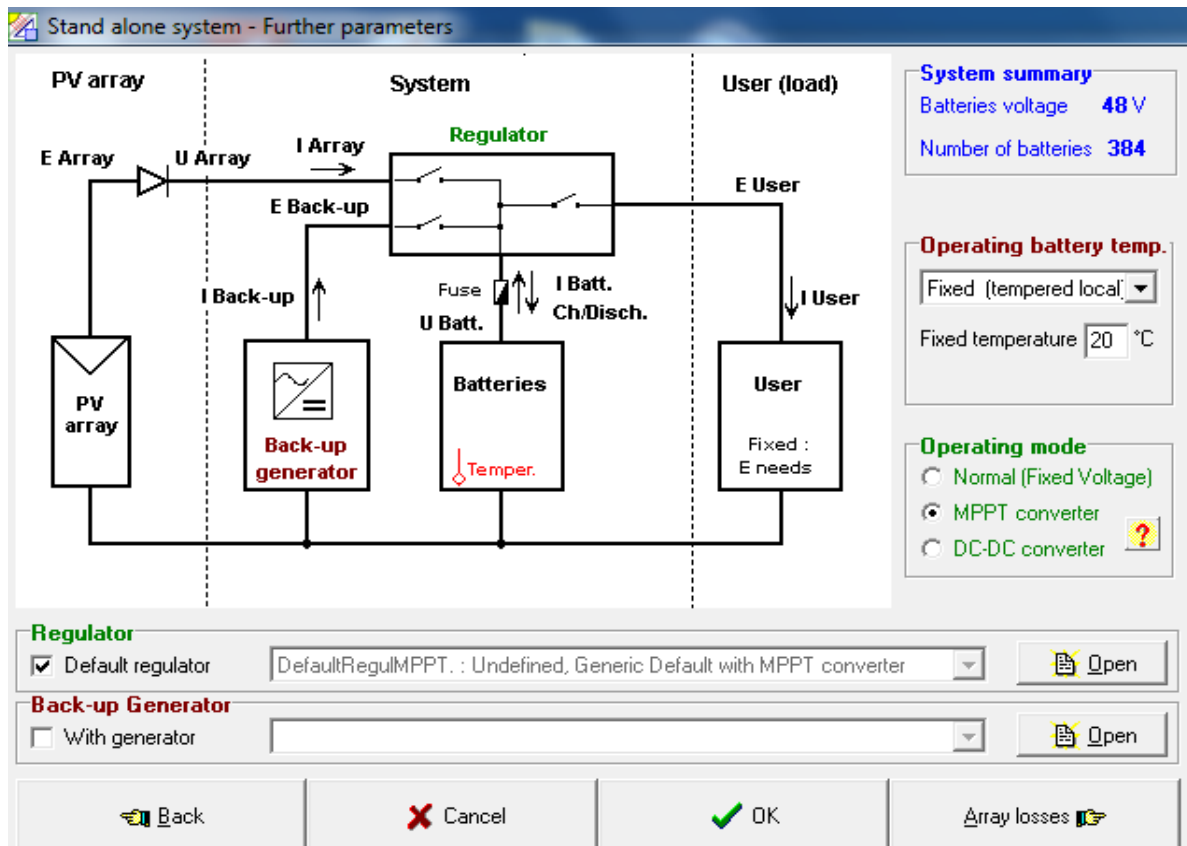
Battery (user) voltage V
 Suggested capacity **14608** Ah
 Suggested PV power **124** kWp (nom.)

Select battery set
 Sort Batteries by: voltage capacity manufacturer
 2V 909 Ah TXE 900 / OPzS800 Fulmen-CEAC
 Batteries in serie: 24 (checked) → Number of batteries: **384**
 Batteries in parallel: 16 (checked) → Battery pack voltage: **48** V
 Global capacity: **14544** Ah
 Stored energy: **698** kWh

Select module(s)
 Sort modules by: power technology manufacturer
 230 Wp 25V Si-poly YL230P-29b Yingli Solar Manufacturer 20
 Modules in serie: 2 (checked) → Please define the regulator ("Next" button)
 Modules in parallel: 269 (checked) → Array voltage at 50°C: **52.7** V
 Array current: **2081** A
 Array nom. power (STC): **124** kWp
 Total: **538** Modules

User's needs Cancel OK Next

Εικόνα 8.2: Καθορισμός παραμέτρων για αυτόνομο σύστημα στο PVsyst



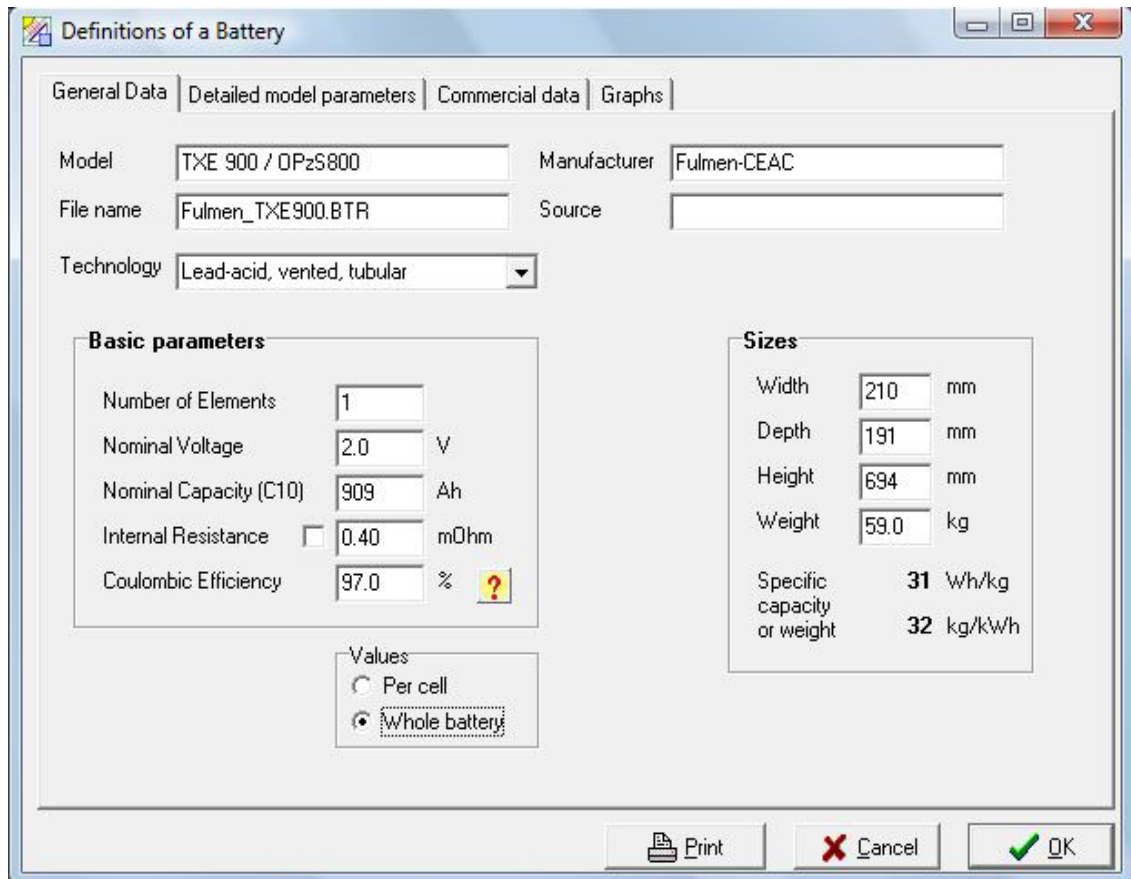
Εικόνα 8.3: Κυκλωματική διάταξη

Με τα συγκεκριμένα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα, προτείνεται επίσης, πέρα από την ισχύ αιχμής της εγκατάστασης, η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών. Έτσι, προτείνεται μία τιμή των 14.608 Ah, η οποία έχει αρκετή διαφορά από αυτήν που υπολογίστηκε με τον τύπο 8.1. Γενικά, υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό και την διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου συστήματος και δεν υπάρχει σωστή και λάθος επιλογή. Στην συγκεκριμένη εργασία ο βασικός υπολογισμός θα γίνει με το πρόγραμμα PVsyst.

