



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Τεχνικο-οικονομική διερεύνηση φωτοβολταϊκών για οικιακή χρήση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος, Γρηγορίου Παναγόπουλος

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Τεχνικο-οικονομική διερεύνηση φωτοβολταϊκών για οικιακή χρήση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος, Γρηγορίου Παναγόπουλος

Επιβλέπων : Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 28η Φεβρουαρίου 2011.

.....
Μ.Π. Ιωαννίδου
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Τσαραμπάρης Παναγιώτης
Λέκτορας ΕΜΠ

.....
Θεωδόρου Νικόλαος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....

Δημήτριος, Γρηγορίου Παναγόπουλος

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

Copyright © Δημήτριος, Γρηγορίου Παναγόπουλος
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη:

Η παρούσα εργασία, πραγματεύεται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, και κυρίως ότι έχει να κάνει με την εγκατάστασή τους σε κτήρια. Αναλύονται τα τεχνικά-κατασκευαστικά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά την εγκατάσταση, την χρήση αλλά και την αξιοποίηση των Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στο κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας αλλά και επισκευής των συγκεκριμένων διατάξεων. Το κάθε τμήμα αναλύεται διεξοδικά και σε βάθος.

Αναλυτικότερα, στο 1^ο κεφάλαιο, γίνεται μια πρώτη επαφή με την έννοια “φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια”. Γίνεται μια σύντομη αναδρομή της χρήσης αυτού του όρου στο παρελθόν, την χρήση τους σήμερα, αλλά καταγράφονται και μερικές προβλέψεις για το μέλλον. Αναφέρονται επίσης συνοπτικά στατιστικά στοιχεία της ελληνικής αγοράς, αλλά και μερικά στοιχεία της ενεργειακής πολιτικής της χώρας μας.

Στο 2^ο κεφάλαιο, έχουμε την ανάλυση-επεξήγηση του όρου “ηλιακή ακτινοβολία”. Γίνεται λόγος για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας και τα είδη της. Επίσης, παραθέτονται στοιχεία για την αξιοποίηση της Φωτοβολταϊκής ενέργειας αλλά και την διασύνδεση της με το οικονομικό όφελος.

Στην συνέχεια, στο 3^ο κεφάλαιο, έχουμε την αναλυτική περιγραφή των φωτοβολταϊκών. Αναλύονται οι κατασκευαστικές του λεπτομέρειες, οι τρόποι διασύνδεσης τους, αλλά γίνεται και μια γενική τεχνική-κατασκευαστική περιγραφή του Φωτοβολταϊκού πλαισίου. Τέλος, καταγράφεται η γενική μορφή του Φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στο επόμενο κεφάλαιο, 4^ο, αναλύεται ο τεχνικός εξοπλισμός, οι τρόποι αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και ο τρόπος διαχείρισης της ισχύος στα Φωτοβολταϊκά συστήματα. Παραθέτονται αναλυτικά όλα τα τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών αλλά γίνεται και εκτενής αναφορά στα ηλεκτρονικά των Φωτοβολταϊκών, δηλαδή στους ελεγκτές φόρτισης των συσσωρευτών αλλά και στους μετατροπείς.

Στο 5^ο κεφάλαιο, γίνεται μια αρκετά εκτενής έρευνα αγοράς, σε όλες τις μεγάλες εταιρίες πώλησης φωτοβολταϊκών, και καταγράφονται οι τιμές των προσφορών των εταιριών αυτών, όπως έχουν στο παρόν έτος.

Στο 6^ο κεφάλαιο, επικεντρωνόμαστε στην οικιακή χρήση των φωτοβολταϊκών, αναλύοντας όλα τα τεχνικά μεγέθη της εγκατάστασης τους για την εν λόγω χρήση.

Της τεχνικής ανάλυσης, έπεται η οικονομική ανάλυση. Η εν λόγω ανάλυση πραγματοποιείται στο 7^ο κεφάλαιο.

Στο 8^ο κεφάλαιο, έχουμε τον προσδιορισμό του αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος, το οποίο απαιτεί κάποιες μέρες αυτονομίας λόγω διαφόρων συνθηκών, κυρίως καιρικών. Αναλύεται η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της συστοιχίας αυτής για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μας. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος υπολογισμού της χωρητικότητας του συσσωρευτή για να έχουμε την αυτονομία που χρειαζόμαστε.

Στο 9^ο κεφάλαιο, γίνεται μια εφαρμογή των όσων έχουμε αναλύσει, ώστε να υπολογίσουμε το κόστος της Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε μια οικία.

Τέλος ακολουθεί ένα παράρτημα, στο οποίο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα στοιχεία για την εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών σε σπίτια, όπως αυτά αναγράφονται στο φυλλάδιο οδηγιών που έχει εκδόσει το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Περιεχόμενα:

Κεφάλαια:

1. Εισαγωγή	9
1.1 Παρόν-Παραλθόν-Μέλλον	9
1.2 Φωτοβολταϊκή Ηλεκτρική Ενέργεια	10
1.3 Βασικά στοιχεία και λίγοι ορισμοί	11
1.4 Η Φωτοβολταϊκή ενέργεια παγκοσμίως και στην Ελλάδα	12
1.5 Ενεργειακή πολιτική της χώρας μας.....	12
2. Ηλιακή ακτινοβολία	14
2.1 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	14
2.2 Φάσμα Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	14
2.3 Ημερήσια Ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο.....	15
2.4 Ηλιοφάνεια	15
2.5 Δυνατότητα αξιοποίησης της Φωτοβολταϊκής ενέργειας	15
2.6 Οικονομική πλευρά Φωτοβολταϊκής ενέργειας	16
3. Αναλυτική περιγραφή Φωτοβολταϊκών	17
3.1 Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	17
3.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου	17
3.3 Κατασκευαστικές λεπτομέριες Φωτοβολταϊκών στοιχείων	19
3.4 Μείωση κόστους Φωτοβολταϊκών με την εξέλιξη της τεχνολογίας	19
3.5 Τρόπος σύνδεσης Φωτοβολταϊκών στοιχείων	19
3.6 Τεχνική-Κατασκευαστική περιγραφή Φωτοβολταϊκού στοιχείου	20
3.6.1 Κατασκευαστικά στοιχεία	20
3.6.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού πλαισίου	21
3.6.3 Ονομαστική ισχύς Φωτοβολταϊκού πλαισίου συνθήκες κανονικής λειτουργίας	24
3.6.4 Απόδοση Φωτοβολταϊκού πλαισίου και παράγοντες που την επηρεάζουν	25
3.6.5 Κατανομή θερμοκρασίας στο Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	27
3.6.6 Πρόβλημα σκίασης ή βλάβη στοιχείου	27
3.6.7 Επιμερισμός κόστους κατασκευής Φωτοβολταϊκού πλαισίου	28
3.7 Το Φωτοβολταϊκό σύστημα	29
3.8 Βασική μορφή Φωτοβολταϊκού συστήματος	30
4. Τεχνικός εξοπλισμός-Αποθήκευση Ηλεκτρικής ενέργειας-Διαχύριση Ισχύος	31
4.1 Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές	31
4.1.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή	37
4.1.2 Συσσωρευτές μολύβδου-θεικού οξέως.....	32
4.1.3 Τεχνικά στοιχεία συσσωρευτών	32
4.2 Τα ηλεκτρονικά των συσσωρευτών	36
4.2.1 Ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή	36
4.2.2 Μετατροπείς (Converters)	37

5. Έρευνα Αγοράς Φωτοβολταϊκών	39
6. Τεχνικά μεγέθη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών για οικιακή χρήση	49
6.1 Σημαντικοί δείκτες	49
6.2 Ισοδύναμος χρόνος ηλιοφάνειας και αποδοτικότητας	57
6.3 Υπολογισμός ισχύος αιχμής	58
6.4 Ενεργειακά στοιχεία Φωτοβολταϊκού δυναμικού ενός τόπου	60
6.5 Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτών	63
6.6 Οριακές τιμές βάθους εκφόρτισης συσσωρευτή	66
6.7 Καθορισμός Φωτοβολταϊκής συστοιχίας	69
7. Οικονομικά στοιχεία εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών για οικιακή χρήση	74
8. Προσδιορισμός Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος με απαίτηση αυτονομίας ορισμένων ημερών	78
8.1 Ισχύς αιχμής συστοιχίας για κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων n-συννεφιασμένων ημερών	78
8.2 Χωρητικότητα συσσωρευτή με βάση την ανάγκη αυτονομίας	80
8.3 Κόστος ενέργειας ανάλογα με τις μέρες αυτοδυναμίας	81
9. Παράδειγμα υπολογισμού Φωτοβολταϊκού συστήματος οικιακής χρήσης	82
Παράρτημα	89
1. Βασικές Πληροφορίες.....	89
1.1 Τοποθεσία εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού συστήματος	89
1.2 Προσανατολισμός Φωτοβολταϊκών πλαισίων	89
1.3 Πρόβλημα σκίασης	91
1.4 Στατική μελέτη και Υλικά στοίριξης	93
1.5 Χώρος έδρασης ηλεκτρικών μετατροπέων	94
2. Γείωση αντιστροφέα.....	95
3. Προστασία από υπερτάσεις/ αντικεραυνική προστασία	98
4. Οδηγίες για την ασφάλεια του κοινού	100
5. Μέτρα περιορισμού κινδύνου ηλεκτροπληξίας κατά την εγκατάσταση ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος	101
6. Ελάχιστες απαιτήσεις-Προδιαγραφές εξοπλισμού	103
Έντυπα περιγραφής Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης	104
10. Βιβλιογραφία	109

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΑΡΕΛΘΟΝ, ΠΑΡΟΝ, ΜΕΛΟΝ

Η πρώτη παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου έγινε το 1839 , από τον πειραματικό φυσικό Endmund Becquerel, σε ηλεκτρολυτικά υγρά. Πέρασαν περισσότερο από εκατό χρόνια παρατηρήσεων και πειραματικών προσπαθειών για την ανάδειξη της σημασίας και του ρόλου του φαινομένου αυτού και την αξιοποίηση του για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το 1954, παρασκευάστηκε η πρώτη φωτοβολταϊκή κυψελίδα κρυσταλικού Πυριτίου, με επαφή ημιαγωγών, με απόδοση 4,5% και μετά από μερικούς μήνες 6%, από τους D.M. Chapin, C.S. Fuller και G.L. Pearson. Έκτοτε εντατικοποιήθηκαν οι προσπάθειες για δημιουργία Φωτοβολταϊκών στοιχείων υψηλής και σταθερής απόδοσης. Σήμερα, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχει φτάσει σε υψηλά επίπεδα ωριμότητας, που προδιαγράφουν με σιγουριά της ευρεία διείσδυση τους, μέσα στην τρέχουσα δεκαετία, στο ενεργειακό δυναμικό κάθε χώρας. Ως πηγές ενέργειας έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά την αέναη, αποδοτική και εξαιρετικά ήπια και φιλική προς το περιβάλλον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, έχει δοθεί σημαντική βαρύτητα τόσο στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης της τεχνολογίας του βασικού κυττάρου μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, όσο και της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, που συμπληρώνουν μια ολοκληρωμένη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Την προηγούμενη δεκαετία, πολλές από τις χώρες αυτές προχώρησαν στην υλοποίηση πιλοτικών προγραμμάτων Φωτοβολταϊκών εφαρμογών μεγάλης κλίμακας, με στόχο την απόκτηση σχετικής τεχνογνωσίας και την προετοιμασία τους για δραστηριοποίηση σε έργα αντίστοιχα μεγάλης κλίμακας.

Στην χώρα μας, παρά το υψηλό ηλιακό δυναμικό, το μη ενθαρρυντικό, μέχρι πρότινος, θεσμικό πλαίσιο για τα φωτοβολταϊκά, σε συνδιασμό με το υψηλό, προς το παρόν, κόστος τους, περιόριζε το ενδιαφέρον των πολιτών για την τεχνολογία αυτή. Πρόσφατα, η θέσπιση ευνοϊκότερου νομοθετικού πλαισίου για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και ιδιαιτέρως για τα Φωτοβολταϊκά, αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον του κοινού, τόσο για αυτοπαραγωγή όσο και για επενδύσεις μεγάλης κλίμακας.

Παράλληλα, οι υψηλοί ρυθμοί εργοστασιακής παραγωγής Φωτοβολταϊκών πλαισίων διεθνώς καθώς και οι αυξανόμενοι ρυθμοί εγκατάστασης τους σε παγκόσμια κλίμακα, ενισχύουν την προοπτική ανάπτυξης νέων επαγγελματικών δραστηριοτήτων στο συγκεκριμένο τομέα. Στα πλαίσια αυτής της προοπτικής, η συμβολή των τριτοβάθμιων εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της χώρας μας θα είναι καθοριστική στους τομείς της εκπαίδευσης και της τεχνολογικής έρευνας και ανάπτυξης.

1.2 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι γενικά, ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Σήμερα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η βιομηχανική παραγωγή έχει προωθηθεί, είναι αυτά που βασίζονται στη δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρωμάτων σε επαφή. Συνήθως, τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετράγωνης πλάκας, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου.

Όταν το φωτοβολταϊκό στοιχείο φωτίζεται προκαλείται στο εσωτερικό του ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρεύμα), ανάλογο της πυκνότητας ισχύος του ηλιακού φωτός, που προσπίπτει στην επιφάνεια του. Η αναπτυσσόμενη σε ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο, συνεχής ηλεκτρική τάση ανοιχτού κυκλώματος, βρίσκεται στην περιοχή των 0,5 έως 0,7 V, ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή των 10 έως 40 mA/cm², για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 kW/m²

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων αναπτύχθηκε ραγδαία το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, παρ' ότι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είχε παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα. Το 1954 ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου Πυριτίου Si, με σχηματισμό επαφής p-n, με διάχυση και με απόδοση 6%. Οι αρχικές εμπορικές κατασκευές, πολύ υψηλού κόστους (1000\$/Wp), με σχετικά μικρή απόδοση 5-10%, παρασκευάζονταν από κρυσταλλικά υλικά, κυρίως από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si).

Σήμερα οι αποδόσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων από κρυσταλλικό πυρίτιο, βρίσκονται περί το 22%, για φωτοβολταϊκά πλαίσια διαστημικών κατασκευών, και στο διάστημα 14-18% για βιομηχανική-οικιακή χρήση, το δε κόστος των τελευταίων κυμαίνεται περί τα 4-5€/Wp (peak Watt) για εγκαταστάσεις μικρών συστημάτων μεγέθους μέχρι μερικά KWp. Στις εγκαταστάσεις σχετικά μεγάλης ισχύος αιχμής, το κόστος αγοράς φωτοβολταϊκών πλαισίων ανά Wp, μειώνεται σε συνάρτηση με το μέγεθος του συστήματος. Σε μεγάλα συστήματα, άνω του MWp, το κόστος αυτό μειώνεται σχεδόν στο ήμισυ του αντίστοιχου των εγκαταστάσεων μικρής ισχύος.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η τάση μείωσης του κόστους βιομηχανικής παραγωγής των φωτοβολταϊκών στοιχείων, οδήγησε στη χρησιμοποίηση οικονομικότερων μεθόδων παρασκευής του βασικού φωτοαγωγικού υλικού. Οι μέθοδοι αυτές χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία πολύ λεπτών στρωμάτων ή υμενίων υλικού (films), κυρίως πυριτίου, σε επιμελημένα καθαρισμένη επιφάνεια, που επιτρέπει την πρόσφυση του αποτιθέμενου υλικού (άμορφο πυρίτιο, a-Si).

1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΛΙΓΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία (33...36) συνδέονται σε σειρά, ώστε, όταν η διάταξη αυτή φωτίζεται, να προκύπτει συνολική τάση ανοιχτού κυκλώματος (Open circuit) 17 έως 22 V. Το πλήθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιλέγεται έτσι ώστε να ταιριάζει με την απαιτούμενη τάση φόρτισης ενός κοινού ηλεκτρικού συσσωρευτή μολύβδου-θεικού οξέως, ονομαστικής τάσης 12V.

Η ολοκληρωμένη αυτή φωτοβολταϊκή διάταξη ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module), αποτελεί δε τη βασική μονάδα σύνθεσης μεγαλύτερων συστημάτων, που ονομάζονται συστοιχίες. Χρησιμοποιείται επίσης, σπανιότερα, η ορολογία, φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Photovoltaic generator), όταν αναφερόμαστε στο κύριο τμήμα του φωτοβολταϊκού σταθμού, το οποίο παράγει την φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια. Η εμπρός επιφάνεια του πλαισίου προστατεύεται από γυάλινη πλάκα, ενώ η πίσω πλευρά καλύπτεται από υγρομονωτική ουσία, υψηλής αντοχής στο χρόνο.

Η ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, κάτω από δεδομένη πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μέγιστη τιμή, όταν στα άκρα του καταναλωτής κατάλληλης αντίστασης. Η μέγιστη ισχύς σε καθορισμένες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας φωτοβολταϊκού στοιχείου, αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του και ονομάζεται ισχύς αιχμής. Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πλαίσια σε κρυσταλλικού πυριτίου σε ευρεία περιοχή τιμών ισχύος αιχμής.



Φωτοβολταϊκή συστοιχία από οικία στην περιοχή της Κηφισιάς Αττικής

1.4 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η παγκοσμίως εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων, από 313,5MWp το 1991, έφτασε τα 15,2GWp, στο τέλος του 2008, και έχει αυξηθεί κατά πολύ μέχρι σήμερα. Από αυτά τα 9,5GWp αφορούν σε εγκατεστημένη ισχύ στην Ευρώπη, τα 1,2 GWp στις ΗΠΑ και τα 2,2GWp στην Ιαπωνία. Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων το 2008 ανερχόταν σε 18,5MWp με στόχο 700 MWp στο τέλος του 2010.