Προκειμένου να γίνει διαστασιολόγηση του συστήματος, πρέπει να επιλεχθούν συγκεκριμένα πλαίσια και συσσωρευτές από την βάση δεδομένων του προγράμματος. Υπάρχει και δυνατότητα εισαγωγής καινούργιων στοιχείων αλλά απαιτείται η γνώση πολλών δεδομένων που είναι δύσκολο να βρεθούν και υπάρχει πάντα και ο κίνδυνος να γίνει κάποιο λάθος κατά την εισαγωγή των στοιχείων στο πρόγραμμα. Από τη βάση δεδομένων του προγράμματος επιλέχθηκαν τα ίδια πλαίσια με αυτά της περίπτωσης του διασυνδεδεμένου συστήματος, τα YL230P-29b της εταιρίας Yingli Solar. Οι ηλιακοί συλλέκτες ή τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να είναι ικανά να φορτίζουν τους συσσωρευτές της εγκατάστασης. Το μέγεθος των συσσωρευτών, εξάλλου, είναι και το κριτήριο με το οποίο διαστασιολογείται το αυτόνομο σύστημα, σε αντίθεση με το διασυνδεδεμένο, όπου χρησιμοποιείται η κάλυψη της διαθέσιμης επιφάνειας της ταράτσας. Αυτό έχει άμεση σχέση με την συνδεσμολογία των πλαισίων. Η τάση εξόδου ολόκληρης της Φ/Β συστοιχίας πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση λειτουργίας των συσσωρευτών, Γι' αυτό και το πρόγραμμα προτείνει συνδεσμολογία πλαισίων με μόνο δύο πλαίσια σε σειρά. Η τάση εξόδου της Φ/Β συστοιχίας στους 50°C, που είναι και σχετικά δυσμενής

περίπτωση λειτουργίας, είναι 52,7 V, ικανά να φορτίσουν τους συσσωρευτές, των οποίων η ονομαστική τάση είναι 48V. Ο αριθμός των πλαισίων που τοποθετούνται σε σειρά καθορίζει τη τάση εξόδου της Φ/Β συστοιχίας, όμως για να επιτευχθεί η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της αυτόνομης εγκατάστασης πρέπει να τοποθετηθούν πολλοί παράλληλοι κλάδοι. Από το πρόγραμμα προκύπτει ο αριθμός των 269 παράλληλων κλάδων, ώστε να επιτευχθεί η ισχύς των 124 KW. Συνολικά, δηλαδή για να υλοποιηθεί το συγκεκριμένο αυτόνομο σύστημα απαιτείται η τοποθέτηση 538 πλαισίων. Είναι προφανές, από την μελέτη χωροθέτησης προηγούμενης παραγράφου, πως η τοποθέτηση 538 πλαισίων στην διαθέσιμη επιφάνεια του κτιρίου είναι αδύνατη. Επίσης, ο διαχωρισμός των 269 strings σε αντιστροφείς, οι οποίοι θα έχουν 2 εισόδους στοιχειοσειρών ο καθένας, απαιτεί τουλάχιστον 134 μονοφασικούς αντιστροφείς ή κάποιον άλλο συνδυασμό αντιστροφέων που να εξυπηρετούν την ανωτέρω υπολογιστική ισχύ. Πέρα, λοιπόν, από την αδυναμία τοποθέτησης τόσο πολλών πλαισίων θα προέκυπτε και τεράστιο οικονομικό μέγεθος για την υλοποίηση μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Όσον αφορά τους συσσωρευτές της εν λόγω εγκατάστασης, επιλέχθηκαν συσσωρευτές της Fulmen-CEAC και συγκεκριμένα το μοντέλο TXE 900 / OPzS800. Ο συγκεκριμένος συσσωρευτής έχει ονομαστική τάση 2V και ονομαστική χωρητικότητα 909 Ah, όταν η διάρκεια εκφόρτισης είναι 10 ώρες. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στη συνδεσμολογία των συσσωρευτών, προκειμένου να επιτευχθεί η τάση λειτουργίας της συστοιχίας των συσσωρευτών, η οποία είναι 48V, πρέπει να τοποθετηθούν σε σειρά 24 τέτοιες μπαταρίες. Αντίστοιχα, για να επιτευχθεί η επιθυμητή χωρητικότητα της συστοιχίας, απαιτείται παράλληλη τοποθέτηση 16 συσσωρευτών. Συνολικά, θα απαιτηθούν 384 συσσωρευτές τέτοιου τύπου προκειμένου να υλοποιηθεί το αυτόνομο Φ/Β σύστημα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε μικτή σύνδεση των συσσωρευτών επειδή, τόσο η επιθυμητή τάση λειτουργίας, όσο και η επιθυμητή χωρητικότητα του συστήματος ήταν μεγαλύτερες από τις ονομαστικές τιμές της επιλεγείσας μπαταρίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μπαταρίας φαίνονται στην εικόνα 8.2.



Εικόνα 8.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή TXE 900/OPzS800

Οι διαστάσεις του συσσωρευτή θα καθορίσουν και το μέγεθος ολόκληρης της συστοιχίας. Για τον υπολογισμό του μεγέθους της συστοιχίας, πρέπει να προβλεφθούν οι κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ των συσσωρευτών, προκειμένου να μπορεί να γίνεται η περιοδική τους συντήρηση και να επιτυγχάνεται και ο απαραίτητος αερισμός τους. Η απόσταση αυτή ορίζεται σε 0,2 μέτρα μεταξύ δυο μπαταριών. Το συνολικό μήκος της συστοιχίας θα είναι:

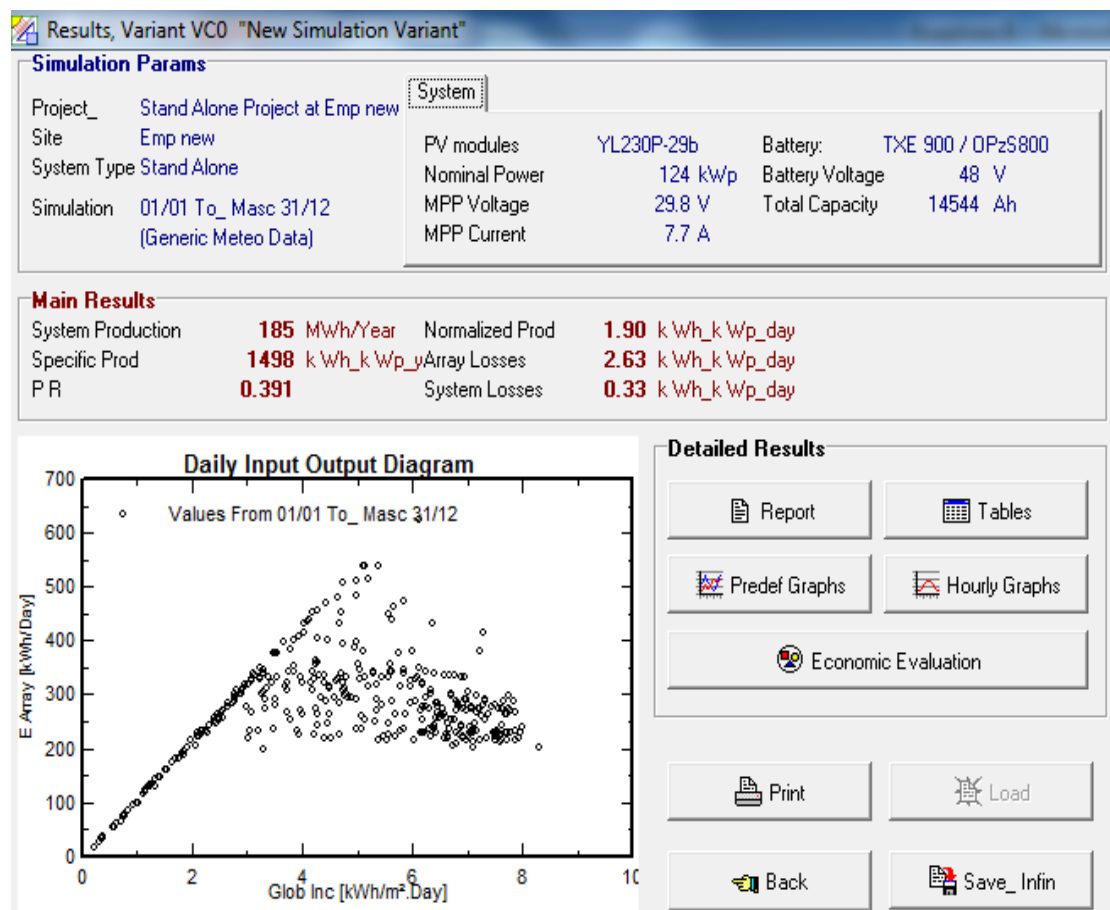
$$(24 \text{ συσσωρευτές} * 210\text{mm} / \text{συσσωρευτή}) + (23 * 200\text{mm}) = 9.640\text{mm} \text{ ή } 9,64\text{m}$$

Αντίστοιχα, το συνολικό πλάτος θα είναι:

$$(16 \text{ συσσωρευτές} * 190\text{mm} / \text{συσσωρευτή}) + (15 * 200\text{mm}) = 6.040 \text{ mm} \text{ ή } 6,04 \text{ m}$$

Το ύψος της συστοιχίας θα είναι **σχεδόν 0,7 μέτρα**, όσο δηλαδή και το ύψος κάθε συσσωρευτή. Συνολικά, λοιπόν, θα χρειαστεί ένας χώρος $9,64 * 6,04 = 58,23 \text{ m}^2$, προκειμένου να τοποθετηθούν οι συσσωρευτές. Πέρα από το πολύ μεγάλο μέγεθος του χώρου που απαιτείται, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση της συστοιχίας σε κατάλληλο χώρο, ώστε να υπάρχει επαρκής αερισμός. Ο λόγος είναι ότι κατά τη λειτουργία τους, οι μπαταρίες εκπέμπουν αέρια, τα οποία είναι επικίνδυνο να εισπνέονται από ανθρώπους. Η εύρεση ενός τέτοιου χώρου στο κτίριο της Πολυτεχνειούπολης δεν είναι εύκολη υπόθεση. Το συνολικό βάρος της συστοιχίας θα είναι $384 * 59 = 22.656$ κιλά ή 22,656 τόνοι.

Στην εικόνα 8.5 φαίνονται τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης αυτόνομης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Έτσι, για αυτή την εγκατάσταση, οι παραγόμενες κιλοβατώρες είναι 185 MWh/year και ο συντελεστής απόδοσης είναι 39,1%. Επίσης, φαίνεται ότι μπορεί να γίνει εξαγωγή πλήθους διαγραμμάτων και πινάκων, ικανά να διαλευκάνουν τις συνθήκες και τα αποτελέσματα της εφαρμογής που έχει δημιουργηθεί.



Εικόνα 8.5: Απεικόνιση αποτελεσμάτων PVsyst

Στη συνέχεια ακολουθούν τα αναλυτικά αποτελέσματα από το πρόγραμμα PVsyst.

PVSYST V5.57		10/07/12	Page 1/3										
Stand Alone System: Simulation Params													
Project_ :	Stand Alone Project at Emp new												
Geographical site	Emp new	Country	Greece										
Situation	Latitude 38.0°N	Longitude	23.8°E										
Time Defined As	Legal Time Time Zone U T+1	Altitude	190 m										
Meteo Data :	Emp new, Synth Hourly Data												
Simulation Variant :	New Simulation Variant												
	Simulation Date	10/07/12 08h12											
Simulation Params													
Coil Plane Orientation	Tilt	30°	Azimuth 0°										
P V Array Characteristics													
P V Module	Si-poly	Model YL230P-29b											
		Manufacturer Yingli Solar											
Nb Of P V Modules	In Series	2 Modules	In Parallel 269 Strings										
Total Nb Of P V Modules	Nb Modules	538	Unit Nom Power 230 Wp										
Array Global Power	Nominal S T C	124 k Wp	At Oper Cond 110 k Wp (50°C)										
Array Oper Characteristics	U_mpp	53 V	I_mpp 2081 A										
Total Area	Module Area	879 m²	Cell Area 786 m²										
P V Array Loss Factors													
Thermal Loss Factor	Uc_const	20.0 W/m²K	Uv_wind 0.0 W/m²K / m/s										
-> Nominal Oper Coil Temp (N O C T_ Gref_And_ T Ref)			N O C T 55 °C										
Wiring Ohmic Loss	Global Array Res	0.43 mOhm	Loss Fraction 1.5 P Cat S T C										
Module Quality Loss			Loss Fraction 1.5 %										
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 P Cat M P P										
Incidence Effect A S H R A E	I A M =	I A M Param	b0 Parameter 0.05										
System Parameter	System Type	Stand Alone System											
Battery	Model	TXE 900 / OPz8800											
	Manufacturer	Fulmen-CEAC											
Battery Pack Characteristics	Voltage	48 V	Nominal Capacity 14544 Ah										
	Nb Of Units	24 In Series x 16 In Parallel											
	Temperature	Fixed (20°C)											
Regulator	Model	Generic Default with MPPT converter											
	Technology	MPPT converter	Temp Coeff -5.0 mV/°C/elem.										
Converter	Maxl And E U R O Effic	96.0/94.0 %											
Battery Management Thresh	Charging	54.7/52.3 V	Discharging 47.0/50.4 V										
	Back Up Gen Command	47.3/51.6 V											
Users Needs :	Monthly Values												
January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	W	
-30968	-65696	-69224	-52080	-12200	-01280	-81760	-47264	-12720	-69224	-35840	-46780	-85016	W