1.5 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΣΤΗ ΧΩΡΑ ΜΑΣ

Στην χώρα μας, τα προγράμματα ανάπτυξης των ΑΠΕ υποστηρίζονται και προωθούνται από πλευράς επίσημης πολιτείας, από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), που είναι ερευνητικός φορέας εποπτευόμενος από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) του υπουργείου Ανάπτυξης, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Γραφεία, τη Δεή, τα Ιδρύματα Τεχνολογίας (ΤΕΙ), τα Πανεπιστήμια, την Τοπική Αυτοδιοίκηση κ.α.

Τον Ιούνιο του 2006 ψηφίστηκε ο νέος νόμος για Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας (ν. 3468/06), με ιδιαιτέρως ευνοϊκά κίνητρα σε ιδιώτες, αλλά κυρίως σε επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας.

Τα βασικά σημεία-κίνητρα του νέου νόμου είναι:

- ✚ Επιδοτείται η αρχική εγκατάσταση σε ποσοστό από 30% έως 55% της αξίας του συστήματος, ενώ επιδοτούμενο είναι και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού (Αναπτυξιακός νόμος 3299/04).
- ✚ Η τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας είναι 0,4-0,5 ευρώ ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Η τιμή είναι μεγαλύτερη στα νησιά και μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα.
- ✚ Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μια 20ετία, σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ.
- ✚ Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

Τον Ιανουάριο του 2009 ψηφίστηκε νέος νόμος για τα φωτοβολταϊκά (ν.3734/2009), όπου κυρίως τροποποιούνται άρθρα του προηγούμενου νόμου. Ρυθμίζονται θέματα αδειωδότησης και τιμολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς. Η σύμβαση εγγυημένης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας συνάπτεται για είκοσι (20) έτη, με τιμή αναφοράς από σχετικό πίνακα σταδιακά αποκλιμακούμενης τιμής της κιλοβατώρας μέχρι το 2014, που αντιστοιχεί στο μήνα και το έτος υπογραφής της σύμβασης. Δίδεται, επίσης, η δυνατότητα, μετά από κοινή υπουργική

απόφαση, εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια, με συμψηφισμό της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το δίκτυο και της καταναλισκόμενης απ' αυτό.

Οι προτάσεις για αδειοδότηση υποβάλλονται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), η οποία είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και έχει κυρίως γνωμοδοτικές και εισηγητικές αρμοδιότητες στον τομέα της ενέργειας.

Παρατηρείται, λοιπόν, σήμερα, μια αυξημένη δραστηριότητα στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ, που προοιωνίζει την αλματώδη ανάπτυξη και ενσωμάτωση τους στην ενεργειακή παραγωγή, μέσα στην πρώτη εικοσαετία του νέου αιώνα. Η αύξηση της ποσοστιαίας συμμετοχής των ΑΠΕ στη παγκόσμια ενεργειακή παραγωγή, θα επιφέρει δραστικό περιορισμό στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, που θα εκλείωνταν από την καύση ενεργειακά ισοδύναμης ποσότητας συμβατικών καυσίμων.

2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Πηγή: **Κ.Θ. Δέρβος**, Εισαγωγή στα ημιαγώγιμα υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις, Ε.Μ.Π. 2010

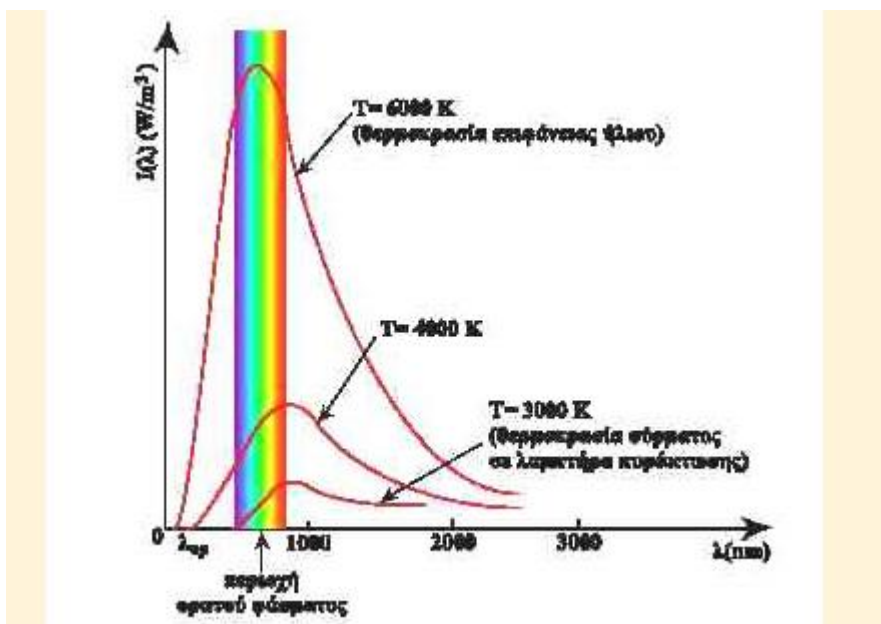
2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αποτελεί διαδιδόμενη διαταραχή συνδιασμένου ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Η ταχύτητα διάδοσης του ΗΜ κύματος στον κενό χώρο, προσεγγίζει τα 300.000 km/s.

2.2 ΦΑΣΜΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας είναι το γράφημα που δείχνει την κατανομή της έντασης της ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος.

✚ Φασματική κατανομή μέλανος σώματος



Η φασματική κατανομή της αφετικής ικανότητας $I(\lambda)$ για μέλαν σώμα σε διάφορες θερμοκρασίες. Η τιμή $\lambda_{0\mu\pi}$ είναι η τιμή που μηδενίζεται η αφετική ικανότητα για κάποια θερμοκρασία.

Πηγή φωτογραφίας: <http://www.physics4u.gr/articles/2002/blackbody.html>

2.3 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΛΑΒΗ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Η ενέργεια ανά m^2 , που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα, εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας, κατά την ημέρα εκείνη.

Προκειμένου, όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία, σε διεθνή κλίμακα, αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με την συλλεκτική τους επιφάνεια οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σεκάθε μήνα και μέσα σε κάθε έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. σε ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις που καλύπτουν περίοδο πολλών ετών (π.χ. 10 έως 30 ετών).

2.4 ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ

Εκτός από τη μέση ημερήσια ενέργεια από τον ήλιο σε μηνιαία και ετήσια βάση, σε οριζόντιο επίπεδο, χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνεια της. Αυτή εξαρτάται βεβαίως από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από την θέση και την διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά ίσως να ευνοούν την ανάπτυξη νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Στην Ελλάδα, η περιοχή με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας, στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3108 ετησίως).

2.5 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Παρά τη γενικότερη αποδοχή της φωτοβολταϊκής ενέργειας ως εξαιρετικά φιλικής προς το περιβάλλον, υπάρχει αμφισβήτηση ως προς τη δυνατότητα αξιοποίησης της σε εφαρμογές που απαιτούν σημαντική ισχύ. Ας διερευνήσουμε, λοιπόν, με βάση τα δεδομένα που διαθέτουμε για την ηλιακή ακτινοβολία και την ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, τη δυνατότητα ρεαλιστικής αξιοποίησης της τεχνολογίας αυτής. Η αντιμετώπιση της μειωμένης απόδοσης κατά την διάρκεια συνωφείας για μία ή μερικές μέρες, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα. Γενικά επιλέγονται λύσεις που βασίζονται είτε στη χρησιμοποίηση συσσωρευτών μεγαλύτερης χωρητικότητας σε συνδιασμό με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγος, είτε υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών-ανεμογεννήτριας, με ηλεκτροπαραγωγή ζεύγος.

Η μέση, ετήσια, ημερήσια ενέργεια ανά m^2 , από τον ήλιο, σε οριζόντιο επίπεδο, είναι, στην πλειονότητα των περιοχών της Εύκρατης και Τροπικής ζώνης, μεταξύ των $4-7 \text{ kWh/m}^2\text{d}$. Ας θεωρήσουμε ως αντιπροσωπευτική τιμή, την τιμή των $5 \text{ kWh/m}^2\text{d}$. Λαμβάνοντας υπόψιν ένα τυπικό συντελεστή 15%, για την ενεργειακή μετατροπή στα ΦΒ στοιχεία και ένα

συντελεστή συνολικής ενεργειακής μεταφοράς, ~50% , στην έξοδο της ΦΒ εγκατάστασης η εκμεταλεύσιμη μέση ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια είναι: ~0,4 kWh/m²d.

Για να συνειδητοποιήσουμε αν αυτή η ΦΒ απολαβή είναι ρεαλιστικά αξιοποιήσιμη, ας τη συγκρίνουμε με το τμήμα εκείνο, των ηλεκτρικών ενεργειακών απαιτήσεων ενός τυπικού ελληνικού νοικοκυριού, το οποίο είναι λογικό να απαιτήσουμε να καλυφθεί απ' αυτή. Η μέση ημερήσια κατανάλωση ενός τυπικού ελληνικού σπιτιού ανέρχεται σε , περίπου 15kWh, απ' τις οποίες οι 7kWh αφορούν στη λειτουργία της ηλεκτρικής κουζίνας. Η κατανάλωση αυτή μπορεί κάλλιστα, να εξασφαλιστεί οικονομικότερα και με συνέπεια προς της εξευγενισμένη παραγωγή της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, με χρήση φωταερίου, υγραερίου, φυσικού αερίου. Απομένουν 8kWh, για κάλυψη των υπολοίπων απαιτήσεων (π.χ. φωτισμού, ψυγείου, TV, πλυντηρίων ρούχων και πιάτων). Άρα, μια συλλεκτική επιφάνεια φωτοβολταϊκών στοιχείων, περίπου ~20m², εξασφαλίζει την απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια ενός τυπικού νοικοκυριού. Συμπερασματικά, η ημερήσια απολαβή από την απευθείας μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, φαίνεται να καλύπτει σχεδόν στο σύνολο τους τις αντίστοιχες απαιτήσεις οικιακής χρήσης ενέργειας, με εξαίρεση τις ενεργοβόρες καταναλώσεις.

2.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εξετάζοντας το θέμα της οικονομικής πλευράς, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι η δαπάνη παραγωγής 1kWh, από φωτοβολταϊκό σύστημα, βρίσκεται προς το παρόν, σε υψηλά επίπεδα, σε σύγκριση με την αντίστοιχη δαπάνη παραγωγής 1kWh συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας (από πετρέλαιο, κάρβουνο, πυρηνικά). Η εκ του προχείρου, όμως, σύγκριση του κόστους παραγωγής φωτοβολταϊκής και συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας, αποκρύπτει την πραγματική κατάσταση. Σύμφωνα με αυτήν, το ήδη επιβαρυνόμενο περιβάλλον καθώς και η δυσοίωνη προοπτική για την εξέλιξη των κλιματικών συνθηκών, έχουν την ρίζα τους στην καταχρηστική εκμετάλευση των συμβατικών καυσίμων. Ο κατάλογος των πάσης φύσεως επιδράσεων στον πλανήτη μας, από τη χρήση των συμβατικών καυσίμων, εκφρασμένος σε κόστος δαπανών υγείας και γενικότερης δαπάνης περιορισμού της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, ανεβάζουν το πραγματικό κόστος της συμβατικής κιλοβατώρας, σύμφωνα με σχετικές μελέτες, μέχρι και 70% επιπλέον της τρέχουσας τιμής της. Εξάλου, σύμφωνα με την προδιαγραφόμενη, με ρεαλιστικά στοιχεία, προοπτική μείωσης του κόστους βιομηχανικής παραγωγής των ΦΒ στοιχείων, μέσα στη δεκαετία που διανύουμε, η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια θα είναι πολύ προσιτή στο μέσο καταναλωτή.

3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

3.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το φως παράγει “ελεύθερα” ηλεκτρόνια και οπές, σ’όλη την έκταση των δύο σε επαφή ημιαγωγών. Όσα απ’αυτά δημιουργούνται μέσα και κοντά στην επαφή των υλικών, προωθούνται από το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο της επαφής, στα δύο άκρα της διάταξης, αντίστοιχα. Ο ρυθμός που παράγονται οι ελεύθεροι φορείς είναι τέτοιος ώστε, το ηλεκτρικό ρεύμα καθώς και η ηλεκτρική τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου να διατηρούνται σε πρακτικά αξιοποιήσιμα επίπεδα, όσον αφορά την αποδιδόμενη σ’έναν καταναλωτή ηλεκτρική ισχύ. Συνεπώς το φωτοβολταϊκό στοιχείο εμφανίζει χαρακτηριστικά πηγής ενέργειας, κατάλληλης για τροφοδοσία τυπικών ηλεκτρικών εφαρμογών. Συμπερασματικά, η συνεργασία των δύο αναφερθέντων παραγόντων, του ενδογενούς ηλεκτρικού πεδίου των δύο σε επαφή φωτοαγωγίμων υλικών και του φωτός, παράγει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Επαφή υλικών + Φως= Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το υλικό, που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των φωτοβολταϊκών κυψελίδων, είναι το Πυρίτιο (Si). Στην άμμο, το Πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του Πυριτίου (SiO₂). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή (99,99999% ή 7 εννιάρια, 7N) έως και πολύ υψηλή καθαρότητα (99,9999999% ή 9N). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής.

Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

Φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλικού Πυριτίου (Single-crystal Silicon)

Το βασικό υλικό είναι μονο-κρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (Wafer ~300μm). Η απόδοση τους, με τη μορφή κυψελίδας, κυμαίνεται από ~21% έως ~24%, ενώ με την μορφή των Φωτοβολταϊκών πλαισίων, μεταξύ 13 έως 18%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Χρώμα: Σκούρο μπλέ.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)

Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50μm. Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όρια τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Άρα, όσο μικρότερο είναι το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης Φωτοβολταϊκό στοιχείο, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού Φωτοβολταϊκού στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοση, η οποία κυμαίνεται από 17% έως ~20%, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως 14%, σε βιομηχανική μορφή Φωτοβολταϊκού πλαισίου. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υλιλή χρονική σταθερότητα. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας (Ribbon Silicon)

Δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περί το 13%. Μέθοδος υψηλού κόστους και, προς το παρόν, περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)

Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα 6 έως 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την Παρασκευή σύνθετων Φωτοβολταϊκών στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Για παράδειγμα, παρασκευάζονται Φωτοβολταϊκά στοιχεία από κράμα πυριτίου με Άνθρακα και Γερμάνιο, τριών επαφών, a-SiGe (~1,4 eV), a-SiC (1,85 eV), με σταθεροποιημένη απόδοση ~13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών Φωτοβολταϊκών στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες Φωτοβολταϊκών πλαισίων.

3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

- ✚ Η όψη του Φωτοβολταϊκού στοιχείου καλύπτεται από διαφανή ουσία (π.χ. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Si_3N_4 , MgF_2), η οποία χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο ώστε, για μια περιοχή μηκών κύματος, συνήθως γύρω στα 600nm, κοντά στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας (480nm), να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός (αντιανακλαστική επίστρωση).
- ✚ Το πάχος του φωτοβολταϊκού στοιχείου περιορίζεται, στην ενεργό περιοχή του, στην οποία δηλαδή, η απορροφούμενη Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δίδει το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αυτή, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι η περιοχή απογύμνωσης αυξημένη κατά το άθροισμα των μηκών διάχυσης κατά Debye, για τα ηλεκτρόνια και τις οπές, στα τμήματα που αυτά αποτελούν φορείς μειωνότητας, L_e και L_h .
- ✚ Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια συλλογής των φορέων, πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργό περιοχή. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του φωτοβολταϊκού και συνήθως αποτελείται, για λόγους κόστους και βάρους της διάταξης, από λεπτό και σχετικά πυκνό μεταλλικό πλέγμα.

3.4 ΜΕΙΩΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ - ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Το εμπορικό κόστος των Φωτοβολταϊκών στοιχείων, με την βιομηχανική τους μορφή (ΦΒ πλαίσιο), σε μονάδες €/W_p, μειώθηκε ραγδαία, όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω, από τα 1000 €/W_p, το 1956, στο επίπεδο των 3,2..4,8 €/W_p. Την ίδια χρονική περίοδο, οι χώρες με το χαμηλότερο κόστος Φωτοβολταϊκού πλαισίου ήταν η Γερμανία (2,9€/W_p), οι ΗΠΑ (3,25 €/W_p) και η Ιαπωνία (3,7 €/W_p). Παρά το σχετικό υψηλό κόστος των Φωτοβολταϊκών πλαισίων, σήμερα, αναμένεται μέσα στην δεύτερη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, ικανή μείωση του κόστους τους, ώστε το κόστος της Φωτοβολταϊκής κιλοβατώρας να καταστεί συγκρίσιμο με το τότε κόστος της κιλοβατώρας από συμβατικά καύσιμα.

3.5 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα, ανάλογα με τον επιδιωκόμενο σκοπό, κατά τρόπο ανάλογο της σύνδεσης των ηλεκτρικών πηγών.

- Η σύνδεση σε σειρά N , καθ'όλα όμοιων Φωτοβολταϊκών στοιχείων, οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοιχτού κυκλώματος ($V_{\text{toc}}=NV_{\text{oc}}$). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ($I_{\text{isc}}=I_{\text{sc}}$).

- Η παράλληλη σύνδεση N όμοιων Φωτοβολταϊκών στοιχείων, δίδει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοιχτού κυκλώματος $V_{\text{toc}}=V_{\text{oc}}$, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης έκαστου ($I_{\text{tsc}}=NI_{\text{sc}}$).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Αν τα συνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, τότε η συνολική διάταξη των N στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από την εικόνα που δώσαμε προηγουμένως. Στην περίπτωση της σύνδεσης σε σειρά, το στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλει στο κύκλωμα, πρακτικά, το δικό του ρεύμα.

3.6 ΤΕΧΝΙΚΗ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

3.6.1 Κατασκευαστικά στοιχεία

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο, μικρών διαστάσεων αποτελεί αντικείμενο έρευνας σε εργαστηριακό επίπεδο. Σε επόμενο στάδιο βιομηχανικής παρασκευής, η επιτυχής μεθοδολογία μεταφέρεται σε συσκευές-θαλάμους, μεγαλύτερου μεγέθους, οι οποίοι επιτρέπουν την Παρασκευή Φωτοβολταϊκών στοιχείων μεγαλύτερων διαστάσεων, με αυξημένο ρυθμό παραγωγής. Μετά την Παρασκευή της βασικής δομής του φωτοβολταϊκού στοιχείου, καλοουθεί η κοπή του στο επιθυμητό σχήμα, συνήθως τετραγωνικό, ώστε κατά τη σύνθεση τους σε μεγαλύτερη μονάδα, να αφήνουν μεταξύ τους την ελάχιστη με εκμεταλλεύσιμη επιφάνεια. Ένα σύνολο Φωτοβολταϊκών στοιχείων συνδέονται σε σειρά, ώστε να αποτελούν εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα, με επιθυμητά ηλεκτρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Τα βασικά κριτήρια των χαρακτηριστικών αυτών είναι:

- ✚ Για μεν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, η δυνατότητα συνδυασμού της μονάδας αυτής με συσσωρευτή τυπικής ονοματικής τάσης 12V, για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας,
- ✚ Για δε τις διαστάσεις της μονάδας, η ευκολία κατασκευής, μεταφοράς και ενσωμάτωσής τους σε σύνολα (συστοιχίες) καθώς και το μειωμένο κόστος αντικατάστασης της, στην περίπτωση βλάβης ή καταστροφής της.

Στην πράξη, ένα σύνολο Φωτοβολταϊκών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά, ώστε να εμφανίζουν συγκεκριμένη τάση ανοιχτού κυκλώματος, τοποθετούνται, σε επίπεδη γυάλινη πλάκα, υψηλής διαφάνειας, προσαρμοσμένης σε μεταλλικό πλαίσιο, υψηλής αντοχής, συνήθως από ανοδιώμενο αλουμίνιο. Το πίσω μέρος καλύπτεται από ειδικό πλαστικό υλικό, για προστασία από υγρασία. Η τελική κατασκευή πληροί ειδικές προδιαγραφές, ώστε να διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και επιπλέον την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία.

Η διάταξη αυτή αποτελεί την τυπική βιομηχανική μονάδα (module) και ονομάζεται **Φωτοβολταϊκό πλαίσιο** (Photovoltaic module). Αποτελεί την βασική δομική μονάδα κάθε μεγαλύτερης εγκατάστασης παραγωγής Φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή, της **Φωτοβολταϊκής συστοιχίας** (array). Σπανιότερα, χρησιμοποιείται ο όρος φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Photovoltaic Generator). Τυπικές τιμές ισχύος αιχμής ενός Φωτοβολταϊκού πλαισίου εμπορίου: από μερικά Wp έως 150 Wp. Διατίθενται επίσης σε μεγαλύτερες διαστάσεις, με περισσότερα Φωτοβολταϊκά στοιχεία, σε σειρά και παράλληλη εσωτερική σύνδεση, με τη μορφή σύνθετων διατάξεων, που χαρακτηρίζονται από υψηλή ισχύ αιχμής και συνήθως υψηλή τάση ανοιχτού κυκλώματος, κατάλληλες για ειδικές εφαρμογές.

Σήμερα, τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχουν τετραγωνικό σχήμα (mc-Si) ή τετραγωνικό με κομμένες τις γωνίες (κυψελίδες c-Si), ώστε να ελαχιστοποιείται η μη αξιοποιήσιμη επιφάνεια του Φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Όσον αφορά στην επιλογή του αριθμού των Φωτοβολταϊκών στοιχείων απ' τα οποία θα κατασκευαστεί το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αναφέρθηκε προηγουμένως ότι, αυτό έχει άμεση σχέση με την ονομαστική ηλεκτρική τάση 12V στους πόλους των ηλεκτρικών συσσωρευτών Pb/H₂SO₄, οι οποίοι κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά. Ο λόγος είναι ο εξής: Η Φωτοβολταϊκή συστοιχία αποδίδει την ενέργεια της με τη μέγιστη ισχύ, όταν φωτίζεται με ένα ήλιο (1 sun → 1kW/m²) και λειτουργεί στο λεγόμενο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ). Το σημείο αυτό, στην περίπτωση ενός Φωτοβολταϊκού πλαισίου, φροντίζουμε να αντιστοιχεί σε τάση που να καλύπτει τη φόρτιση του τυπικού ηλεκτρικού συσσωρευτή.

3.6.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η απόδοση του Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Αν θεωρήσουμε ότι πάνω στην επιφάνεια ενός Φωτοβολταϊκού στοιχείου εμβαδού S, προσπίπτει ισχύς HM ακτινοβολίας, P_{in}=E*S (incident), όπου E, η πυκνότητα ισχύος της. Το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος P_m, που αποδίδεται από το ΦΒ στοιχείο, στο αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος, προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας, P_{in}, καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής (energy conversion efficiency), n_c, του Φωτοβολταϊκού στοιχείου:

$$n_c = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}}$$

Η απόδοση του Φωτοβολταϊκού στοιχείου εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό, αυξάνεται με αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας, E

(διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία της κυψελίδας) και μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας. Η περισσότερο αποδοτική περιοχή ενεργειακού χάσματος είναι περί την τιμή 1,5eV.

Η ονομαστική τιμή της απόδοσης καθορίζεται κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC), την οποία συμβολίζουμε με $n_{c,STC}$. Τα εργαστήρια παρασκευής Φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και τα κέντρα πιστοποίησης των χαρακτηριστικών τους, αναφέρουν πάντα τις συνθήκες προσδιορισμού της απόδοσης τους. Σε συνθήκες διαφορετικές από τις πρότυπες, η τιμή του προσδιορίζεται από τη διαφορά $\theta_c - \theta_{STC}$, των θερμοκρασιών της κυψελίδας και της θερμοκρασίας αναφοράς (STC, 25°C) και από την πυκνότητα ισχύος, E , της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Η εξάρτηση αυτή, σε κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας, παρέχεται από τη σχέση:

$$n_c = n_T \cdot n_{c,STC}$$

Όπου ο παράγοντας n_T , που ονομάζεται συντελεστής ή παράγων θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου, εκφράζει την επίδραση της διαφοροποίησης της θερμοκρασίας της κυψελίδας, σε σχέση με την θερμοκρασία αναφοράς (25°C), στην απόδοση της.

Επίδραση της θερμοκρασίας στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η θερμοκρασία της κυψελίδας αυξάνεται κατά το φωτισμό της, εξαιτίας της μετατροπής, μέσα σ' αυτή, μέρους της ηλιακής ακτινοβολίας, σε θερμική ενέργεια (αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του υλικού). Τα επόμενα αφορούν σε Φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού Πυριτίου, περιγράφουν όμως τη γενικότερη συμπεριφορά των Φωτοβολταϊκών στοιχείων ανεξάρτητα από το υλικό παρασκευής και τον τύπο του. Σε συνθήκες χρήσης στο ύπεθρο, όπου το Φωτοβολταϊκό στοιχείο βρίσκεται ενσωματωμένο σε Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, η διαφορά θερμοκρασιών $\theta_c - \theta_a$, όπου το θ_c , η θερμοκρασία λειτουργίας της κυψελίδας και θ_a , η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα, αυξάνει σχεδόν γραμμικά, ως συνάρτηση της πυκνότητας της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, E , με τυπικό ρυθμό:

$$\frac{\theta_c - \theta_a}{E} \approx 30^\circ C / \frac{kW}{m^2}$$

Συνακόλουθα, μεταβάλλονται το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, V_{oc} .

$$I_{sc} = \frac{E}{E_{stc}} \cdot I_{sc, stc} \cdot (1 + \alpha_{I_{sc}} \cdot (\theta_c - \theta_{stc}))$$

$$\alpha_{I_{sc}} = \frac{dI_{sc}}{I_{sc} dT}$$

Όπου:

- ✓ $\alpha_{I_{sc}}$: ο θερμικός συντελεστής βραχυκύκλωσης του Φωτοβολταϊκού στοιχείου
- ✓ $I_{sc, stc}$: η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε stc
- ✓ E : η πυκνότητα ισχύος της ατινοβολίας
- ✓ $E_{stc} = 1000 \text{ W/m}^2$ και $T = 273 + \theta$

Σχέση περιγραφής εξάρτησης της τάσης ανοιχτοκύκλωσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου από την θερμοκρασία:

$$V_{oc} = V_{oc, stc} \cdot (1 + \beta_{V_{oc}} \cdot (\theta_c - \theta_{stc})) \cdot (1 + \delta(\theta_c) \cdot \ln\left(\frac{E}{E_{stc}}\right))$$

Όπου:

- ✓ $V_{oc, stc}$: τάση ανοιχτού κυκλώματος
- ✓ $\Delta(\theta_c)$: διορθωτικός παράγοντας της εξάρτησης της V_{oc} από την E
- ✓ Θερμικός συντελεστής τάσης ανοιχτού κυκλώματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου, με τυπικές τιμές: $-0,003 \dots -0,005 \text{ K}^{-1}$, και ενδεικτική τιμή αναφοράς: $\beta_{V_{oc}} = -0,004 \text{ K}^{-1}$.

$$\beta_{V_{oc}} = \frac{dV_{oc}}{V_{oc} dT}$$

Σχέση περιγραφής ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδεται από το Φωτοβολταϊκό στοιχείο, όταν λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος:

$$P_m = V_m \cdot I_m \approx \frac{E}{E_{STC}} \cdot P_P \cdot (1 + \gamma_{mp} \cdot (\theta_c - \theta_{STC}))$$

Όπου:

- ✓ Θερμικός συντελεστής μέγιστης ισχύος του φωτοβολταϊκού στοιχείου

$$\gamma_{mp} = \frac{dP}{P_m dT}$$

- ✓ Μέγιστη ηλεκτρική ισχύς σε πρότυπες συνθήκες

$$P_P = V_{m,STC} \cdot I_{m,STC}$$

3.6.3 Η ονομαστική ισχύς ενός Φωτοβολταϊκού πλαισίου. Συνθήκες κανονικής λειτουργίας.

Το κυριότερο τυπικό ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός Φωτοβολταϊκού πλαισίου, με βάση το οποίο θα αναζητηθεί στο εμπόριο, ώστε να καλύψει τις ανάγκες μια συγκεκριμένης Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης καθώς και η εμπορική του τιμή, καθορίζονται με βάση την έννοια της ισχύος αιχμής (peak power).

Είναι προφανές ότι ένα Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, τμήμα μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας εγκαταστημένης στο ύπεθρο, κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθ'όλο το έτος, βρίσκεται διαρκώς σε συνθήκες διαφορετικές απ'αυτές που αντιστοιχούν στον ορισμό της ισχύος αιχμής του. Κατά τη λειτουργία του Φωτοβολταϊκού πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες, η θερμοκρασία της Φωτοβολταϊκής κυψελίδας και φυσικά του φωτοβολταϊκού πλαισίου, είναι διαφορετική των 25°C και η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται, τυπικά, μεταξύ 0 έως 1200 W/m² (Ηλιακή σταθερά 1367 W/m²). Η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, κάθε στιγμή, είναι διαφορετική και μάλιστα κατά κανόνα μικρότερη της ισχύος αιχμής του.

Κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο, εκτός των στοιχείων που αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (ισχύς P_p , ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης και τάση ανοιχτού κυκλώματος), αναγράφεται η θερμοκρασία, την οποία αποκτά το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, που προσεγγίζουν μια μέση πραγματική κατάσταση. Αντιπροσωπευτική περιοχή των θερμοκρασιών αυτών: 45°C έως 50°C . Η θερμοκρασιακή αυτή περιοχή, αφορά, προσεγγιστικά, τη μέση θερμοκρασιακή κατάσταση του υλικού του Φωτοβολταϊκού στοιχείου του πλαισίου, στο χρονικό διάστημα 2-3 ώρες πριν και μετά το μεσημέρι μιας αίθριας καλοκαιρινής μέρας, σε μέσα γεωγραφικά πλάτη. Χαρακτηρίζεται ως ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας Φωτοβολταϊκής κυψελίδας και προσδιορίζεται κάτω από τις επόμενες συνθήκες:

- Το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο βρίσκεται σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος
- Η πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας: $G_{NOCT}=800 \text{ W/m}^2$
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα $\theta_a=20^{\circ}\text{C}$
- Μέση ταχύτητα ανέμου: 1 m/s

Όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα σε φορτίο, σε συνθήκες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας αέρα και ταχύτητας ανέμου, αυτές της κατάστασης NOCT, τότε η θερμοκρασία του, θ_c , είναι κατά τι μικρότερη ($\sim 3^{\circ}\text{C}$), σε σχέση μ'αυτή που αντιστοιχεί σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος. Η ελάττωση αυτή αιτιολογείται με βάση τη διατήρηση της ενέργειας.

Χαμηλή ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας Φωτοβολταϊκής κυψελίδας, αποτελεί ένδειξη ταχύτερης αποβολής προς το περιβάλλον, του μέρους εκείνου της ηλιακής ακτινοβολίας, που συμβάλει, ουσιαστικά, στην αύξηση της θερμοκρασίας του. Συνεπώς, όσο μικρότερη η τιμή της για λένα πλαίσιο, τόσο μικρότερη η μείωση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύος, σε σχέση με άλλο, ίδιας ισχύος αιχμής, του οποίου, όμως, η θερμοκρασία NOCT είναι μεγαλύτερη.

3.6.4 Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου και παράγοντες που την επιρεάζουν

✚ Συντελεστής απόδοσης του Φωτοβολταϊκού πλαισίου:

Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, Εμβαδού S , προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος, P_m , προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο, ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας $E \cdot S$, όπου E , η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του Φωτοβολταϊκού πλαισίου:

$$n_m = \frac{P_m}{E \cdot S}$$

Εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών παρασκευής του, τη θερμοκρασία των κυψελίδων και την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η τιμή αναφοράς του καθορίζεται σε συνθήκες STC. Σε συνθήκες διαφορετικές από τις πρότυπες, η τιμή του καθορίζεται από τη διαφορά $\theta_c - \theta_{STC}$, των θερμοκρασιών της κυψελίδας στη δεδομένη κατάσταση φωτισμού και στην κατάσταση STC, αντίστοιχα καθώς και από την πυκνότητα ισχύος E, της προσπίπτουσας Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Σήμερα η απόδοση των Φωτοβολταϊκών πλαισίων από κρυσταλικό πυρίτιο (c-Si), βρίσκεται στην περιοχή 14-18% ενώ σ'αυτά από άμορφο Πυρίτιο (a-Si:H), προηγούμενης γενιάς, δεν ξεπερνά το 6%. Νεότερης κατασκευής Φωτοβολταϊκά στοιχεία a-Si:H, τριών σε επαφή Φωτοβολταϊκών στοιχείων, εμφανίζουν εργαστηριακή απόδοση ~13%. Σε βιομηχανική μορφή έχει ανακοινωθεί η κατασκευή Φωτοβολταϊκών πλαισίων άμορφου Πυριτίου, τριών επαφών, με σταθερή απόδοση 10,2%, με σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής. Τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si), συνδιάζουν καλή ποιότητα κατασκευής, καλή απόδοση ~13-14% και μικρότερο κόστος κατασκευής από τα κρυσταλικά, με τα οποία έχουν τον ίδιο, περίπου, χρόνο ζωής.

Σημείωση:

Οι εταιρίες κατασκευής Φωτοβολταϊκών πλαισίων δίδουν σήμερα εγγύηση καλής λειτουργίας των Φωτοβολταϊκών πλαισίων c-Si, για περισσότερο από 30 χρόνια, για δε τα Φωτοβολταϊκά παλίσια του mc-Si, δίδουν εγγυήσεις για αντικατάσταση εκείνων των οποίων η απόδοση θα μειωθεί περισσότερο του 10% στη δεκαετία ή περισσότερο του 20% στα 25 χρόνια.

Επιγραμματική παρουσίαση των παραγόντων που επηρεάζουν το συντελεστή απόδοσης:

- ✓ Παράγων ή συντελεστής γήρανσης Φωτοβολταϊκού πλαισίου, $n_{\gamma,m}$
- ✓ Οπτικές ενεργειακές απώλειες
 - Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας Φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC
 - Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1,5 (Spectral losses)
 - Απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης
 - Απώλειες Χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
 - Καθαρότητα όψεως του Φωτοβολταϊκού πλαισίου

- ✓ Επίδραση θερμοκρασίας Φωτοβολταϊκής κυψελίδας
- ✓ Συντελεστής απωλιών στη δίοδο αντεπιστροφής, n_D

3.6.5 Κατανομή θερμοκρασίας στο Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Σε συνήθεις συνθήκες λειτουργίας του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, παρουσιάζονται διαφορές θερμοκρασιών από σημείο σε σημείο πάνω στην επιφάνεια του. Απεικόνιση του πεδίου θερμοκρασίας του Φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να γίνει με χρησιμοποίηση θερμογραφικής κάμερας. Γενικά, εμφανίζονται θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις στην έκταση του πλαισίου, με μέγιστη θερμοκρασία στο κέντρο κάθε Φωτοβολταϊκού στοιχείου της κεντρικής περιοχής και χαμηλότερες θερμοκρασίες περιμετρικά, ιδιαίτερα στις περιοχές που γειτνιάζουν με το μεταλλικό πλαίσιο.

3.6.6 Ένα σημαντικό τεχνικό πρόβλημα:

Το πρόβλημα της σκίασης ή βλάβης στοιχείου του πλαισίου. Διατάξεις προστασίας της λειτουργίας των Φωτοβολταϊκών πλαισίων:

Κατάσταση θερμής κυψελίδας (Hot Spot). Δίοδοι παράκαμψης.