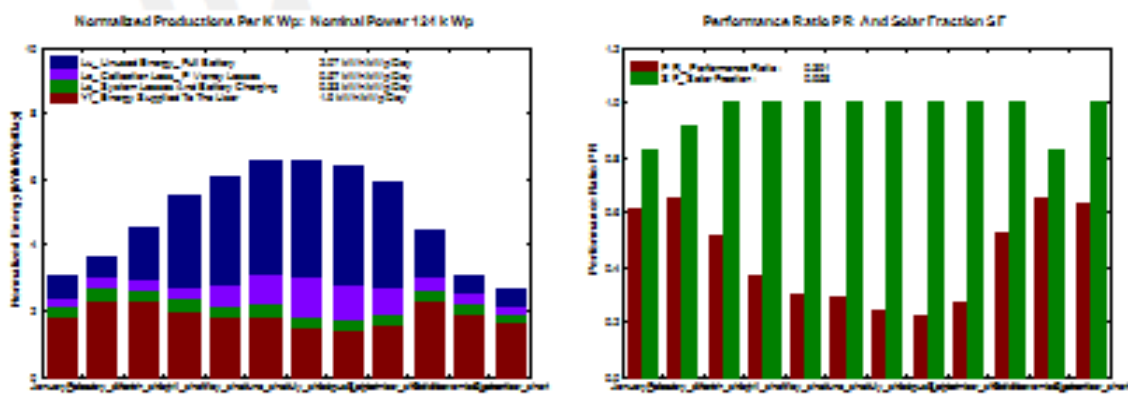
Εικόνα 8.6: Απεικόνιση σημαντικών παραμέτρων

Stand Alone System: Main Results

Project_ : Stand Alone Project at Emp new
Simulation Variant : New Simulation Variant

Main Sys Params	System Type	Stand Alone	
P V Field Orientation	Tilt	30°	Azimuth 0°
P V Array	Nb Of Modules	538	P Nom Total 124 k Wp
Battery	Model	TXE 900 / OPzS800	Technology Vented, Tubular
Battery Pack	Nb Of Units	384	Voltage Capacity 48 V / 14544 Ah
Users Needs	Monthly Values		Global 89.6 MWh/Year

Main Simul Res	Available Energy	185.4 MWh/Year	Specific Prod	1496 kWh/k Wp/Year
System Production	Used Energy	85.8 MWh/Year	Excess_ Unused	93.4 MWh/Year
Loss Of Load	Performance Ratio P R	39.1 %	Solar Fraction S F	95.8 %
	Time Fraction	3.5 %	Missing Energy	3.8 MWh/Year



New Simulation Variant Balances And Main Results

	GlobHor kWh/m²	GlobEF kWh/m²	E_Avail MWh	E_Unused MWh	E_Max MWh	E_User MWh	E_Load MWh	SolFrac
January	84.2	81.0	10.00	2.91	1.209	7.089	6.291	0.829
February	77.4	86.7	10.72	2.02	0.749	8.129	6.899	0.819
March	120.9	122.9	12.29	2.81	0.000	8.899	8.899	1.000
April	128.4	161.0	18.22	10.41	0.000	7.222	7.222	1.000
May	194.7	182.1	20.00	12.29	0.000	7.012	7.012	1.000
June	212.1	188.7	20.19	12.29	0.000	7.001	7.001	1.000
July	218.7	199.7	20.04	12.29	0.000	2.992	2.992	1.000
August	192.0	182.1	19.87	12.29	0.000	2.247	2.247	1.000
September	122.9	172.1	18.40	11.87	0.000	6.019	6.019	1.000
October	109.6	124.0	14.78	2.40	0.000	6.899	6.899	1.000
November	82.7	88.2	9.24	1.89	1.227	7.279	6.899	0.824
December	24.9	79.6	8.42	1.89	0.000	6.447	6.447	1.000
Year_lem	1620.2	1720.2	182.27	89.40	2.809	82.782	89.282	0.928

Legende: GlobHor Glob Hor E_Max E_Max
 GlobEF Glob EF E_User E_User
 E_Avail E_Avail E_Load E_Load
 E_Unused E_Unused SolFrac SolFrac

Εικόνα 8.7: Απεικόνιση των κυριότερων αποτελεσμάτων του συστήματος

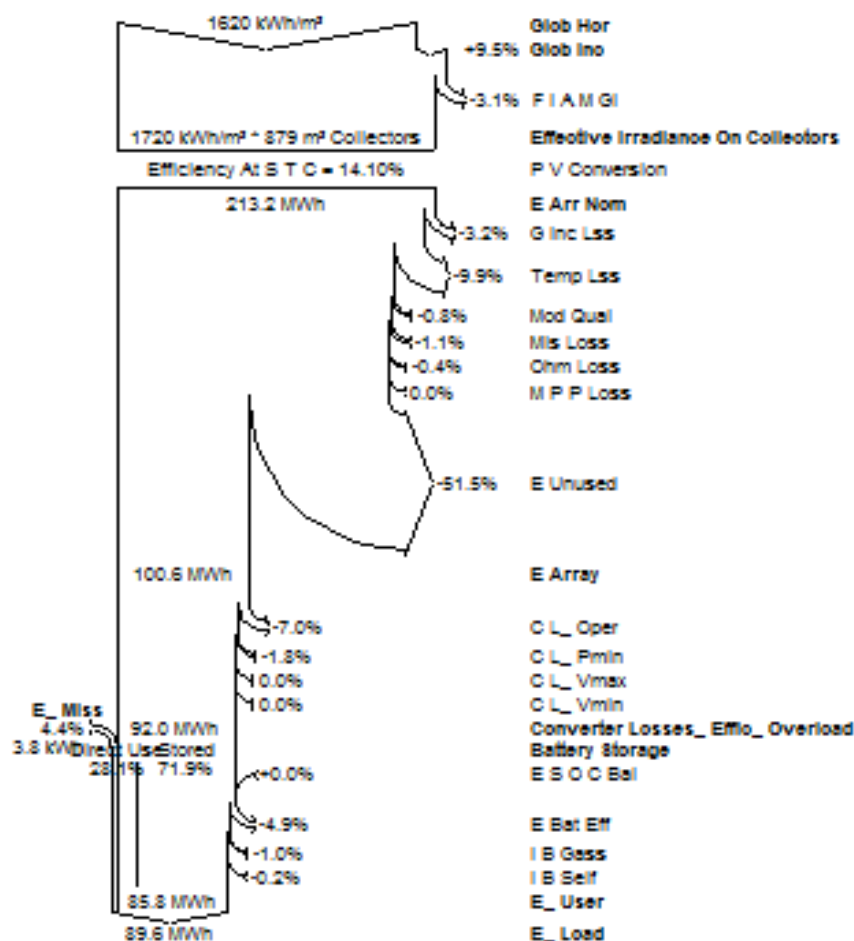
Stand Alone System: Loss Diagram

Project_ : Stand Alone Project at Emp new

Simulation Variant : New Simulation Variant

Main Sys Params	System Type	Stand Alone		
P V Field Orientation	Tilt	30°	Azimuth	0°
P V Array	Nb Of Modules	538	P Nom Total	124 k Wp
Battery	Model	TXE 900 / OPzS800	Technology	Vented, Tubular
Battery Pack	Nb Of Units	384	Voltage Capacity	48 V / 14544 Ah
Users Needs	Monthly Values		Global	89.6 MWh/Year

Loss Diagram Over The Whole Year



Εικόνα 8.9: Παρουσίαση των σημαντικότερων απωλειών του συστήματος

Κεφάλαιο 9^ο:

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο υπολογισμός και η σχεδίαση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για το νέο κτίριο των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου καθώς και η μελέτη βιωσιμότητας της εν λόγω επένδυσης. Ο σκοπός της εργασίας επιτεύχθηκε, αφού υπολογίστηκε με επιτυχία η ετήσια ενεργειακή απόδοση του συστήματος για όλη τη διάρκεια ζωής του, και τελικά η επένδυση αυτή κρίθηκε συμφέρουσα, με βάση τα οικονομικά κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά την εκπόνηση της εργασίας αντιμετωπίστηκαν συγκεκριμένα θέματα, που οδήγησαν στα παρακάτω συμπεράσματα.

Η βέλτιστη απόδοση του Φ/Β συστήματος για την περιοχή που βρίσκεται το κτίριο, στην οποία μελετήθηκε η εγκατάσταση, επιτυγχάνεται για γωνία κλίσης των πλαισίων 30 μοίρες και νότιο προσανατολισμό με μηδέν μοίρες αζιμούθιο. Προκειμένου, επίσης, να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του συστήματος, πρέπει να αποφεύγεται η σκίαση της εγκατάστασης, τόσο από εξωτερικά εμπόδια και κτίρια, όσο και από τα στοιχεία της ίδιας της εγκατάστασης. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, αφήνεται η κατάλληλη απόσταση μεταξύ των Φ/Β συστοιχιών της εγκατάστασης. Η απόσταση αυτή εξαρτάται άμεσα από την διάταξη των πλαισίων (οριζόντια ή κάθετη), η οποία καθορίζει και το ύψος της συστοιχίας. Η απόσταση που αφήνεται μεταξύ των σειρών των συστοιχιών είναι ανάλογη με το ύψος της συστοιχίας.

Η διάταξη των πλαισίων επηρεάζει άμεσα και την χωροθέτησή τους, στην διαθέσιμη επιφάνεια του δώματος, τηρώντας σε κάθε περίπτωση τους κανόνες χωροθέτησης της ισχύουσας νομοθεσίας. Για την διαθέσιμη επιφάνεια του κτιρίου, καταλληλότερη αποδείχθηκε η κάθετη διάταξη των πλαισίων, με την οποία προέκυψαν 152 πλαίσια συγκεκριμένων διαστάσεων. Κριτήριο επιλογής του αριθμού πλαισίων στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος, ήταν η βέλτιστη κάλυψη της διαθέσιμης επιφάνειας της ταράτσας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ετήσια παραγωγή ενέργειας, γι' αυτό και επιλέχθηκε η κάθετη διάταξη των πλαισίων.

Απαραίτητη, πριν την τοποθέτηση του συστήματος, είναι η μελέτη για αντοχή του συστήματος στην ανεμοπίεση και η μελέτη για την στατική αντοχή του μέρους που θα γίνει η εγκατάσταση. Επίσης, οι τιμές των ταχυτήτων των ανέμων στην περιοχή της Ξάνθης, είναι κατά πολύ μικρότεροι από την αντοχή των βάσεων στήριξη, οπότε η αντοχή του συστήματος και του κτιρίου κρίθηκαν επαρκείς.

Στην παράγραφο 7.6, μέσω των χαρακτηριστικών καμπυλών ρεύματος – τάσης, επιβεβαιώθηκε πως η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του πλαισίου, κάτι που συμβαίνει και με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του. Οι καλύτερες συνθήκες λειτουργίας του πλαισίου είναι όταν έχει υψηλή τάση και υψηλό ρεύμα, δηλαδή μέγιστη ισχύ. Όταν υπάρχει χαμηλή θερμοκρασία, το πλαίσιο έχει υψηλή τάση, άρα οι ιδανικές συνθήκες λειτουργίας των πλαισίων είναι σε χαμηλή θερμοκρασία και με πολύ ηλιοφάνεια. Επιδιώκεται, επίσης, ο καλός αερισμός των πλαισίων, ώστε να μην ανεβαίνει η θερμοκρασία τους και μειώνεται η τάση λειτουργίας τους.

Ο διαχωρισμός των πλαισίων σε στοιχειοσειρές, έγινε με γνώμονα την μεγαλύτερη δυνατή συμμετρία μεταξύ των φασικών ρευμάτων. Επίσης, συνυπολογίστηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφών, ώστε να μπορούν να λειτουργούν σε ιδανικές συνθήκες, σύμφωνα με το ρεύμα και τη τάση στην είσοδό τους. Έτσι, τα 96 πλαίσια, χωρίστηκαν σε 6 στοιχειοσειρές, με 16 πλαίσια η κάθε στοιχειοσειρά. Τα 6 strings, με τη σειρά τους, χωρίστηκαν σε 3 μονοφασικούς αντιστροφείς, κάθε ένας από τους οποίους θα παίρνει 2 παραλληλισμένα string στην είσοδό του. Χρησιμοποιώντας τρεις αντιστροφείς, με ίδιο αριθμό πλαισίων στον καθένα, επιτυγχάνεται απόλυτη συμμετρία μεταξύ των φασικών ρευμάτων. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τριφασικός αντιστροφέας, πετυχαίνοντας τα ίδια αποτελέσματα. Με τη βοήθεια, τέλος, του PVsyst, εκτιμήθηκε η συνολική παραγωγή ενέργειας από το εν λόγω σύστημα, σε περίπου 27 MWh ετησίως.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη βιωσιμότητας ενός διασυνδεδεμένου συστήματος, δείχνουν πως μια τέτοια επένδυση θα είναι οικονομικά συμφέρουσα και βιώσιμη για το πανεπιστήμιο. Η υπάρχουσα νομοθετική κατάσταση προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες και σε συνδυασμό με το άτοκο δάνειο και τις φορολογικές διευκολύνσεις αποτελεί μια προσοδοφόρα επένδυση. Όλα τα οικονομικά κριτήρια που υπολογίστηκαν συμφωνούν ως προς αυτό και παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 9.1.

Καθαρή Παρούσα Αξία	142.024,8€ €
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	18,83%
Περίοδο αποπληρωμής	7 έτη και 7 μήνες
Λόγος οφέλους-κόστους	1,98

Πίνακας 9.1: Κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων

Φυσικά, η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης, δεν είναι πάντα συμφέρουσα, αλλά εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο χρηματοδότησης αυτής και από την τιμή πώλησης της ενέργειας στη ΔΕΗ. Όφελος θα υπάρχει και **περιβαλλοντικά**, μιας και η παραγωγή ενέργειας από τα Φ/Β, και γενικά απ' τις ΑΠΕ, δεν ακολουθείται από εκπομπές ρυπογόνων παραγόντων.