Ένα τυπικό Φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από Φωτοβολταϊκά στοιχεία ίδιων, κατά το δυνατόν, ηλεκτρικών χαρακτηριστικών, συνδεδεμένων σε σειρά. Συναεπώς, η σκίαση ή βλάβη ενός και μόνο Φωτοβολταϊκού στοιχείου του, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του. Μια σκιασμένη κυψελίδα συμπεριφέρεται, κατά βάση, όπως η απλή δίοδος p-n, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις άλλες, τις “υγιείς”, μόνες τους ή σε συνδιασμό με την τάση των συσσωρευτών, στους οποίους πιθανόν συνδέονται, μια υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα Φωτοβολταϊκά στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση, μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της (Breakdown).

Στην πράξη τα τυπικά Φωτοβολταϊκά πλαίσια, που αποτελούνται συνήως από 36 Φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά, η σκιασμένη κυψελίδα λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια, που προσφέρουν οι υπόλοιπες. Παρατεταμένος σκιασμός της, σε συνδιασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων κυψελίδων, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμένου στοιχείου του.

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως κατάσταση «θερμής κυψελίδας» (Hot Spot) του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Για να αποτραπεί μια τέτοια εξέλιξη, το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους, οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των σε σειρά συνδεδεμένων Φωτοβολταϊκών στοιχείων

του πλαισίου, επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο Φωτοβολταϊκό στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί. Ονομάζονται δίοδοι παράκαμψης ΔΠ, (Bypass diodes). Τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων, που βρίσκεται στο πίσω μέρος του Φωτοβολταϊκού πλαισίου. Σε περιπτώσεις που είναι πιθανή παροδική, μερική σκίαση μέρους των Φωτοβολταϊκών πλαισίων μιας συστοιχίας, καθένα απ' αυτά παραλληλίζεται, με διόδους παράκαμψης, ΔΠ.

Δίοδοι Απομόνωσης ή Δίοδοι Παρεμπόδισης

Τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας συνδέονται έτσι ώστε να σχηματίζουν παράλληλους κλάδους, που καταλήγουν, μέσω του φορτιστή, στον συσσωρευτή. Προκειμένου να αποκλειστεί, αφενός η εκφόρτιση του συσσωρευτή μέσω των Φωτοβολταϊκών πλαισίων του κλάδου, κατά τη διάρκεια της νύχτας, αφετέρου η κυκλοφορία ρευμάτων που επιβάλλουν ένας ή περισσότεροι κλάδοι στους υπόλοιπους, κάθε κλάδος εφοδιάζεται με μια δίοδο αντεπιστροφής ή απομόνωσης ή παρεμπόδισης, ΔΑ (Blocking Isolation diode), τοποθετημένη στο αντίστοιχο κιβώτιο συνδέσεων του κλάδου. Αν οι γραμμές μεταφοράς από κάθε κλάδο καταλήγουν σε κεντικό κιβώτιο, τότε σ' αυτό τοποθετούνται και οι δίοδοι αντεπιστροφής.

3.6.7 Επιμερισμός του κόστους κατασκευής του Φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους κατασκευής ενός Φωτοβολταϊκού πλαισίου Πυριτίου, αφορά στην παραγωγή της πρώτης ύλης υψηλής καθαρότητας και στην επεξεργασία της, ώστε να παρασκευαστούν, τελικά, τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία του και καλύπτει το 60-70% του συνολικού κόστους κατασκευής του.

Πίνακας κατανομής κόστους κατασκευής Φωτοβολταϊκού πλαισίου:

Πηγή: "Φωτοβολταϊκά συστήματα", Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Στάδια κατασκευής ΦΒ πλαισίου	Ποσοστό στο συνολικό κόστος κατασκευής ΦΒ πλαισίου, %
Παρασκευή πρώτης ύλης	30-35
Παρασκευή ΦΒ στοιχείου	30-35
Πλαίσιο και υλικά ενθυλάκωσης	30-40

3.7 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με τους επιθυμώμενους σκοπούς. Μερικά Φωτοβολταϊκά πλαίσια συναρμολογημένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως από αλουμίνιο), με καλωδιώσεις που απολήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο, ως ενιαία κατασκευή, έτοιμη για εγκατάσταση, με δυνατότητα, λόγω μικρού βάρους, εύκολης αφαίρεσης, μεταφοράς ή επέμβασης στα επί μέρους Φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες όμοιες μονάδες, λέγεται **Φωτοβολταϊκό panel** (σύνθετο).

Ο συνδιασμός πολλών Φωτοβολταϊκών πλαισίων, καλωδιωμένων μεταξύ τους, σε σειρά ή παράλληλα, σε μια επίπεδη συνήθως επιφάνεια, σταθερή ή περιστρεφόμενη, με αντίστοιχο κεντρικό ηλεκτρολογικό κιβώτιο, αποτελεί την **Φωτοβολταϊκή συστοιχία** (array). Τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται κατά κλάδους. Κάθε κλάδος αποτελείται από Φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Οι ισοδύναμοι κλάδοι συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την ολική τάση ενώ η παράλληλη σύνδεση, το ολικό ρεύμα.

Τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια, σε μια συστοιχία, συνδυάζονται έτσι ώστε η μεταφορά της Φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση, μέσα στα επιτρεπτά όρια. Η μέγιστη επιτρεπτή τάση σε Φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 600V.

Σε κάθε περίπτωση, κατά τη σχεδίαση ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος, λαμβάνεται πρόνοια ώστε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κάθε τμήματος του να συμφωνούν με τα αντίστοιχα του προηγούμενου και του επόμενου του. Προκειμένου να προσαρμοστεί η τάση της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, απαιτούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις, που ονομάζονται **μετατροπείς συνεχούς τάσεως σε συνεχή (converters DC-DC)**. Η ισχύς αιχμής μιας τυπικής Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, για μικρής ισχύος ή οικιακές εγκαταστάσεις, βρίσκεται στην περιοχή 50W – 2kW.

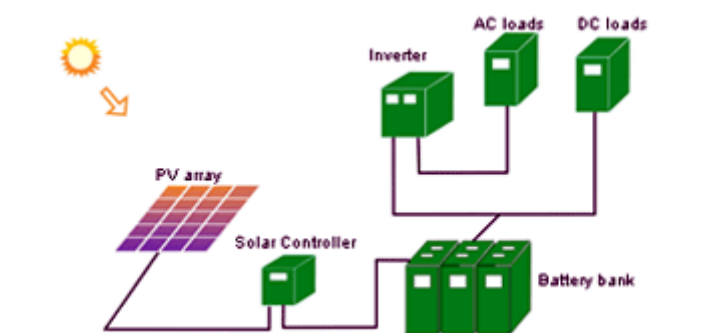
Ένα συνεργαζόμενο σύνολο Φωτοβολταϊκών συστοιχιών αποτελούν ένα Φωτοβολταϊκό συγκρότημα (PV array field) ή Φωτοβολταϊκό πάρκο (PV Park), το οποίο, μαζί με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, τον έλεγχο της φόρτισης συσσωρευτών (αν υπάρχουν), για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος (1kW-μερικά MW) επαρκούς για την τροφοδοσία οικίας, οικισμών ή χωριών κ.λ.π., αποτελούν το **Φωτοβολταϊκό σταθμό (PV station)**.

3.8 ΒΑΣΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η Φωτοβολταϊκή συστοιχία παράγει συνεχή τάση και άρα μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας μόνο ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα. Σ' αυτές συγκαταλέγονται: οι αντιστάσεις θέρμανσης, οι κινητήρες συνεχούς, οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, τα ηλεκτρικά ψυγεία συνεχούς, με τάσεις τροφοδοσίας 12 ή 24 V DC κ.α. Ειδικές διατάξεις μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (Inverters), προκειμένου να τροφοδοτήσουν συσκευές οικιακής ή άλλης χρήσης, οι οποίες ουσιαστικά, λειτουργούν ως να έχουν συνδεθεί στο κεντρικό δίκτυο (220Vac, ΔΕΗ).

Η επιλογή της απευθείας χρήσης της συνεχούς τάσης από ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα ή μετατροπή της σε εναλλασσόμενη, εξετάζεται κατά περίπτωση. Σε περιορισμένες περιπτώσεις, όπως π.χ. σε μικρά αυτόνομα αντλητικά συστήματα ή συστήματα τροφοδοσίας σταθμών τηλεμετάδοσης, φωτισμού δρόμων ή πάρκων κ.λ.π., η αξιοποίηση απευθείας της Φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι προτιμητέα. Στην πλειονότητα όμως των περιπτώσεων επιλέγεται η μετατροπή της συνεχούς σε εναλλασσόμενη τάση και ο λόγος είναι ότι πολύ περισσότερες συσκευές και εργαλεία καθημερινής χρήσης, τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενη τάση.

Παραδείγματος χάριν, όταν η Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια προορίζεται για οικιακή χρήση, είναι προτιμότερο να προσαρμόσουμε το σύστημα τροφοδοσίας στις ήδη χρησιμοποιούμενες οικιακές συσκευές μας, που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση 220V. Οι τελευταίες χαρακτηρίζονται, λόγω μεγαλύτερης εμπορικής κατανάλωσης, από χαμηλό κόστος παραγωγής. Εξάλλου, η ηλεκτρική εγκατάσταση διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος, τάσεως 220 V, είναι σαφώς φθηνότερη της αντίστοιχης με συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα, χαμηλής ηλεκτρικής τάσεως, επειδή, στην περίπτωση αυτή απαιτούνται μεγαλύτερης διατομής καλώδια για μείωση των απωλιών στη γραμμή μεταφοράς.



Φωτοβολταϊκό σύστημα
Πηγή εικόνας: <http://www.selasenergy.gr/autonomous.php>

4. ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ-ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ:

4.1 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ:

Η παραγόμενη από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία, ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας είτε σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της, π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας. Άρα, παρουσιάζεται η ανάγκη μιας διάταξης αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι στιγμής, η καλύτερη λύση, από πλευράς κόστους πυκνότητας αποταμιευμένης ενέργειας ανά μονάδα βάρους και όγκου της διάταξης, είναι η χρησιμοποίηση των διαφόρων τύπων ηλεκτρικών συσσωρευτών, οι οποίοι χαρακτηρίζονται απ' το αντιστρεπτότητα των χημικών δράσεων στα ηλεκτρόδια τους. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν οι συσσωρευτές θείου-μολύβδου, οι συσσωρευτές NiCd κ.α. Η έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών έχει οδηγήσει σε βελτιωμένους τύπους, με εξαιρετικά βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

4.1.1 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός συσσωρευτή είναι, η ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της Ηλεκτρ.Ενεργητικής Δύναμης (HEΔ) και η ονομαστική χωρητικότητα του, C. Η HEΔ μετρείται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή, όταν δεν είναι σε κατανάλωση. Η χωρητικότητα, C, ενός συσσωρευτή αφορά στο ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευθεί στο εσωτερικό του, με τη μορφή χημικής ενέργειας, κάτω από ορισμένες συνθήκες, καθοριζόμενες, κυρίως, από τη θερμοκρασία και εκφράζεται σε Ah (Αμπερώριο -α).

Στη βασική του μορφή, ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια, συνήθως, με τη μορφή επίπεδων πλακών, εμβαπτισμένα σε ορισμένο διάλυμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος αντιδρά επιφανειακά με τις πλάκες. Κατά το στάδιο της φόρτισης του, μια ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσεως, συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο κινεί ευκίνητα ιόντα του ηλεκτρολύτη, προς τις αντίθετα πολωμένες πλάκες του συσσωρευτή (+ και -), όπου αποδίδουν το φορτίο τους. Αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια, είναι η αλλοίωση της δομής τους, σε βάθος μερικών μικρών, μετατρέπόμενα σε νέα, διαφορετικά μεταξύ τους σώματα. Τα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια εμφανίζουν διαφορετικά ηλεκτροχημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα, η δε διαφορά μεταξύ τους ισούται με την HEΔ του συσσωρευτή.

4.1.2 Συσσωρευτές Μολύβδου- θειικού οξέος (Pb/H₂SO₄)

Ο συσσωρευτής Μολύβδου-Θειικού οξέος είναι ο δημοφιλέστερος τύπος ηλεκτρικού συσσωρευτή, γνωστός από τις αρχές του εικοστού αιώνα. Χρησιμοποιήθηκε κατά κόρο στα υποβρύχια. Οι βιομηχανικής παραγωγής συσσωρευτές μολύβδου έχουν υψηλή μηχανική αντοχή και συνακόλουθα, αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις, με δυνατότητα μεγάλων ρευμάτων, σε αντίθεση με τους κοινούς συσσωρευτές μολύβδου. Οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται στα οχήματα και δύνανται, βεβαίως, να εκφορτίζονται με μεγάλα ρεύματα αλλά για πολύ μικρά διαστήματα (τυπικά, ο απαιτούμενος χρόνος λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα (μίζας) για την εκκίνηση του κινητήρα εσωτερικής καύσης, είναι, συνήθως, μικρότερος των 5sec). Παρατεταμένη χρήση τους για μεγάλα ρεύματα, μειώνει ταχύτατα το χρόνο ζωής τους.

Διακρίνονται επίσης στους συσσωρευτές με ηλεκτρολύτη υγρής κατάστασης και σε συσσωρευτές με παχύρευστο ηλεκτρολύτη (Gel), αεροστεγώς σφραγισμένους (Sealed), οι οποίοι δεν απαιτούν συμπλήρωση νερού. Οι συσσωρευτές αυτοί πλεονεκτούν των πρώτων, επειδή δεν απαιτούν συντήρηση και έχουν τη δυνατότητα χρήσης σε κλειστούς χώρους, στους οποίους υπάρχουν ευαίσθητα μηχανικά ή ηλεκτρονικά όργανα. Μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές υπό κλίση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος διαρροής ηλεκτρολυτικού υγρού. Χαρακτηρίζονται όμως, από μικρά βάθη εκφόρτισης και σχετικά μικρά ρεύματα εκφόρτισης. Επίσης, υστερούν σε σχέση με τους συσσωρευτές υγρής κατάστασης, όσον αφορά την αξιοποιήσιμη χωρητικότητα τους σε θερμοκρασίες κάτω του 0°C.

4.1.3 Τεχνικά στοιχεία συσσωρευτών

➤ Χρόνος ζωής συσσωρευτή

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολλή υψηλή τάση γι' αυτούς (Overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (Overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την υλεκτρόλυση και συνακόλουθα, την παραγωγή υδρογόνου, με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του υλεκτρολυτικού διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας απ'τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδοχικές διαδικασίες εκφόρτισης και φόρτισης του.

Το γινόμενο βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας είναι, με καλή προσέγγιση, σταθερό: $\beta_{εκφ} \cdot N_k = \text{σταθερό}$

Nk: πλήθος κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή.

Εμπειρικός κανόνας: Για τους συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης (Opzs κατά DIN ή φωτοβολταϊκούς συσσωρευτές), το γινόμενο αυτό έχει τιμή 1200, ενώ για κοινούς συσσωρευτές περιορίζεται στο 120.

➤ Προσδιορισμός της κατάστασης φόρτισης συσσωρευτή (State of Charge, SOC)

Η κατάσταση πλήρους φόρτισης ενός συγκεκριμένου συσσωρευτή εξαρτάται από:

- I. Τη θερμοκρασία του
- II. Τους κύκλους λειτουργίας, μέχρι τη στιγμή της εξέτασης
- III. Το βάθος εκφόρτισης
- IV. Το ρυθμό (ρεύμα) φόρτισης-εκφόρτισης.

Προκειμένου, με απλή εργαστηριακή μέθοδο, να σχηματίσουμε μια εικόνα για την κατάσταση φόρτισης ενός συσσωρευτή εξετάζουμε δύο χαρακτηριστικά του: την ΗΕΔ και την πυκνότητα του ηλεκτρολύτη του, με ειδικό πυκνόμετρο. ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Ανάλογα με την πυκνότητα του ηλεκτρολύτη, ο πλωτήρας βυθίζεται λιγότερο (φορτισμένος συσσωρευτής) ή περισσότερο (στην περίπτωση του εκφορτισμένου συσσωρευτή). Η παρακολούθηση της πολικής τάσης του συσσωρευτή, δίνει μια προσεγγιστική εικόνα της κατάστασης φόρτισης. Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης, η πολική τάση του συσσωρευτή μειώνεται, αρχικά με χαμηλό ρυθμό, ώστε πρακτικά, να μπορεί να θεωρηθεί, περίπου σταθερή. Ο ρυθμός μείωσης της τάσης, προς το τέλος της διαδικασίας αυξάνει ραγδαία. Κατά την αντίστροφη διαδικασία, η τάση αποκτά πολύ γρήγορα, περίπου σταθερή τάση, περί τα 2...2,1V, η οποία αυξάνεται αργά, ενώ προς το τέλος της φόρτισης, παρουσιάζει απότομη αύξηση. Στην πράξη, η πολική τάση του συσσωρευτή παρακολουθείται συνεχώς, από ειδική ηλεκτρονική συσκευή, τον ελεγκτή ή επιτηρητή φόρτισης, ο οποίος στις περισσότερες εφαρμογές περιέχει ενσωματωμένο και τμήμα που ελέγχει την εφόρτιση του. Η πραγματική κατάσταση φόρτισης μπορεί να προσεγγιστεί χρησιμοποιώντας «έξυπνα» ηλεκτρονικά συστήματα, με βάση τη θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη και εξισώσεις ή πίνακες τιμών, που περιγράφουν τις εξαρτήσεις που αναφέρθηκαν.

➤ Εξάρτηση της χωρητικότητας συσσωρευτή από τους κύκλους λειτουργίας του με δεδομένο βάθος εκφόρτισης

Η χωρητικότητα, όσο αυξάνονται οι κύκλοι λειτουργίας, ελαττώνεται, και μάλιστα ο ρυθμός ελάττωσης είναι ολοένα και αυξανόμενος. Η ελάττωση αυτή οφείλεται στη σταδιακή μείωση των ενεργών υλικών των ηλεκτροδίων. Η ελάττωση της αρχικής χωρητικότητας προσδιορίζεται μ'ένα συντελεστή γήρανσης, η_{γ} ,B, η τιμή του οποίου προκύπτει ~0,8, για όλη τη ζωή του συσσωρευτή (μείωση της χωρητικότητας, στο τέλος της ζωής του συσσωρευτή, στο 80% της αρχικής τιμής).