Τέλος, ακολούθησε η ανάλυση του αυτόνομου συστήματος. Η διαστασιολόγηση του αυτόνομου συστήματος, προϋποθέτει την γνώση των ενεργειακών αναγκών που έχει το κτίριο και προέκυψε πως οι μέσες ημερήσιες ανάγκες του κτιρίου είναι 317 KWh. Κάτι τέτοιο δεν απαιτείται στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος, αφού οι ανάγκες καλύπτονται απ' ευθείας από το δίκτυο της ΔΕΗ. Στο όγδοο κεφάλαιο έγινε ο σχεδιασμός του αυτόνομου συστήματος και φάνηκε πως είναι μη υλοποιήσιμο, συγκριτικά με το διασυνδεδεμένο, τόσο με βάση οικονομικά, όσο και χωροθετικά κριτήρια. Στον πίνακα 9.2, φαίνεται ο απαραίτητος εξοπλισμός για την υλοποίηση καθενός σεναρίου.

	Σενάριο 1: Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Σενάριο 2: Αυτόνομο σύστημα
Ισχύς (KW)	35	124
Πλαίσια	152	538
Αντιστροφείς	3	134
Συσσωρευτές	-	384
Βάσεις στήριξης	76	269

Πίνακας 9.2: Συγκριτική απεικόνιση του εξοπλισμού των δύο σεναρίων για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Αυτό ήταν αναμενόμενο, μιας και οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου είναι αρκετά μεγάλες. Συνήθως, η χρήση αυτόνομων συστημάτων γίνεται σε περιπτώσεις που το κτίριο βρίσκεται μακριά από το δίκτυο ή έχει μικρές ή εποχικές ανάγκες, όπως μια εξοχική κατοικία. Επίσης, η χρήση αυτόνομου συστήματος είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις όπου το κτίριο είναι στη φάση του σχεδιασμού και όχι σε υπάρχον κτίριο, επειδή απαιτεί την αλλαγή ολόκληρης της ενεργειακής φιλοσοφίας της κατασκευής. Μια ακόμα διαφορά με το διασυνδεδεμένο σύστημα, αποτελεί η ύπαρξη συσσωρευτών, προκειμένου να παρέχεται ενέργεια στο σύστημα σε περίπτωση νέφωσης.


Κεφάλαιο 10^ο:

Βιβλιογραφία

1. Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας <http://www.iea.org/>.
2. Εταιρία που δραστηριοποιείται στο χώρο των ΑΠΕ <http://www.ternaenergy.gr/>
3. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών <http://www.helapco.gr>
4. <http://www.solarpanelhosting.com>
5. <http://solargardens.org/>
6. Καγκαράκης Κωνσταντίνος, 1992, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία
7. Πέρδιος, Σ. Δ., 2007, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Εκδόσεις ΤΣΕΛΚΑ-4Μ ΕΚΔΟΤΙΚΗ.
8. Μαλαμής Βασίλης, 1999, Αυτόνομες Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας Μικρού & Μεσαίου Μεγέθους, Εκδόσεις "ΙΩΝ".
9. Steven J. Strong, William G. Scheller, 1993, The solar Electric House, Sustainability Press
10. Κ.Α.Π.Ε. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας), 2009, Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
11. www.michanikos.gr
12. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvqgis/>
13. Clean Energy Project Analysis Course www.retscreen.net
14. Μοσχάτος Α., «Ηλιακή Ενέργεια», ΤΕΕ, Αθήνα 1992
15. Κοιλιάκος Σ., «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών – Κώδικας – Εφαρμογές», Οκτώβριος 2010
16. Αρκούδης Γ., «Τεχνικοοικονομική Αξιολόγηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στην Ελλάδα», Οκτώβριος 2007
17. Κολλάρου Κ., «Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας σε Κτίρια», Ιούλιος 2011
18. Σωτήρχος Δ., «Εκτίμηση Δεικτών Ηλιακής Ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον», Μάιος 2009
19. http://morfolgia.arch.duth.gr/1o_etos/pdf/iliasmos.pdf
20. http://spirit16.blogspot.com/2009/09/blog-post_25.html
21. <http://el.wikipedia.org>
22. Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων ΤΕΕ, ΤΚΜ 2011
23. Δικτυακός τόπος του ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) www.ypeka.gr
24. Δικτυακός τόπος του ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας Α.Ε.) www.desmie.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ


Αρχικά αναφέρουμε τις τεχνικές προδιαγραφές των φωτοβολταϊκών μας πλαισίων της εταιρείας Yingli Solar.




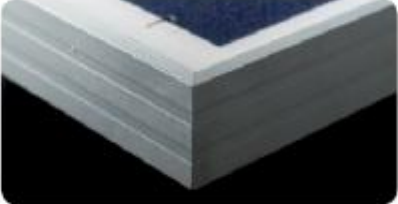
YINGLI SOLAR
Power Your Life

YL 235 P-29b / 1650x990 SERIES

YL 210 P-29b . YL 215 P-29b . YL 220 P-29b
YL 225 P-29b . YL 230 P-29b . YL 235 P-29b







YINGLI SOLAR

Η Yingli Solar (NYSE:YGE) συγκαταλέγεται στους κορυφαίους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών πάνελ στον κόσμο. Με πλήρη καθετοποίηση σε όλο το κύκλωμα παραγωγής, από την επεξεργασία της πρώτης ύλης του πυριτίου και την παρασκευή των Ingot, τον τεμαχισμό τους σε wafers, τη δημιουργία cells και έως την κατασκευή PV modules η Yingli Solar, επενδύοντας διαρκώς σε έρευνα και ανάπτυξη, έχει τον απόλυτο έλεγχο της ποιότητας. Μόνο έτσι μπορούμε να προσφέρουμε στους πελάτες μας προϊόντα εξαιρετικά μακράς διάρκειας ζωής και σταθερά υψηλής απόδοσης σε συνδυασμό και με την 25ετή εγγύηση* που τα συνοδεύει.

ΑΠΟΔΟΣΗ

- » Πολυκρυσταλλικές κυψέλες υψηλής απόδοσης και ειδικό γυαλί ασφαλείας προσφέρουν μεταξύ άλλων απόδοση πάνελ έως 14.4%, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους εγκατάστασης και τη μέγιστη απόδοση του συστήματος σε kWh ανά μονάδα επιφάνειας.
- » Ανοχή αποκλισης ισχύος +/-3% με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των απωλειών του φωτοβολταϊκού συστήματος.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ


- » Υψηλής αντοχής πλαίσιο από αλουμίνιο, ανθεκτικό στη διάβρωση και πιστοποιημένο για ανεμοπιέσεις 2.4kPa και φορτία χιονιού 5.4kPa, εγγυάται τη σταθερότητα και μεγάλη διάρκεια ζωής των πάνελ.
- » 5ετής εγγύηση προϊόντος και 25ετής εγγύηση ισχύος*.
- » Ειδική συσκευασία προστατεύει τα πάνελ κατά τη μεταφορά, ενώ η τοποθέτηση 20 πάνελ ανά συσκευασία συμβάλει στη μείωση του όγκου των σχετικών απορριμμάτων.
- » Τα πάνελ ελέγχονται από ανεξάρτητους διεθνείς οργανισμούς με βάση τις σχετικές προδιαγραφές και τα πρότυπα πιστοποίησης.
- » Οι παραγωγικές εγκαταστάσεις έχουν πιστοποιηθεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του συστήματος ISO9001 Quality Management System.