➤ Επίδραση θερμοκρασίας λειτουργίας στο χρόνο ζωής συσσωρευτή

Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός συσσωρευτή αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο, που επηρεάζει χαρακτηριστικά το χρόνο ζωής και τη χωρητικότητα του. Οι υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, μειώνουν το χρόνο ζωής του. Οι χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζουν ισχυρά, τη δυνατότητα αποθήκευσης φορτίου. Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες προκαλούν έντονη μείωση στο φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει, υπό δεδομένο φορτίο φόρτισης (ισχυρή μείωση θερμοκρασίας των ιόντων).

➤ Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Πάγωμα του ηλεκτρολύτη.

Γενικά, το σημείο πήξης των διαλυμάτων είναι χαμηλότερο του καθαρού διαλύτη (νόμος του Raoult). Στα ηλεκτρολυτικά διαλύματα το φαινόμενο αυτό είναι εντονότερο, λόγω της διάστασης του ηλεκτρολύτη. Ένας συσσωρευτής Pb/H₂SO₄, έχει σημείο πήξης φαφώς κάτω από τους 0°C, που είναι το σημείο πήξης του καθαρού νερού, σε 1 Atm. Η θερμοκρασία πήξης του εξαρτάται από την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει την αντιστοιχία της κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή με τη θερμοκρασία πήξης του καθώς καθώς και τις αντίστοιχες τιμές της πυκνότητας του διαλύματος και της τάσης σε κενό, ενός τυπικού «2-βολτου» στοιχείου. Όπως παρατηρείτε, το σημείο πήξης ανέρχεται προς το μηδέν, όσο η κατάσταση φόρτισης μειώνεται από 100% σε 0%. Βεβαίως, στο κύκλωμα φόρτισης του συσσωρευτή παρεμβάλεται ο ελεγκτής φόρτισης, μέσω του οποίου καθορίζεται το ελάχιστο της κατάστασης φόρτισης, με τις χρησιμοποιούμενες απλές (χαμηλού κόστους) μεθόδους, δεν διασφαλίζει τον απόλυτο έλεγχο της.

➤ Αναγωγή της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη σε θερμοκρασία αναφοράς

Επειδή η πυκνότητα του ηλεκτρολυτικού διαλύματος εξαρτάται από τη θερμοκρασία, προκειμένου να προσδιορίσουμε την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή, μέσω της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη, απαιτείται αναγωγή της ένδειξης του πυκνόμετρου, ρ_θ, στην θερμοκρασία αναφοράς. Ως τέτοια έχει καθιερωθεί η μέση θερμοκρασία εργαστηριακού χώρου, δηλαδή, η θερμοκρασία των 20°C. Υπάρχουν σχετικοί πίνακες των κατασκευαστών για την αναγωγή αυτή, η οποία μπορεί να γίνει επίσης με βάση την εμπειρική σχέση:

$$\rho_{20} = \rho_{\theta} + 0,0007 \cdot (\theta - 20)$$

*στην σχέση αυτή, η πυκνότητα του ηλεκτρολυτικού υγρού εκφράζεται σε g/cm³.

➤ Ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή

Πολύ σημαντική παράμετρος για την διατήρηση του συσσωρευτή σε καλή κατάσταση είναι η ήπια φόρτιση του. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος φόρτισης μέχρι το άνω όριο τάσης φόρτισης (2,35 V, για 2-βολτο στοιχείο), τόσο υψηλότερη η τελική στάθμη χωρητικότητας. Ο κανόνας που προτείνεται, για λειτουργία των συσσωρευτών σε κανονικά πλαίσια, κατά τη φόρτιση είναι:

➤ Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή

Ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμη και αν δεν είναι συνδεδεμένος σε εξωτερικό φορτίο-καταναλωτή. Οφείλεται στη συνεχή δράση του H_2SO_4 στα ηλεκτρόδια, κατά την οποία, ο Pb και ο PbO_2 μετατρέπονται σε $PbSO_4$, με ταυτόχρονη έκλυση των αερίων H_2 και O_2 . Η αυτοεκφόρτιση αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας του συσσωρευτή. Τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή, είναι:

- ✓ Σε θερμοκρασία $5^\circ C$, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 2% ανά μήνα.
- ✓ Σε θερμοκρασία $15^\circ C$, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 4% ανά μήνα.
- ✓ Σε θερμοκρασία $25^\circ C$, η χωρητικότητα ελαττώνεται κατά 10% ανά μήνα.

➤ Απόδοση ενέργειας και φορτίου

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξεως του 10-20% της προσφερόμενης ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι, ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας, n_E . Ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ($W=V \cdot I \cdot t$), δια του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγούμενη φόρτιση του. Τυπική τιμή $80 \div 85\%$.

$$n_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}}$$

Εκτός από το βαθμό ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιείται επίσης, ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου, n_q , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά την φόρτιση:

$$n_q = \frac{Q_{\text{εκφόρτισης}}}{Q_{\text{φόρτισης}}}$$

*Τυπική τιμή βαθμού απόδοσης φορτίου $n_q \approx 90\%$

➤ Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή, με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή (γήρανση) πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στο χρόνο ζωής του, να διατηρεί τη δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το αυτό βάθος εκφόρτισης, β. Η εμπειρία έχει δείξει ότι, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή, μειώνεται σταδιακά και περί το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητας του. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή $n_{\gamma,B}=0,8$.

4.2 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Η διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία, απαιτεί την παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της μεταφοράς της ενέργειας κατά τον οικονομικότερο τρόπο καθώς και την προστασία του συσσωρευτή από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση. Από λειτουργικής πλευράς, δύο είναι οι βασικές ηλεκτρονικές διατάξεις: Ο ελεγκτής ή επιτηρητής της διαδικασίας φόρτισης-εκφόρτισης (chargw controller) και οι μετατροπείς τάσεως. Ο ελεγκτής φόρτισης τοποθετείται συνήθως σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται ενσωματωμένος με τον inverter, σε μια ολοκληρωμένη μονάδα.

4.2.1 Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτή

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ανεμογεννήτριας ή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε, όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης και συνακόλουθα μείωση της στάθμης του διαλύματος. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή, κατάσταση υπερεκφόρτισης (ελεγκτής εκφόρτισης).

**

Γενικά, ο ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει, προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω, ορισμένα όρια τάσης(setpoints), όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες.

**

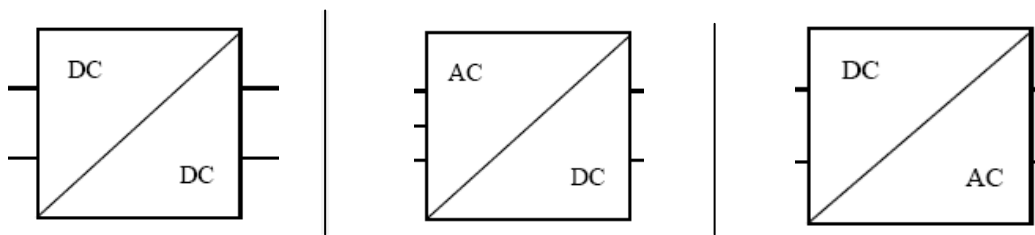
Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης-εκφόρτισης, περιλαμβάνει σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές (microcontrollers), που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (relays), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος. Σε κάθε περίπτωση, στο κύκλωμα παρεμβάλεται μια δίοδος, για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω κυκλωμάτων της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

4.2.2 Μετατροπείς (converters) DC-DC, DC-AC και AC-DC

Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, μετατροπής

- ✚ Συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC-DC converters), οποιασδήποτε τάσης
- ✚ Συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC converter), οποιασδήποτε πλάτους
- ✚ Εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC converter)

Σχήμα:



- Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC-DC converter)

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσεως, V_1 , σε συνεχή, V_o ($V_o \neq V_1$), βασίζεται στη χρήση υψίσυχων διακοπτικών στοιχείων κυκλωμάτων (switchmode π.χ. transistors, thyristors), με τα οποία μπορούμε να διαχειριστούμε μεγάλη ισχύ, με ελάχιστες απώλειες. Η μονάδα μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης.

- Μετατροπέας DC-AC (Inverter)

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε Φωτοβολταϊκές εφαρμογές επιβάλλεται, στις περισσότερες των περιπτώσεων, εξαιτίας της επικράτησης

του, κατά γενικό τρόπο, σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στη βιομηχανία.

Ο Inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει π.χ. στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (π.χ. bipolar transistors ισχύος, MOSFETs, thyristors κ.λ.π.), η συνδιασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και αντεστραμμένων (Inversion).

- Μετατροπέας εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές (AC-DC)

Σ' αυτή τη διάταξη συνδυάζεται ένα σύστημα ανόρθωσης της παρεχόμενης, από την ενεργειακή πηγή (ΑΓ, Η/Ζ), εναλλασσόμενης ηλεκτρικής τάσης (μονοφασικής ή τριφασικής μορφής), χωρίς την παρεμβολή μετασχηματιστή, με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς σε συνεχές ρεύμα (DC-DC). Μια τέτοια διάταξη περιλαμβάνει μια ανορθωτική μονάδα σε συνδιασμό με ένα μετατροπέα DC-DC.

5.ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Παρακάτω παρουσιάζονται αρκετές εταιρίες φωτοβολταϊκών με τα αντίστοιχα προϊόντα που προσφέρουν.

Πηγή πληροφοριών είναι το www.eshops.gr

ΠΡΟΣΦΟΡΕΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΠΑΚΕΤΩΝ

 Εταιρία: Solar Energy

Διατηθέμενα προϊόντα:

I. 5kW Solar Energy Plus 185wp

Ιδιαιτερότητες:

- 185 watt μονοκρυσταλλικού πυριτίου με θετική ανοχή watt
- Παράγει κατά μέσο όρο 6500kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 60 - 80 τετραγωνικών μέτρων. Εξοικονομεί 3.500-4000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 27 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια Solar Energy Plus 185 watt (wp) SE-185 (4995 Watt εγκατεστημένης ισχύος)
- Εγγύηση υλικού 10 χρόνια
- Εγγύηση απόδοσης για το 90% 10 χρόνια
- Εγγύηση απόδοσης για το 80% 25 χρόνια
- Διάρκεια ζωής 45-50 χρόνια

Τιμή: 11790€

II. 10kW+1 SMA Tripower

Ιδιαιτερότητες:

- 185 watt μονοκρυσταλλικού πυριτίου με θετική ανοχή watt έως + 5%
- Παράγει κατά μέσο όρο 13000kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 140-160 τετραγωνικών μέτρων και 80-100 τετραγωνικών σε κεραμοσκεπή - στέγη. Εξοικονομεί 6000-8000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 54 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια Solar Energy Plus 185 watt (wp) SE-185 (9990 Watt εγκατεστημένης ισχύος)
- 1 τεμ SMA Sunny Boy 10000 TL TRIPOWER
- 54 τεμ. βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών βαρέως τύπου
- Εγγύηση εργοστασιακή υλικού 10 χρόνια
- Εγγύηση απόδοσης για το 90% 10 χρόνια

- Εγγύηση απόδοσης για το 80% **25 χρόνια**
- Διάρκεια ζωής 45-50 χρόνια

Τιμή:22590€

Εταιρία: Schott Solar

Διατηθέμενα προϊόντα:

I. 5kW Schott Solar 230wp

Ιδιαιτερότητες:

- 21 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια Scott Solar 230watt (wp) (4830 Watt εγκατεστημένης ισχύος)
- 21 τεμ. βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών από χάλυβα θερμού γαλβανίσματος + αζεσουάρ αλουμινίου (εγγύηση 10 χρόνια)

Τιμή:11990€

II. 10kW Schott Solar 230wp

Ιδιαιτερότητες:

- 43 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια Scott Solar 230watt (wp) (9890 Watt εγκατεστημένης ισχύος)
- 1 τεμ. Inverter SMA Sunny Boy 10000 Tripower Τριφασικός.
- 43 τεμ. βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών
- Σετ Καλωδιώσεων-πίνακας αντικεραυνικής προστασίας AC

Τιμή: 22990€

Εταιρία: Canadian Solar

Διατηθέμενα προϊόντα:

I. 5kW CanadianSolar 230wp

Ιδιαιτερότητες:

- 5kw με φωτοβολταϊκά με Canadian Solar 230 watt CSI CS6P-230 πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Παράγει κατά μέσο όρο 6500kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 70 - 80 τετραγωνικών μέτρων. Εξοικονομεί 3.500-4000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.

- 21 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια *Canadian Solar 230watt (wp) CSI CS6P-230 (4830 Watt εγκατεστημένης ισχύος)*
- 1 τεμ. *Kaco Powador 4501xi ή SMA SB 5000 ή Fronius IG40*
- 21 τεμ. βάσεις αλουμινίου στήριξης φωτοβολταϊκών


Τιμή:11990€

II. 10kW Canadian Solar 230wp

Ιδιαιτερότητες:

- 10kw με φωτοβολταϊκά με Canadian Solar 230 watt πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Παράγει κατά μέσο όρο 13000kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 140 - 160 τετραγωνικών μέτρων και 80-100 τετραγωνικών σε κεραμοσκεπή - στέγη. Εξοικονομεί 7000-8000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 43 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια *Canadian Solar 230 watt (wp) CSI CS6P-230 (9890 Watt εγκατεστημένης ισχύος)*
- 2 τεμ SMA SB 3000 TL-20 & 1 τεμ SMA SB 4000 TL-20
- 43 τεμ. βάσεις αλουμινίου στήριξης φωτοβολταϊκών

Τιμή:22900€

 Εταιρία: Hyundai Solar
Διατηθέμενα προϊόντα:

I. 5kW Hyundai Solar 225wp

Ιδιαιτερότητες:

- 5kw με φωτοβολταϊκά **Hyundai HiS-M224SG 225WATT, Solar Module SG-Series** πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Παράγει κατά μέσο όρο 6500kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 70 - 80 τετραγωνικών μέτρων και 40-50 τετραγωνικών σε κεραμοσκεπή - στέγη. Εξοικονομεί έως 4000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 22 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια *Hyundai HiS-M224SG 225WATT, Solar Module SG-Series (4950 Watt εγκατεστημένης ισχύος)*
- 1 τεμ. SMA SB 5000
- 22 τεμ. βάσεις αλουμινίου στήριξης φωτοβολταϊκών
- Η προσφορά και διαθεσιμότητα αφορά την πλήρη αγορά πακέτου και όχι μεμονομένα προϊόντα
- Ενδεικτικό κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού 1.800 ευρώ

- Εγγύηση υλικού 5 χρόνια
- Εγγύηση απόδοσης για το 90% 10 χρόνια
- Εγγύηση απόδοσης για το 80% 25 χρόνια
- Διάρκεια ζωής 45-50 χρόνια
- **Εγγυήσεις Inverters δικτύου**
Εγγύηση υλικού 5-7 χρόνια με δυνατότητα επέκτασης στα 10 χρόνια
- **Εγγυήσεις Βάσεων στήριξης Φ/Β πλαισίων**
Εγγύηση υλικού 15 χρόνια

Τιμή:12450

II. 10kW Hyundai Solar + 1 SMA Tripower

Ιδιαιτερότητες:

- 10kw με φωτοβολταϊκά Hyundai **HiS-S250MG 250 watt** , Solar Module MG-Series, μονοκρυσταλλικού πυριτίου
- Παράγει κατά μέσο όρο 13000kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 140-160 τετραγωνικών μέτρων και 80-100 τετραγωνικών σε κεραμοσκεπή - στέγη. Εξοικονομεί 6000-8000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 40 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια Hyundai **HiS-S250MG 250** (10000 Watt εγκατεστημένης ισχύος)
- 1 τεμάχιο SMA Sunny Boy 10000 Tripower
- 40 τεμ. βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών
- Η προσφορά και διαθεσιμότητα αφορά την πλήρη αγορά πακέτου και όχι μεμονομένα προϊόντα
- Ενδεικτικό κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού 2.900 ευρώ

Τιμή:21950€

Εταιρία: BP Solar

Διατηθέμενα προϊόντα:

I. 5kW BP Solar 230wp

Ιδιαιτερότητες:

- 5kw με φωτοβολταϊκά με BP Solar 230 watt πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Παράγει κατά μέσο όρο 6500kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 70 - 80 τετραγωνικών μέτρων. Εξοικονομεί 3.500-4000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 21 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια BP Solar 160 watt (wp) BP 3160N (4960 Watt εγκατεστημένης ισχύος)

- 1 τεμ. SMA SB 5000
- 21 τεμ. βάσεις αλουμινίου στήριξης φωτοβολταϊκών
- Η προσφορά και διαθεσιμότητα αφορά την πλήρη αγορά πακέτου και όχι μεμονομένα προϊόντα
- Κόστος εγκατάστασης 1800 ευρώ

Τιμή:12490€

II. 10kW BP Solar + 1 SMA Tripower

Ιδιαιτερότητες:

- 10kw με φωτοβολταϊκά με BP Solar 230 watt πολυκρυσταλλικού πυριτίου
- Παράγει κατά μέσο όρο 13000kw το έτος (για περιοχές Αττικής και νοτιότερα) ενώ καλύπτει επιφάνεια 140 - 160 τετραγωνικών μέτρων. Εξοικονομεί 7000-8000 ευρώ το χρόνο και αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε 4.5-5 χρόνια.
- 43 τεμ. φωτοβολταϊκά πλαίσια BP Solar 3230T, 230 Watt)
- 1 τεμ SMA Sunny Boy 10000 TL Tripower
- 43 τεμ. βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών
- Η προσφορά και διαθεσιμότητα αφορά την πλήρη αγορά πακέτου και όχι μεμονομένα προϊόντα
- Ενδεικτικό κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού 2.900 ευρώ

Τιμή: 23980€

***Ενδεικτικά αναφέρονται και διάφορες τιμές για αγορά φωτοβολταϊκών πάνελ μεμονομένα και όχι σε μορφή ολοκληρωμένης αγοράς.*

- | | |
|--|--------------|
| ✓ 10kW-PhonoSolar...54 τεμάχιαX185Watt | TIMH: 16490€ |
| ✓ 10kW-SolarEnergy...54τεμάχιαX185Watt | TIMH: 17500€ |
| ✓ 10kW-YingliSolar....42 τεμάχιαX235Watt | TIMH: 17300€ |
| ✓ 10kW-SovelloSolar...48 τεμάχιαX205Watt | TIMH: 17900€ |
| ✓ 10kW-BP Solar.....43 τεμάχιαX230Watt | TIMH: 17900€ |

Ενδεικτικές τιμές Αντιστροφέων (Inverters) διαφόρων τύπων:

I. ΚΑΘΑΡΟΥ ΗΜΙΤΟΝΟΥ

- ✓ Cotec S1500-212/224

1500Watt (2000VA) / 12V ή 24V ή 48V καθαρού ημιτόνου

Τιμή: 438€

- ✓ Studer AJ 275-12V

Ιδιότητες:

- 275VA 12V καθαρού ημιτόνου / 30 min
- Πλήρης ημιτονοειδής κυματομορφή τάσης εξόδου, Προστασία υπερφόρτισης και εκφόρτισης.
- Τάση Εισόδου 12 V
- Περιοχή Τάσης Εισόδου 10.5 – 16V (24V absolute max.) V
- Ισχύς Εξόδου @ 25°C 200VA
- Ισχύς Εξόδου 30 min. @ 25°C 275 VA
- Ισχύς Εξόδου 5 min. @ 25°C
- Μέγ.Ισχύς Εξόδου 5 sec. @ 25°C
- Τάση Εξόδου True sine 230Vac (115Vac*) 0 / -10% V
- Συχνότητα 50Hz (60Hz*) ± 0.05% (Crystal control)
- Μέγιστο Ρεύμα 1.9A (2A*) A
- Μέγιστη Απόδοση % 93%
- Ψηφιακός έλεγχος Συχνότητας NAI
- Διαστάσεις 142 x 163x 84 mm Βάρος 2.40 Kg
- Θερμοκρασία λειτουργίας -20°C up to +50°C C
- Εγγύηση 2 Έτη

Τιμή: 209€

- ✓ Studer AJ 500-12V

Ιδιότητες:

- 500VA/12V καθαρού ημιτόνου / 30 min
- Πλήρης ημιτονοειδής κυματομορφή τάσης εξόδου, Προστασία υπερφόρτισης και εκφόρτισης.
- Τάση Εισόδου 12 V
- Περιοχή Τάσης Εισόδου 10.5 – 16V (24V max.) V

- Ισχύς Εξόδου @ 25°C 400 VA
- Ισχύς Εξόδου 30 min. @ 25°C 500 VA
- Ισχύς Εξόδου 5 min. @ 25°C 575 VA
- Μέγ.Ισχύς Εξόδου 5 sec. @ 25°C 1000 VA
- Τάση Εξόδου True sine 230Vac (115Vac*) 0 / -10% V
Συχνότητα 50Hz (60Hz*) ± 0.05% (Crystal control)
- Μέγιστο Ρεύμα 5.2A (10.4A*) A
- Μέγιστη Απόδοση % 93%
- Ψηφιακός έλεγχος Συχνότητας NAI
- Διαστάσεις 142 x 240 x 84 mm Βάρος 4.50 Kg
- Θερμοκρασία λειτουργίας -20°C up to +50°C C
- Εγγύηση 2 Έτη

Τιμή: 405€

II. **ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΥ/ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΗΜΙΤΟΝΟΥ**

- ✓ Solar I02-500VA

Ιδιότητες:

- 500VA 12V τροποποιημένου ημιτόνου (modified sine wave)
- Πίνακας ιδιοτήτων:

Τιμή: 79€

- ✓ Modified PS 1000

Ιδιότητες:

- 1000VA 12v ή 24V τροποποιημένου ημιτόνου
- Μετατροπέας συνεχούς τάσης 12VD.C σε εναλλασσόμενη τάση 230VA.C
- Προστασία από χαμηλή τάση εισόδου
- Προστασία από υπέρταση & υπερθέρμανση
- Φωτεινή και ηχητική ένδειξη χαμηλής τάσης εισόδου (low bat)
- Η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι τροποποιημένο ημίτονο(modified)
- Διαθέτει ανεμιστήρα για απαγωγή της θερμότητα
- Συσκευασία:blister
- Ισχύς:1000VA
- Διαστάσεις: 26.5 X 19.8 X 7cm

Τιμή:149€

III. INVERTERS ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΣΔΙΚΤΥΟΥ

✓ Fronius IG 15

Ιδιότητες:

- 1300W-1500W
- **Εύρος τάσης MPP 150 – 400 V**
- **Μέγιστη τάση εισόδου 500 V**
- **Ονομαστική ισχύς AC 1300 W**
- **Μέγιστη τάση εξόδου 1500 W**
- **Μέγιστος βαθμός απόδοσης 94,2 % Euro-eta 91,4 %**
- **Τάση δικτύου / συχνότητα 230 V / 50 Hz**
- **Διαστάσεις έκδοσης indoor (μ x π x υ) 366 x 344 x 220 mm**
- **Διαστάσεις έκδοσης outdoor (μ x π x υ) 500 x 435 x 225 mm**
- **Βάρος έκδοσης indoor 9 kg**
- **Βάρος έκδοσης outdoor 12 kg**
- **Ψύξη ελεγχόμενος αερισμός**
- **Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος | επιτρεπόμενη υγρασία αέρα -20°C έως +50°C | 0 έως 95 %**
- Κατατοπιστική οθόνη γραφικών.
- Απλή και γρήγορη εγκατάσταση.
- Μέγιστη αξιοπιστία όσον αφορά τον τρόπο λειτουργίας.
- Η διαχείριση πλακετών (Module Manager) εξασφαλίζει αποτελεσματική επιτήρηση της μέγιστης ισχύος (MPP-Tracking).
- Μέγιστη απολαβή ρεύματος υπό μερικό φορτίο χάρη στο σύστημα MIX™.
- Ασφαλής και απλή οπτικοποίηση και επιτήρηση με ποικίλες δυνατότητες επέκτασης του συστήματος Fronius DATCOM.

Τιμή:1225€

Ρυθμιστές φόρτισης και ελέγχου στάθμης μπαταρίας φωτοβολταϊκών συστημάτων:

I. MPPT 30A-12V – 200Watt

Ιδιότητες:

- **30A** Max Charging Current / **18A** Max PV Input Current - 200Watt power / Solar panel - 12V
- Ρυθμιστής φόρτισης φωτοβολταϊκών MPPT (Maximum Power Point Tracking) με 30A μέγιστο ρεύμα φόρτισης και ρεύμα εισόδου από τα φωτοβολταϊκά 18^A
- Μέγιστη ισχύς Φωτοβολταϊκών : 200W στά 12V μπαταρία.
- Μέγιστο ρεύμα εισόδου απο φωτοβολταϊκά 18^A
- Τάση μπαταρίας 12V
- Μέγιστο Ρεύμα φόρτισης μπαταρίας 30A.
- Λειτουργία MPPT 15-22V-max 25V.
- Μέγιστη απόδοση 96%
- Φορτίζει όλους τους τύπους μπαταριών μολύβδου, καθώς και NiCd
- Σύνδεση σε υπολογιστή

Τιμή:119€

Μπαταρίες Φωτοβολταϊκών:

AGM

Οι μπαταρίες τύπου AGM χρησιμοποιούν Boron-Silicate Glass Mat μεταξύ των πλακών.Ο ηλεκτρολύτης είναι μέσα στο Glass Mat και δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής σε περίπτωση σπασίματος της μπαταρίας.Επίσης δεν υπάρχει κίνδυνος παγώματος της μπαταρίας σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αφού δεν υπάρχουν υγρά μέσα. Οι τάση φόρτισης είναι η ίδια όπως για κάθε απλή μπαταρία και λόγω του ότι η εσωτερική αντίσταση είναι εξαιρετικά μικρή δεν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης της μπαταρίας κάτω από συνθήκες γρήγορη φόρτισης ή εκφόρτισης.Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι πολύ χαμηλός της τάξης του 1-3% μηνιαία που σημαίνει ότι μπορούν να μείνουν εκτός φόρτισης για περισσότερο χρονικό διάστημα χωρίς να πέσει ιδιαίτερα η απόδοση της.Οι πλάκες στην AGM είναι ιδιαίτερα συμπαγείς και αντέχουν περισσότερους κραδασμούς από κάθε άλλη μπαταρία. Έχουν διάρκεια ζωής 10-12 χρόνια ενώ είναι κατάλληλες για κυκλικές, πολλαπλές φορτίσεις με εφαρμογές σε φωτοβολταϊκά συστήματα, UPS, ηλεκτροκίνητα αμαξίδια.

GEL

Οι μπαταρίες τύπου GEL περιέχουν ένα οξύ που έχει γίνει σαν ζελέ με την προσθήκη Silica Gel. Το πλεονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι ότι είναι αδύνατον να χυθεί το οξύ ακόμα και αν σπάσει η μπαταρία. Δε μπορούν να φορτιστούν γρήγορα σε έναν συμβατικό φορτιστή αυτοκινήτου γιατί υπάρχει κίνδυνος να πάθουν μόνιμη βλάβη. Επίσης πρέπει να φορτίζονται σε χαμηλότερη τάση από τις υγρού τύπου ή από τις AGM (2/10 λιγότερο) γιατί μπορεί να δημιουργηθούν κενά μέσα στο GEL που δε πρόκειται να κλείσουν ποτέ, προκαλώντας μείωση της ολικής χωρητικότητας της μπαταρίας. Οι βαθιάς εκφόρτισης μπαταρίες GEL έχουν διάρκεια ζωής 10-12 χρόνια ενώ είναι κατάλληλες για κυκλικές, πολλαπλές φορτίσεις με εφαρμογές σε φωτοβολταϊκά συστήματα, UPS, ηλεκτροκίνητα αμαξίδια.

Προϊόντα τύπου gel:

I. Sunlight SP_B 12-33

Ιδιότητες:

- 34AH (C20) 12V Κλειστού τύπου AGM (χωρίς συντήρηση) βαθιάς εκφόρτισης υψηλής πιστότητας με προσδόκιμο χρόνο ζωής τα 10-12 χρόνια
- Ιδανική χρήση για Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, UPS, Σκάφη- Κότερα (χρήση services), Ηλεκτροκίνητα Αμαξίδια κ.α

Τιμή:60€

II. 2V Ergosolar T240

Ιδιότητες:

- **178AH C10** έως **238AH C20**, 2V μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης τυπου PZS Solar ΣΩΛΗΝΩΤΟΥ τύπου χαμηλής συντήρησης, ειδικά σχεδιασμένοι για χρήση σε κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης
- Διαστάσεις Προϊόντος

Μήκος 70.00 mm

Πλάτος 198.00 mm

Ύψος 500.00 mm

Τιμή:60€

6. ΤΕΧΝΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ

6.1 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ:

I. Μέσος συντελεστής απόδοσης:

$$\bar{n} = \frac{E_{εξ}}{E_{εισ}}$$

Εεξ: ενέργεια εισόδου στο σύστημα(=Wεξ)

Εεισ: ενέργεια εισόδου στο σύστημα(=Wεισ)

II. Μέσος συντελεστής απόδοσης σειράς διαδοχικών συστημάτων:

$$\bar{n} = \frac{E_{εξ}}{E_{εισ}} = \frac{\int P_{εξ}(t) dt}{\int P_{εισ}(t) dt} = \bar{n}_1 \cdot \bar{n}_2$$

III. Ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια:

$$E_{σ} = E_{σ,α} + E_{σ,ε}$$

Εσ: Η ολική ενέργεια που παράγεται από την Φωτοβολταϊκή συστοιχία μέσα σε μια μέρα

Εσ,α: άμεσα καταναλησκόμενη ενέργεια χωρίς προηγούμενη αποταμίευση

Εσ,ε: χρησιμοποιείται αφού προηγουμένως αποταμιευθεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές

IV. Ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια φορτίων κατανάλωσης:

$$E_L = \sum_{i=1}^n P_{L,i} \cdot t_i = E_{L,\alpha} + E_{L,\varepsilon} = \sum_{i=1}^{n_\alpha} P_{L,\alpha,i} \cdot t_{\alpha,i} + \sum_{i=1}^{n_\varepsilon} p_{L,\varepsilon,i} \cdot t_{\varepsilon,i}$$

n_α : πλήθος φορτίων ισχύος $P_{L,\alpha,i}$ έκαστο

n_ε : πλήθος φορτίων ισχύος $P_{L,\varepsilon,i}$ έκαστο

V. Ενεργειακό ισοζύγιο ημερησίως παραγόμενης-καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

$$E_{\sigma,\alpha} = \frac{E_{L,\alpha}}{n_\alpha}$$

$$E_{\sigma,\varepsilon} = \frac{E_{L,\varepsilon}}{n_\varepsilon}$$

$$E_\sigma = \frac{E_{L,\alpha}}{n_\alpha} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{n_\varepsilon}$$

$$E_\sigma = E_{\sigma,\alpha} + E_{\sigma,\varepsilon}$$

VI. Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας:

$$n_{\mu\epsilon\tau} = \frac{E_{\Phi B \Sigma}}{E_\sigma}$$

$$n_{\mu\epsilon\tau} = n_W \cdot n_{H\Delta} \cdot n_E$$

n_W : συντελεστής ενεργειακής απώλειας στις γραμμές μεταφοράς

$n_{H\Delta}$: ολικός συντελεστής απόδοσης των ηλεκτρονικών διατάξεων

n_E : συντελεστής απόδοσης ενέργειας του συσσωρευτή

VII. Χαρακτηριστικές τιμές των συντελεστών απωλειών μεταφοράς ενέργειας

i. Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας, n_a (Άμεση αξιοποίηση)

Αφορά το τμήμα του φωτοβολταϊκού από την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μέχρι την έξοδο του inverter.

Καθορίζεται από:

- Το συντελεστή n_{conv} , απόδοσης του μετατροπέα συνεχούς σε συνεχή ηλεκτρική τάση (dc-dc converter). Συνοδεύεται, συνήθως, από διάταξη MPPT. Η απόδοση των σύγχρονων μετατροπέων κυμαίνεται μεταξύ 87% και 93%. Τυπική τιμή για εφαρμογές: $n_{conv} \approx 90\%$
- Τους συντελεστές που προσδιορίζονται με βάση τις απώλειες στις αντιστάσεις R_{w1} , R_{w2} και R_{w3} , των γραμμών μεταφοράς. Θεωρούμε συνολικές απώλειες σ' όλη τη διαδρομή του ρεύματος, κατά τους δύο δρόμους τροφοδοσίας. Σε κάθε περίπτωση, οι διαστάσεις των καλωδίων επιλέγονται έτσι ώστε οι απώλειες να μην υπερβαίνουν το 2-3%. Μπορούμε, λοιπόν, να θεωρήσουμε ως τυπική τιμή του συντελεστή απωλειών Joule, σε κάθε συνολική γραμμή μεταφοράς, την $n_w = 0.98$
- Το συντελεστή απόδοσης του inverter, n_{inv} . Διατάξεις σύγχρονης τεχνολογίας χαρακτηρίζονται από υψηλό συντελεστή $\sim 96\%$. Η απόδοση του inverter εξαρτάται από το ποσοστό του φορτίου που καλύπτει κ'θε στιγμή. Η απαίτηση από ένα inverter είναι να αποδίδει το ίδιο καλά, τόσο σε μικρό ποσοστό φορτίου, όσο και σε πλήρες φορτίο. Τυπική τιμή είναι $n_{inv} = 94\%$

Αναλυτική έκφραση για το συντελεστή n_a :

$$n_a = n_w \cdot n_{conv} \cdot n_{inv}$$

Τυπική τιμή του n_a , με (χωρίς) converter:

$$n_a = 0,98 \times 0,9 \times 0,94 \approx 0,83 (0,92)$$

Σε περίπτωση απευθείας τροφοδοσίας από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία, χωρίς inverter: $n_a = 0,98$

ii. Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας n_E (έμμεση αξιοποίηση)

Αφορά τμήμα του Φωτοβολταϊκού σταθμού, από την έξοδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας μέχρι την έξοδο του inverter, διαμέσου του συσσωρευτή. Ο συντελεστής n_e εξαρτάται από ό,τι ο n_a και επιπλέον από:

- Την κατανάλωση στη δίοδο απομόνωσης στον επιτηρητή φόρτισης. Τυπική τιμή: $n_D \approx 0.99$
- Απώλεια ενέργειας κατά τη φόρτιση και στη συνέχεια, εκφόρτιση των συσσωρευτών. Για τη συνολική φάση, φόρτισης-εκφόρτισης, εκφράζεται με το συντελεστή απόδοσης συσσωρευτού, n_E , με τυπική τιμή $n_E = 0.85$
- Την ποσοστιαία κατανάλωση στις γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τον ελεγκτή φόρτισης μέχρι τον χώρο του συσσωρευτή. Τυπική τιμή, $n_w = 0.98$.

Έστω:

$$n_e^{\sigma\nu\nu} = n_D \cdot n_w \cdot n_E$$

Τότε η αναλυτική έκφραση για το συντελεστή n_e είναι:

$$n_e = n_a \cdot n_e^{\sigma\nu\nu}$$

Τυπικές τιμές:

$$n_e = 0,68$$

$$n_e^{\sigma\nu\nu} = 0,82$$

VIII. Συντελεστής απόδοσης Φωτοβολταϊκής συστοιχίας-Φωτοβολταϊκού συστήματος

Σύμφωνα με τη γενικότερη έννοια του μέσου συντελεστή απόδοσης ενός συστήματος, οι μέσοι συντελεστές απόδοσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, $n_{\sigma, \text{μέσο}}$ και ολόκληρου του Φωτοβολταϊκού συστήματος, $n_{\Phi B \Sigma, \text{μέσο}}$, δίνονται από τις επόμενες εκφράσεις:

$$n_{\sigma, \text{μέσο}} = \frac{E_{\sigma}}{H_t \cdot S} \qquad n_{\Phi B \Sigma, \text{μέσο}} = \frac{E_{\Phi B \Sigma}}{H_t \cdot S} = n_{\text{μετ}} \cdot n_{\sigma, \text{μέσο}}$$

Όπου H_t η ημερήσια τιμή της πυκνότητας ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, S , το εμβαδόν της επιφάνειας

της και E_{σ} , $E_{\Phi_{\text{B}\Sigma}} = n_{\text{μετ}} \cdot E_{\sigma}$, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία και το Φωτοβολταϊκό σύστημα, αντίστοιχα.