ΕΓΓΥΗΣΕΙΣ



5ετής εγγύηση προϊόντος*
Εγγύηση ισχύος*: 10 έτη χρήσης στο 90% της ελάχιστης ισχύος,
25 έτη χρήσης στο 80% της ελάχιστης ισχύος.

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΕΙΣ

IEC 61215, IEC 61730 Class A, CE, ISO 9001



- Qualified IEC 61215
- Safety tested IEC 61730
- Periodic Inspection

* Σύμφωνα με τους όρους εγγύησης

www.yinglisolar.com

YL 235 P-29b / 1650x990 SERIES

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε STC (1000 W/m², 25°C, AM 1.5 σύμφωνα με το EN 60904-3)

Τύπος πόνελ	YL 235 P-29b	YL 235 P-29c	YL 235 P-29d	YL 235 P-29e	YL 235 P-29f	YL 235 P-29g	
Ισχύς	[W]	210,0	215,0	220,0	225,0	230,0	235,0
Βολτμός ανοχής απόκλισης ισχύος	[%]	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3	+/- 3
Απόδοση του πόνελ	[%]	12,9	13,2	13,5	13,8	14,1	14,4
Μέγιστη τάση V _{mp}	[V]	28,5	29,0	29,0	29,5	29,5	29,5
Μέγιστο ρεύμα I _{mp}	[A]	7,37	7,41	7,59	7,63	7,80	7,97
Τάση ανοικτού κυκλώματος V _{oc}	[V]	36,0	36,0	36,5	36,5	37,0	37,0
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I _{sc}	[A]	7,95	8,00	8,15	8,28	8,40	8,54
Μέγιστη τάση συστήματος	[V]	1,000 VDC					

Θερμοκρασιακά Συντελεστές

Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης (NOCT)	[°C]	46 +/- 2
Θερμοκρασιακός συντελεστής β που ρεύματος βραχυκύκλωσης I _{sc}	[1/K]	+ 0,0006
Θερμοκρασιακός συντελεστής α της τάσης ανοικτού κυκλώματος V _{oc}	[1/K]	- 0,0037
Θερμοκρασιακός συντελεστής γ της ισχύος P _{mp}	[1/K]	- 0,0045

ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Διαστάσεις (μήκος [mm]/πλάτος [mm]/πάχος [mm])	1.650 / 990 / 50
Πάχος με κενό διακλώδωσης [mm]	50
Βάρος [kg]	19,8
Κενό διακλώδωσης (κατασκευαστής / βελθός προστασίας / αριθμός διαθλών)	OXI / IP65 / 6
Διαστάσεις κενού διακλώδωσης (μήκος / πλάτος / πάχος [mm])	151 / 122 / 25
Θετικό & αρνητικό καλώδιο (κατασκευαστής / μήκος [mm] / διατομή [mm ²])	OXI / 1,20 (90 Ø) / 4,0
Διάμετρο (κατασκευαστής/τύπος) βελθός προστασίας	NC / NC4 / IP67
Πρόσθιο κάλυμμα (υλικό/πάχος [mm])	γυαλί ασφαλείας, 3,6mm
Είδος κυψέλης (αριθμός/τεχνολογία)	60 / πολικρυσταλλικό / 156 x 156
Υλικό ενθελώωσης κυψέλης	Επιηλεκτρολυτικό (EVA)
Οπίσθιο κάλυμμα (υλικό/πάχος [mm])	Le - PET - PVDF / 0,287
Υλικό πλαίσιο	ανοξείδωτο κράμα αλουμινίου υψηλής αντοχής

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Θερμοκρασία λειτουργίας [°C]	- 40 έως + 85
Μέγιστη ανεμοτάση / Μέγιστο φορτίο χιονιά [Pa]	24K / 54K

ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ

Αριθμός των πόνελ ανά κβόξο	20
Μέγεθος κβόξου (μήκος [mm]/πλάτος [mm]/βύθος [mm])	1700 / 1140 / 1165
Μεταβό βάρους κβόξου σε κιλό	450
Κβόξο ανά παλετοφόρτο	1

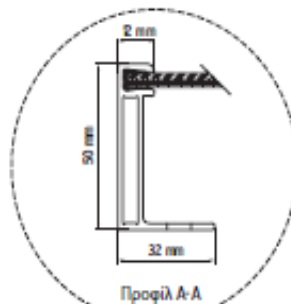
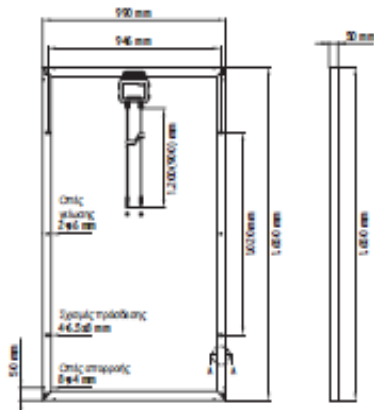
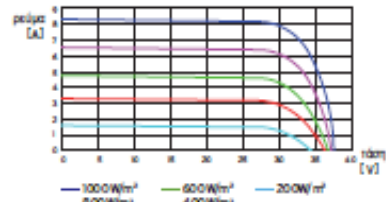
* Τα στοιχεία αυτά δεν αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο πόνελ και δεν είναι μέρος της προσφοράς. Τα στοιχεία αναφέρονται για να διευκολύνουν τη σύγκριση με άλλους τύπους πόνελ.

Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.
commerce@yinglisolar.com
0086 - (0)312 - 8929802

Υποκείμενο σε αλλαγές και λάθη

www.yinglisolar.com

IV ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



⚡ Ηλεκτρικός εξοπλισμός, παρακαλούμε όπως συνεννοηθείτε με την εταιρία εγκατάστασης.

Στη συνέχεια αναφέρονται τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα.



13. Technical data

Input (DC)	
Maximum recommended PV power	13300 W _p
Nominal power	11600 W
Maximum input voltage	1000 V
Feed-in input voltage range ¹⁾	400 ... 900 V
Full power MMP input voltage range	425 ... 800 V
Nominal current	19.5 A @ 600 V
Maximum operating current	29 A
Maximum current per string	29 A

¹⁾ Maximum input voltage without damage: 1000 V

Output (AC)	
Max. apparent power	11000 VA
Nominal apparent power	11000 VA
Voltage range (3-phase, 5-wire) ²⁾	3 x 400 V + N + PE (+18/-20%)
Nominal current	16 A (per phase)
Max. current	20 A
Nominal frequency	50 Hz
Frequency range ²⁾	50 Hz ± 5 Hz
Power factor (cos φ) ³⁾	> 0.99 @ nominal apparent power
Total harmonic distortion (THD)	< 3 % @ nominal apparent power
Night consumption	< 1.3 W
Typical leakage current	<3.5 mA

²⁾ AC voltage and frequency range will be programmed according to the individual country requirements

³⁾ Cos φ = 0.8 cap ... 0.8 ind

Technical data

Standards / directives

Protection degree ⁴⁾	IP65 / IP54
Safety class	1
Configurable trip parameters	Yes
Insulation monitoring	Yes
Overload behavior	Current limitation; power limitation
Anti-islanding protection / Grid regulation	DIN VDE 0126-1-1; RD 1663; RD 661; ENEL G.L. 2010; UTE 15712-1; Synergrid C10/11; EN 50438; G83/1-1; VDE AR N 4105 (LVD); BDEW (MVD)
EMC	EN61000-6-2; EN61000-6-3; EN61000-3-11; EN61000-3-12
Safety	IEC62103; IEC62109-1 / -2

⁴⁾ IP65 for electronics / IP54 for cooling area

Mechanical design

Size (L x W x D)	697 x 410 x 182 mm
Weight	39 kg
Cooling	Fan (plug & play)
AC connector	Amphenol C16/3
DC connector	3 pairs of Multi-Contact MC4
Communication interfaces	2 x RJ45 / RS485 + 1 x USB + 1 x I/O interface
DC switch	Integrated
Display	3 LEDs, 4-line LCD

General specification

Model name	SOLIVIA 11 EU G4 TR
Part number Delta	EOE48030329
Max. efficiency	96.5 %
Efficiency EU	96.0 %
Operating temperature	-25 ... +70 °C
Full power without derating	-25 ... +55 °C
Storage temperature	-25 ... +80 °C
Humidity	0 ... 95 %
Maximum operating altitude	2000 m above sea level

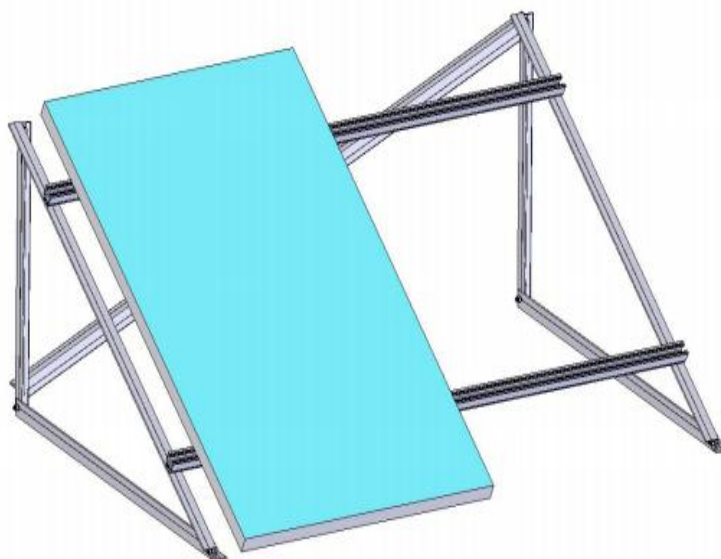
Τέλος, αναφερόμαστε στις βάσεις στήριξης.



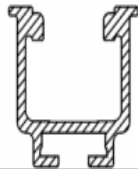
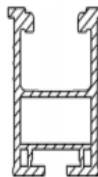
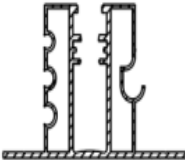
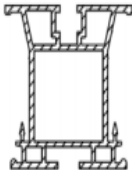
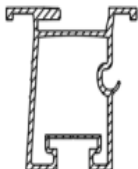
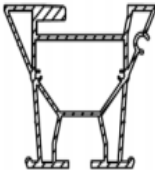
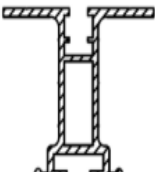
**ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
Φ/Β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ
(ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ Ή THIN FILM ΠΑΝΕΛ)**

- **ΑΓΡΟΣ**
- **ΤΑΡΑΤΣΑ**
- **ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ**
- **ΣΤΕΓΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ**


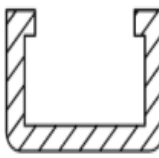
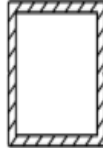
**SL RF P1
ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΡΑΤΣΑΣ ΓΙΑ PORTRAIT ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ
ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**



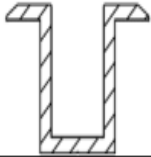
Σειρά προφίλ τεγίδων για τα συστήματα ENERGIA

ΑΡ.ΤΕΜ.	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΕΔΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	SL01		ΤΕΓΙΔΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ <u>ΡΟΤΡΑΙΤ</u> ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ <u>ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ</u>
2	SL11		ΤΕΓΙΔΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ <u>ΡΟΤΡΑΙΤ</u> ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ <u>ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ</u>
3	SL61		ΤΕΓΙΔΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ <u>ΡΟΤΡΑΙΤ</u> Ή <u>LANDSCAPE</u> ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ <u>ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ</u> ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΤΕΓΗ
4	SL101		ΤΕΓΙΔΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ <u>LANDSCAPE</u> ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ <u>ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ</u>
5	SL301		ΤΕΓΙΔΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ <u>THIN FILM ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ</u> <u>HELIOSPHERA</u>
6	SL306		ΤΕΓΙΔΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ <u>THIN FILM ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ</u> <u>HELIOSPHERA</u>
7	SL308		ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ



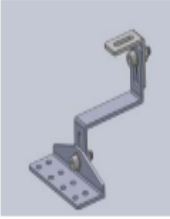
Εξαρτήματα Ολίσθησης και Ένωσης Τεγιδών

ΑΡ.ΤΕΜ.	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΕΔΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	SL06		ΚΑΤΩ ΕΝΩΤΙΚΟ ΤΕΓΙΔΩΝ SL01 ΚΑΙ SL11 (ΜΗΚΟΥΣ 100mm)
2	SL08		ΑΝΩ ΕΝΩΤΙΚΟ ΤΕΓΙΔΩΝ SL01 ΚΑΙ SL11 (ΜΗΚΟΥΣ 400mm)
3	SL103		ΕΝΩΤΙΚΟ ΤΕΓΙΔΩΝ SL101 ΚΑΙ SL309 (ΜΗΚΟΥΣ 400mm)

Ενωτικά Κρυσταλλικών Συλλεκτών

ΑΡ.ΤΕΜ.	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΕΔΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	SL02		ΜΕΣΑΙΟ ΕΝΩΤΙΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ
2	SL35 SL40 SL42 SL46 SL50		ΑΚΡΑΙΟ ΕΝΩΤΙΚΟ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟ ΓΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΠΑΧΟΥΣ 35mm, 40mm, 42mm, 46mm, 50mm

Εξαρτήματα Εγκατάστασης σε Στέγη

ΑΡ.ΤΕΜ.	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΣΧΕΔΙΟ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	SL T200 SL T250 SL T300		Ανοξείδωτο Εξάρτημα Στήριξης Σκεπής με Παρελκόμενα και Άκρο Σύσφιξης (Μήκη 200-250-300 mm) (Στην τιμή περιλαμβάνεται INOX ΤΑΥ Μ10Χ30 INOX παξιμάδι-γκρόβερ)
2	SL P200 SL P250 SL P300		Ανοξείδωτο Εξάρτημα Στήριξης Πάνελ με Παρελκόμενα (Μήκη 200-250-300 mm) (Στην τιμή περιλαμβάνεται INOX ΤΑΥ Μ10Χ30 INOX παξιμάδι-γκρόβερ)
3	SLZ1		Ανοξείδωτο Εξάρτημα Στήριξης Τύπου Z για Στέγη, Ρυθμιζόμενο σε 2 Διευθύνσεις. (Απαιτείται σήκωμα των κεραμιδιών και επανατοποθέτησή τους)