Η αναλυτική έκφραση του στιγμιαίου συντελεστή απόδοσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ως γινόμενο των επιμέρους συντελεστών που καθορίζουν τις απώλειες ηλιακής ακτινοβολίας μέχρι την έξοδο της, δίδεται από τη σχέση:

$$n_{\sigma} = n_{\text{καθ}} \cdot n_R \cdot n_{LI} \cdot n_s \cdot n_p \cdot n_T \cdot n_D \cdot n_{\text{αναμ}} \cdot n_{w,\sigma} \cdot n_{m,STC}$$

IX. Λόγος επίδοσης Φωτοβολταϊκής συστοιχίας-Φωτοβολταϊκού συστήματος

Η απόδοση ενός ενεργειακού συστήματος προσδιορίζει το ποσοτό της διαθέσιμης ενέργειας που μετατρέπεται απ' το σύστημα, σε αξιοποιήσιμη μορφή. Το πρακτικό όμως αποτέλεσμα, που αποτελεί και το ζητούμενο κατά την αξιοποίηση κάθε ενεργειακής πηγής, είναι η σχέση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, προς αυτή που θα μπορούσε να αποδοθεί κάτω από ιδανική λειτουργία του συστήματος, μ'λεσα σε μια ολοκληρωμένη χρονική μονάδα, όπως είναι η ημέρα, ο μήνας, το έτος. Η σχέση αυτή προσδιορίζεται από μια παράμετρο που ονομάζεται λόγος επίδοσης. Ο λόγος επίδοσης μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας (PR_σ), ή ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος (PR_{Φ_BΣ}), προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας E_{σ} , προς την ενέργεια $E_{\sigma}(n_{\sigma,STC}, G_t)$, που θα απέδιδε η Φωτοβολταϊκή συστοιχία, αν λειτουργούσε ιδανικά, χωρίς τις επιπλέον απώλειες λόγω των αποκλίσεων από την κατάσταση αναφοράς (STC), δεχόμενη κάθε στιγμή την ίδια πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διάρκεια της ημέρας.

$$PR_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{E_{\sigma}(n_{\sigma,STC}, G_t)}$$

Ο ολικός λόγος απόδοσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας προσδιορίζεται από τις επιμέρους επιδόσεις της ως προς καθένα από τους παράγοντες που δημιουργούν αποκλίσεις από τις συνθήκες αναφοράς. Δηλαδή,

$$PR_{\sigma} = \prod PR_i$$

Όπου $i=1,2,\dots,n$ οι δείκτες των αντίστοιχων παραμέτρων οι οποίοι καθορίζουν την τιμή της συνολικής επίδοσης του συστήματος.

X. *Αποδοτικότητα Φωτοβολταϊκής συστοιχίας-Συντελεστής χρησιμοποίησης*

Η αποδοτικότητα μια Φωτοβολταϊκής συστοιχίας Y_{σ} ορίζεται το πηλίκο της αποδιδόμενης ημερησίως ηλεκτρικής ενέργειας, δια της ισχύος αιχμής της:

$$Y_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{P_p}$$

Εκφράζεται συνήθως σε kWh/kWp·d

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης ή εκμετάλευσης ισχύος $CF_{\Phi B}$ δίνεται από τη σχέση:

$$CF_{\Phi B} = \frac{P_{\sigma, \text{μέσο}}}{P_p}$$

XI. *Στιγμιαίες και μέσες τιμές χαρακτηριστικών μεγεθών της ηλιακής ακτινοβολίας και της αποδιδόμενης μέγιστης ισχύος Φωτοβολταϊκής ενέργειας.*

Έστω G_t (tilt) η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, μετρούμενη στο επίπεδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας (POAI), μια δεδομένη χρονική στιγμή. Το ολοκλήρωμα της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ημέρα, δίδει την ημερήσια ενεργειακή απολαβή (Insolation), H_t ,

$$H_t = \int_0^T G_t dt$$

Όπου $T=24h$, ενώ η μέση ημερήσια πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, δίδεται από τη σχέση

$$\bar{G}_t = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T G_t dt$$

XII. Συσχέτιση της ισχύος αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας με την παραγόμενη απ' αυτήν ηλεκτρική ισχύ:

Όπως αναφέρθηκε στις σχετικές παραγράφους, η αποδιδόμενη, από μια Φωτοβολταϊκή συστοιχία, ηλεκτρική ισχύς, απέχει, γενικά, από την τιμή της στο ΣΜΙ. Με την χρησιμοποίηση συστημάτων παρακολούθησης του ΣΜΙ (MPPT), προσεγγίζεται αρκετά καλά η λειτουργία της συστοιχίας στην κατάσταση αυτή. Σε κάθε περίπτωση, η απόκλιση της λειτουργίας της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας από το ΣΜΙ της συγκεκριμένης κατάστασης, μπορεί να περιγραφεί από τον παράγοντα n_{NIT} , μη ιδανικής παρακολούθησης του ΣΜΙ, ο οποίος ενσωματώνεται στην ενεργειακή απόδοση της, n_{σ} . Ας θεωρήσουμε, μια Φωτοβολταϊκή συστοιχία ισχύος αιχμής P_p , η οποία δεχόμενη ηλιακή ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος G_t (POAI), αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια με ισχύ P_m , που αφορά στο σημείο μέγιστης ισχύος της κατάστασης λειτουργίας.

Διατυπώνουμε τη διατήρηση της ενέργειας, μεταξύ της εισερχόμενης, στη Φωτοβολταϊκή συστοιχία, ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και της αντίστοιχα παραγόμενης απ' αυτήν, μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος, για την πραγματική κατάσταση λειτουργίας και για την ιδανική περίπτωση των πρότυπων συνθηκών:

$$P_m = n_{\sigma} \cdot G_t \cdot S$$

$$P_p = n_{\sigma, \text{STC}} \cdot G_{\text{STC}} \cdot S$$

Όπου n_{σ} ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας στις συνθήκες λειτουργίας και $n_{\sigma, \text{STC}}$, ο αντίστοιχος συντελεστής απόδοσης στις πρότυπες συνθήκες και ιδανική λειτουργία, όπου όλοι οι επιμέρους συντελεστές, θεωρούνται ίσοι με 1. Απαλείφοντας το S , από τις σχέσεις παραπάνω, προκύπτει:

$$P_m = P_p \cdot \frac{n_{\sigma}}{n_{\text{STC}}} \cdot \frac{G_t}{G_{\text{STC}}}$$

Η τελευταία δίδει την στιγμιαία μέγιστη ηλεκτρική ισχύ της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ως συνάρτηση των στιγμιαίων τιμών του συντελεστή απόδοσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, n_{σ} και της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας. Η ολοκλήρωση της, ως προς το χρόνο, μέσα στην ημέρα, δίδει την ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια, E_s (λειτουργία στο ΣΜΙ). Η ολοκλήρωση αυτή, παρότι φαίνεται, δεν είναι απλή διαδικασία, απειδή ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης n_{σ} , είναι σύνθετη συνάρτηση παραγόντων που μεταβάλλονται μέσα στην ημέρα.

XIII. Συσχέτιση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με την ονομαστική συνατότητα μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας:

Το στοιχείο που ενδιαφέρει για τον προσδιορισμό του μεγεθούς της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, είναι η συμπεριφορά της κατά τη διάρκεια μιας ολοκληρωμένης χρονικής μονάδας (ημέρα, μήνα, έτος). Συνεπώς, είναι προφανής ο λόγος αξιοποίησης της έννοιας του λόγου επίδοσης PR_{σ} , της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Αν η φωτοβολταϊκή συστοιχία λειτουργούσε κάτω από τις πρότυπες συνθήκες η ηλεκτρική ενέργεια που θα μπορούσε να δώσει μέσα στην περίοδο T , δίδεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} E_{\sigma}(n_{\sigma,STC}, G_t) &= \int_T P_m(n_{\sigma,STC}, G_t) dt = \\ &= \int_T n_{\sigma,STC} \cdot S \cdot G_t dt = n_{\sigma,STC} \cdot S \cdot \int_T G_t dt = \\ &= n_{\sigma,STC} \cdot S \cdot H_t \end{aligned}$$

Συνεπώς, από τον ορισμό του λόγου επίδοσης PR_{σ} προκύπτει:

$$\begin{aligned} PR_{\sigma} &= \frac{E_{\sigma}}{n_{\sigma,STC} \cdot S \cdot H_t} = \frac{E_{\sigma}}{n_{\sigma,STC} \cdot S \cdot G_{STC}} \cdot \frac{G_{STC}}{H_t} \Rightarrow \\ &\Rightarrow PR_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{P_p} \cdot \frac{G_{STC}}{H_t} \end{aligned}$$

Όπου E , η πραγματικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Άρα,

$$E_{\sigma} = P_p \cdot PR_{\sigma} \cdot \frac{H_t}{G_{STC}}$$

6.2 ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΙ ΧΡΟΝΟΙ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ

✚ Ισοδύναμος χρόνος ηλιοφάνειας (Reference Yield, Y_r)

Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια μιας σχεδόν αίθριας ημέρας. Η ημερήσια πυκνότητα ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της συστοιχίας, είναι H_t . Για να εκτιμήσουμε το ηλιακό δυναμικό για την συγκεκριμένη ημέρα, ορίζουμε μια χρονική παράμετρο, $t_{H,STC}$, με βάση μια ιδεατή κατάσταση, κατά την οποία, η ίδια ημερήσια πυκνότητα ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας, H_t , προσπίπτει στο επίπεδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, στο χρόνο $t_{H,STC}$, με σταθερή πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας, ίση με αυτή των πρότυπων συνθηκών, G_{STC} . Ο χρόνος αυτός ονομάζεται ισοδύναμος χρόνος ηλιοφάνειας.

$$H_t = \int_0^{24} G_t dt = G_{STC} \cdot t_{H,STC}$$

Απ' όπου προκύπτει:

$$t_{H,STC} = \frac{H_t}{G_{STC}}$$

Οι τιμές του $t_{H,STC}$ καθορίζονται από τους ίδιους παράγοντες που καθορίζουν τις τιμές του H_t και κατά συνέπεια, εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την εποχή και τις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες στον τόπο αυτό. Με βάση τα δεδομένα της μέσης ημερήσιας πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας, προσδιορίζεται ο ισοδύναμος χρόνος ηλιοφάνειας στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

✚ Ισοδύναμος χρόνος αποδοτικότητας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας-Φωτοβολταϊκού συστήματος

Εκτός του ισοδύναμου χρόνου έκθεσης στο ηλιακό φως, $t_{H,STC}$, που περιγράφει την δυνατότητα εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζεται επίσης ο ο ισοδύναμος χρόνος αποδοτικότητας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, $t_{e,STC}$ και αντίστοιχα του Φωτοβολταϊκού συστήματος $t_{FBV,STC}$. Ο πρώτος αφορά το χρόνο έκθεσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε ηλιακή ακτινοβολία, πρότυπων συνθηκών, κατά τη διάρκεια του οποίου, θα μπορούσε να αποδώσει την ίδια ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια, την οποία απέδωσε λειτουργώντας στις συνθήκες που επικρατήσαν τη συγκεκριμένη ημέρα, στη θέση εγκατάστασης της. Αν λάβουμε υπόψιν τις ενεργειακές απώλειες από την έξοδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας

μέχρι τον πίνακα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας προς στα φορτία κατανάλωσης, τότε ο προσδιοριζόμενος χρόνος αναφέρεται στο Φωτοβολταϊκό σύστημα.

Σύμφωνα και με τα προηγούμενα μπορούμε να γράψουμε:

$$E_{\sigma} = P_p \cdot t_{\sigma, STC}$$

Έτσι προκύπτει για τον ισοδύναμο χρόνο αποδοτικότητας η ακόλουθη σχέση:

$$t_{\sigma, STC} = \frac{E_{\sigma}}{P_p} = PR_{\sigma} \cdot t_{H, STC}$$

Ο πραγματικός χρόνος ηλιοφάνειας είναι βεβαίως μεγαλύτερος.

Από την προηγούμενη ανάλυση προκύπτει ότι ο ισοδύναμος χρόνος αποδοτικότητας της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας προσδιορίζεται από στοιχεία που καθορίζουν το λόγο επίδοσης, PR σ .

Αν αντί της ηλεκτρικής ενέργειας στην έξοδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο του Φωτοβολταϊκού συστήματος, τότε ορίζεται ο ισοδύναμος χρόνος αποδοτικότητας του Φωτοβολταϊκού συστήματος.

$$t_{\Phi B \Sigma, STC} = \frac{E_{\Phi B \Sigma}}{P_p}$$

6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΙΧΜΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ

Με γνωστό το λόγο επίδοσης Φωτοβολταϊκής συστοιχίας για ορισμένο τόπο, μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ αιχμής, P $_p$, της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, έτσι ώστε να καλύπτονται, τουλάχιστον, οι ημερήσιες ενεργειακές απαιτήσεις των φορτίων της εφαρμογής, μέσα σε ορισμένη χρονική περίοδο χρήσης. Έστω E $_L$, η μηνιαία μέση ημερήσια ολική ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης της εφαρμογής, για δεδομένο μήνα. Η αποδιδόμενη από το Φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργεια, E $_{\Phi B \Sigma} = \eta_{\text{μετ}} \cdot E_{\sigma}$, πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον την απαιτούμενη ενέργεια από τα φορτία της εφαρμογής. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή έχουμε:

$$P_p = \frac{1}{PR_\sigma} \cdot \frac{G_{STC}}{H_t} \cdot \frac{E_L}{n_{\mu\epsilon\tau}}$$

$$\rightarrow P_p = \frac{1}{PR_\sigma} \cdot \frac{G_{STC}}{H_t} \cdot \left(\frac{E_{L,a}}{n_\alpha} + \frac{E_{L,a}}{n_\epsilon} \right)$$

Στην περίπτωση άμεσης και έμμεσης τροφοδοσίας των φορτίων της εφαρμογής έχουμε τους παραπάνω τύπους. Άρα αν προσδιορίσουμε το λόγο επίδοσης, PR_σ , της φωτοβολταϊκής συστοιχίας από προηγούμενες σχέσεις, μπορούμε, με δεδομένα την απολαβή της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη και την ενέργεια κατανάλωσης των φορτίων της εφαρμογής, να υπολογίσουμε την ισχύ αιχμής, P_p , της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, από τις παραπάνω σχέσεις. Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, για κάθε μήνα του έτους, δίδει τη δυνατότητα προσδιορισμού του μεγέθους της καταλληλότερης Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, η οποία οφείλει να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Προφανώς, αν καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά τον κρίσιμο μήνα της περιόδου χρήσης, τότε καλύπτει τις αντίστοιχες απαιτήσεις όλης της περιόδου.

6.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΝΟΣ ΤΟΠΟΥ

Πηγή: “Φωτοβολταϊκά συστήματα”, Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Στην παράγραφο αυτή, διαμορφώνονται οι προηγούμενες σχέσεις έτσι ώστε να προκύπτουν χαρακτηριστικά ενεργειακά στοιχεία για τη δυνατότητα αξιοποίησης μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας σ’ ένα τόπο. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν το Φωτοβολταϊκό δυναμικό του τόπου. Για να αναδειχθεί η σημασία των τοπικών αυτών χαρακτηριστικών, γίνεται αντιπροσωπευτική εφαρμογή για το νομό Ηρακλείου Κρήτης. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν ισχύουν με καλή προσέγγιση για όλους του υπολοίπους νομούς. Αναλογα αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν για άλλες τοποθεσίες, χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα των περιοχών αυτών. Γίνεται αναφορά εδώ για Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα και για Διασυνδεδεμένα στο δίκτυο Φωτοβολταϊκά συστήματα.

I. Τοπικά δεδομένα

Τυπικά στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας και λειτουργίας μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης:

- Μέση ετησίως ημερήσια πυκνότητα ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδο με γωνία κλίσης 25° :

$$\bar{H}_{t,y} = 5,4 \text{ kWh/m}^2 \text{ d}$$

- Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα:

$$\bar{\theta}_a \approx 20^\circ \text{ C}$$

- Τυπική ετήσια τιμή του λόγου επίδοσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας $PR_{\sigma}=0.80$ (συντελεστής γήρανσης, $n_{\gamma,m}=1$).
- Ο συντελεστής μεταφοράς $n_{\text{μετ}}$, λαμβάνεται ίσος, για μεν τα ΑΦΣ, $n_{\text{μετ}}=0,75$, για δε τα ΔΦΣ, $n_{\text{μετ}}=0,92$.

II. Αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά μονάδα ισχύος αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας-Αποδοτικότητα Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, Y_{σ} (Array Yield)

Έχουμε:

$$Y_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{P_p} = PR_{\sigma} \cdot \frac{H_t}{G_{STC}}$$

Με βάση τα στοιχεία των τοπικών δεδομένων και θέτοντας όπου $\overline{H_t} = H_{t,y}$, έπεται:

$$Y_{\sigma} = 0,80 \cdot \frac{5,4 \text{ kWh/m}^2 \cdot d}{1 \text{ kW/m}^2} \approx 4,3 \frac{\text{kWh}}{\text{kW}_p \cdot d}$$

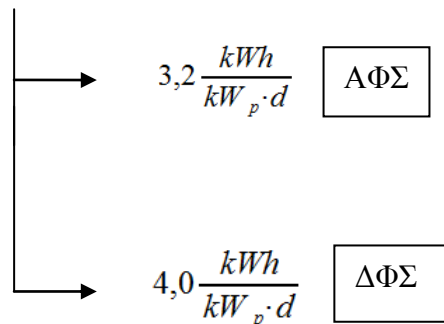
Άρα λοιπόν για το παράδειγμα εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού σε οικία στο Ηράκλειο Κρήτης θα έχουμε:

$$Y_{\sigma,y} \approx 1580 \frac{\text{kWh}}{\text{kW}_p \cdot y}$$

III. Ισχύς αιχμής Φωτοβολταϊκής συστοιχίας ανά μονάδα αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην έξοδο του Φωτοβολταϊκού συστήματος:

Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του $n_{\text{μετ}}$, για ΑΦΣ και ΔΦΣ, έχουμε:

$$Y_{\Phi\text{BS}} = \frac{E_{\Phi\text{BS}}}{P_p} = n_{\text{μετ}} \cdot Y_{\sigma}$$



Η ζητούμενη ισχύς αιχμής αν' kWh ζήτησης προκύπτει από το αντίστροφο της $Y_{\Phi\text{BS}}$:

$$\frac{P_p}{E_{\Phi\text{BS}}} = \frac{1}{Y_{\Phi\text{BS}}} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{ΑΦΣ: } 310 \text{ Wp/kWh} \\ \text{ΔΦΣ: } 250 \text{ Wp/kWh} \end{cases}$$

Δηλαδή,

- Για να καλυφθεί μέση ετησίως ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 1kWh, στην Κρήτη, απαιτείται Φωτοβολταϊκή συστοιχία (c-Si) ισχύος αιχμής 310 W_p, για ΑΦΣ και 250 W_p, για ΔΦΣ.
- Φωτοβολταϊκή συστοιχία c-Si, εγκατεστημένη στην Κρήτη, ισχύος αιχμής 1kW_p καλύπτει, κατά μέσο όρο, κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ~3,2kWh, ημερησίως ή ~1170 kWh, ετησίως, για ΑΦΣ και ~4,0kWh, ημερησίως ή ~1460kWh, ετησίως για ΔΦΣ.

IV. Επιφάνεια Φωτοβολταϊκής συστοιχίας ανά μονάδα αποδιδόμενης προς την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

$$Y_{\Phi B \Sigma} = \frac{E_{\Phi B \Sigma}}{P_p} = \frac{E_{\Phi B \Sigma}}{n_{\sigma, STC} \cdot S \cdot G_{STC}}$$

Συνεπώς,

$$\frac{S}{E_{\Phi B \Sigma}} = \frac{1}{Y_{\Phi B \Sigma} \cdot n_{\sigma, STC} \cdot G_{STC}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sim 2,2 \text{m}^2 (\text{ΦΒ πλαισίων c-Si}(14\%)/\text{kWh αποδ.ηλ.ενερ. ανα} \\ \text{ημερα}) \text{ ΑΦΣ} \\ \sim 1,82 \text{m}^2 (\text{ΦΒ πλαισίων c-Si}(14\%)/\text{kWh αποδ.ηλ.ενερ. ανα} \\ \text{ημερα}) \text{ ΔΦΣ} \end{array} \right.$$

**Η σχέση αυτή δίνει την απαραίτητη επιφάνεια των Φωτοβολταϊκών πλαισίων (Κρυσταλικού Πυριτίου, c-Si) μιας συστοιχίας, η οποία είναι σε θέση να καλύψει ημερησίως 1kWh ηλεκτρικής κατανάλωσης, κατά μέσο όρο, όλο το έτος.

V. Μέσος ετήσιος συντελεστής απόδοσης του Φωτοβολταϊκού συστήματος:

Ο ολικός συντελεστής απόδοσης της Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, $n_{\Phi B \Sigma}$, παίρνει την επόμενη αναλυτική μορφή:

$$n_{\Phi B \Sigma} = \frac{E_{\Phi B \Sigma}}{H_{t,y} \cdot S} = \frac{Y_{\Phi B \Sigma} \cdot n_{\sigma, STC} \cdot G_{STC}}{H_{t,y}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \mathbf{A\Phi\Sigma} & 8\% \\ \mathbf{\Delta\Phi\Sigma} & 10\% \end{cases}$$

Συνεπώς, σε γενικές γραμμές:

Το 8% για ΑΦΣ ή το 10% για ΔΦΣ, της διαθέσιμης πυκνότητας ημερήσιας ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας, στο επίπεδο μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας εγκαταστημένης στην Κρήτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικές εφαρμογές.

ή

Από 1970 kWh/m², που προσφέρει ο ήλιος, κατά μέσο όρο το έτος, σε Φωτοβολταϊκά στοιχεία c-Si εγκατεστημένα στην Κρήτη με τη βέλτιστη γωνία κλίσης, μπορούν να αξιοποιηθούν, τελικά, ως ηλεκτρική ενέργεια, ~160 kWh/m² για ΑΦΣ, ή ~200 kWh/m² για ΔΦΣ.

6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ:

Ας υποθέσουμε ότι για την αποθήκευση της παραγόμενης Φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, έχει επιλεγεί συστοιχία συσσωρευτών, συνολικής ονομαστικής χωρητικότητας C_0 . Η αποθηκευμένη ενέργεια χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών, είτε απ' ευθείας, ως ενέργεια συνεχούς ρεύματος είτε μετά από μετατροπή, ως ενέργεια εναλλασσομένου ρεύματος. Έστω ότι μια δεδομένη χρονική στιγμή, κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης του συσσωρευτή, η πολική τάση είναι $V(t)$. Μέσα σε στοιχειώδη χρόνο, dt , το στοιχειώδες ποσό ενέργειας που παρέχει ο συσσωρευτής, υπό τάση $V(t)$, είναι $V(t)dq = -V(t)dC$, όπου dC , η στοιχειώδης μεταβολή της χωρητικότητας του συσσωρευτή, ίση απολύτως με το αποδιδόμενο στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο. Μέσα σε χρόνο t , από την αρχή της εκφόρτισης, το συνολικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας E_c και το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που έδωσε ο συσσωρευτής είναι:

$$E_c = - \int V(t) dC$$

Και

$$Q = \Delta C = - \int dC$$

Αντίστοιχα.

Η τάση $V(t)$ είναι συνάρτηση της κατάστασης φόρτισης (SOC) του συσσωρευτή, η οποία αφορά στο λόγο $SOC = C(t)/C_{αρχ}$, όπου $C_{αρχ}$, η αρχική χωρητικότητα του συσσωρευτή. Αν υποθέσουμε ότι ο συσσωρευτής λειτουργούσε ως ιδανική πηγή σταθερής τάσης. Τότε για να αποδώσει την ίδια, όπως προηγουμένως, ηλεκτρική ενέργεια (E_c), μετακινώντας το ίδιο συνολικό ηλεκτρικό φορτίο (ΔC), θα έπρεπε να διατηρεί στους πόλους του, σταθερή πολική τάση V_{st} . Η τάση αυτή προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E_c = V_{st} \cdot \Delta C = - \int_{C_{αρχ}}^{C_{τελ}} V dC$$

Όπου $\Delta C = C_{αρχ} - C_{τελ} = \beta_{εκφ} \cdot C_{αρχ}$, η μεταβολή της χωρητικότητας του συσσωρευτή. Η ΔC ισούται με το συνολικό φορτίο που απέδωσε κατά την εκφόρτιση του, από $C_{αρχ}$ σε $C_{τελ}$ και $\beta_{εκφ}$, το βάθος εκφόρτισης, που ισούται με την ποσοστιαία ελάττωση της χωρητικότητας, ανά κύκλο λειτουργίας. Με καλή προσέγγιση, η ισοδύναμη τάση V_{st} ισούται με την ονομαστική τάση, V_B , του συσσωρευτή (2 Volt ανά στοιχείο επί το πλήθος των στοιχείων). Σημειώστε ότι η πολική τάση του συσσωρευτή ξεκινά από 13,5V (πλήρως φορτισμένος συσσωρευτής) και διακόπτεται όταν η τάση ελαττωθεί σε ~10,5..11V. Αν υποθέσουμε, για απλότητα, γραμμική εξάρτηση της C από την τάση, η μέση τάση εκφόρτισης προκύπτει ~12V. Με βάση αυτή την προσέγγιση, το δεξιό τμήμα, στην προηγούμενη σχέση, γράφεται $V_B \cdot \Delta C$. Συνεπώς, η συνολική ηλεκτρική ενέργεια $E_{\Sigma A}$, που μπορεί να αποδοθεί από το σύστημα αποθήκευσης προς την κατανάλωση, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες από το συσσωρευτή μέχρι την έξοδο του συστήματος, ισούται με:

$$E_{\Sigma A} = n_{εκφ} \cdot V_B \cdot \beta_{εκφ} \cdot C_{αρχ}$$

Όπου $n_{εκφ} = n_D \cdot n_w \cdot n_{inv}$, ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας δια του κυκλώματος εκφόρτισης. Ισούται με το γινόμενο των αναγραφόμενων συντελεστών, που αφορούν στις ενεργειακές απώλειες στα επιμέρους στοιχεία του κυκλώματος:

Στη δίοδο, στη γραμμή μεταφοράς μέχρι τον inverter και στον inverter. Αν η τροφοδοσία των φορτίων κατανάλωσης γίνεται με συνεχές ρεύμα (π.χ. απ'ευθείας από το συσσωρευτή), τότε, στον προσδιορισμό του $n_{\text{εκφ}}$, τίθεται απλά $n_{\text{inv}}=1$.

Η απαίτηση κάλυψης, κατ'ελάχιστον, της ενέργειας κατανάλωσης, $E_{L,\varepsilon}$, από την αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια, $E_{\Sigma A}$, σε κάθε κύκλο λειτουργίας του συστήματος, επιβάλλει την ισότητα:

$$E_{L,\varepsilon} = E_{\Sigma A}$$

ή

$$E_{L,\varepsilon} = n_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot C_{\text{αρχ}} \cdot V_B$$

Λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση της χωρητικότητας, λόγω γήρανσης, στη θέση του $C_{\text{αρχ}}$, θέτουμε $n_{\gamma,B} \cdot C_0$, όπου $n_{\gamma,B}$, ο παράγων γήρανσης συσσωρευτή ώστε στο τέλος των κύκλων ζωής του, η απομένουσα χωρητικότητα να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Για ευκολία συμβολισμών και όπου δεν απαιτείται ιδιαίτερη διάκριση, θα χρησιμοποιούμε το σύμβολο C , στη θέση του C_0 . Τελικά, από την τελευταία σχέση, με βάση την προηγούμενη ανάλυση, προκύπτει μια απλή σχέση για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ονομαστικής χωρητικότητας, C , του συστήματος αποθήκευσης:

$$C = \frac{m \cdot E_{L,\varepsilon}}{n_{\gamma,B} \cdot n_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot V_B}$$

Όπου m , ο συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών φορτίων, με τιμές μέχρι 1,2, για πιθανή αποτίμηση των φορτίων της εφαρμογής ή πιθανή μελλοντική προσθήκη νέων. Στην περίπτωση που η αποθηκευμένη στο συσσωρευτή ενέργεια καλύπτει τη συνολική ενεργειακή απαίτηση της εφαρμογής, τότε θέτουμε $E_{L,\varepsilon}=E_L$.

6.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΒΑΘΟΥΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ

Σ' αυτή την παράγραφο διερευνούμε τους παράγοντες που καθορίζουν τα όρια του βάθους εκφόρτισης ενός συσσωρευτή, με γνώμονα τη χρυσή τομή μεταξύ της διασφάλισης πολλών κύκλων λειτουργίας σε συνδιασμό με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και της επιδίωξης χαμηλού κόστους. Για να οδηγηθούμε στην συνθήκη περιορισμού του βάθους εκφόρτισης συσσωρευτή ο οποίος επαναφορτίζεται μέσω Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ακολουθούμε τα επόμενα βήματα:

- Το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή αποτελεί το συνολικό ρεύμα λειτουργίας από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία. Θεωρούμε ότι το σημείο λειτουργίας συμπίπτει, όπως είναι επιθυμητό, με το σημείο μέγιστης ισχύος. Το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή, I_{φ} , είναι ανάλογο με το μέγιστο συνολικό ρεύμα που παρέχει η Φωτοβολταϊκή συστοιχία, I_m , κάτω από τις δεδομένες συνθήκες φωτισμού. Το ρεύμα αυτό ακολουθεί μια σχεδόν αναλόγική εξάρτηση από την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Συνεπώς, με καλή προσέγγιση μπορούμε να γράψουμε:

$$I_{\varphi} = I_{m,STC} \cdot \frac{G_t}{G_{STC}}$$

- Το ρεύμα, I_{φ} , κατά τις μεσημεριανές ώρες μιας αίθριας μέρας, παίρνει τη μέγιστη τιμή του, ίση με

$$I_{\varphi, m} = I_{m,STC} \cdot \frac{G_m}{G_{STC}}$$

Όπου G_m , η μέγιστη τιμή της πυκνότητας ισχύος, στο επίπεδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, κατά το ηλιακό μεσημέρι της αίθριας ημέρας.

- Αυτό το μέγιστο ρεύμα φόρτισης, πρέπει να υπακούει στην εμπειρική συνθήκη φόρτισης:

$$I_{\varphi, m} \leq \frac{C}{t_c}$$

Όπου $t_c=10h$, ο τυπικός χρόνος φόρτισης για συσσωρευτές ενισχυμένου τύπου.

- Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει:

$$I_{m,STC} \leq \frac{C}{t_c} \cdot \frac{G_{STC}}{G_m}$$

- Ολοκληρώνοντας την πρώτη σχέση μέσα στην διάρκεια της ημέρας, προκύπτει το ηλεκτρικό φορτίο που προσφέρει η Φωτοβολταϊκή συστοιχία στο συσσωρευτή, μέσα στην ημέρα. Μέρος του φορτίου αυτού, σύμφωνα με την απόδοση φορτίου, n_q , του συσσωρευτή, καλύπτει το φορτίο που αποδίδεται στην κατανάλωση κατά την εκφόρτιση του:

$$\begin{aligned} \Delta C &= n_q \int_{t_a}^{t_\delta} I_\varphi dt \Rightarrow \Delta C = n_q \frac{I_{m,STC}}{G_{STC}} \int_{t_a}^{t_\delta} G_t dt \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta C = n_q \frac{I_{m,STC}}{G_{STC}} \cdot H_t \end{aligned}$$

- Συνδιάζοντας τις παραπάνω σχέσεις έχουμε:

$$\Delta C \leq n_q \frac{C}{t_c} \frac{H_t}{G_m}$$

Άρα τελικά πέρνουμε:

$$\beta_{εκφ} \leq \beta_{εκφ,ορ}, \quad \text{με } \beta_{εκφ,ορ} = \frac{n_q \cdot H_t}{G_m \cdot t_c}$$

Όπου $\beta_{εκφ} = \Delta C / C$, το βάθος εκφόρτισης και $\beta_{εκφ,ορ}$, το οριακό βάθος εκφόρτισης συσσωρευτή, χαρακτηριστικό των μετεωρολογικών δεδομένων του τύπου εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού συστήματος.

Σημείωση:

Η τελευταία συνθήκη αποτελεί κριτήριο περιορισμού του βάθους εκφόρτισης του συσσωρευτή, σύμφωνα με το οποίο, το βάθος εκφόρτισης $\beta_{εκφ}$, πρέπει να παραμένει μικρότερο του $\beta_{εκφ,ορ}$, καθόλη τη διάρκεια της λειτουργίας του Φωτοβολταϊκού συστήματος. Για να σχηματίσουμε μια εικόνα για το μέγεθος του επιβαλλόμενου περιορισμού, υπολογίζουμε το $\beta_{εκφ,ορ}$, για χαρακτηριστικές τιμές του λόγου H_t/G_m , για την Κρήτη. Προσεγγιστικά, η τιμή του λόγου H_t/G_m , ισούται πρακτικά, με $\tau/2$, όπου τ , η διάρκεια του ημερήσιου τόξου. Ο χρόνος τ , για την Κρήτη, παίρνει τιμές από ~9h (χειμώνας) έως ~15h (καλοκαίρι). Συνεπώς, ο λόγος H_t/G_m κυμαίνεται μεταξύ ~4,5h (χειμώνας) και ~7,5h (καλοκαίρι). Άρα, με $\eta_q=0,9$, το οριακό βάθος εκφόρτισης, $\beta_{εκφ,ορ}$, του συσσωρευτή παίρνει τιμές από 0,4 (χειμώνας) έως 0,7 (καλοκαίρι). Άρα σε ετήσια βάση, το βάθος εκφόρτισης πρέπει να είναι μικρότερο του 40%. Η κρίσιμη περίοδος για τον ημερήσιο κύκλο λειτουργίας ενός συσσωρευτή, ο οποίος φορτίζεται από Φωτοβολταϊκό σύστημα, είναι προφανώς, ο χειμώνας (χαμηλές θερμοκρασίες επιβάλλουν μικρά πραγματικά βάθη εκφόρτισης).

6.7 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ:

Πηγή: “Φωτοβολταϊκά συστήματα”, Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Θεωρούμε ότι η Φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από N Φωτοβολταϊκά πλαίσια και ταυνομημένα σε N_p κλάδους, συνδεδεμένου παράλληλα, ο καθένας από τους οποίους συνίσταται από N_s πλαίσια, συνδεδεμένα σε σειρά.

Πρέπει να ισχύει λοιπόν: $N_p \times N_s = N$

Στην συνέχεια αναλύονται τα κριτήρια, με βάση τα οποία προσδιορίζεται το πλήθος των Φωτοβολταϊκών πλαισίων δεδομένης της ισχύος αιχμής εκάστου, η οποία θεωρείται για όλα ίδια, για λόγους αποφυγής απωλειών εξαιτίας ανομοιογένειας. Αυστηρότερα, για την ομοιογενή συμπεριφορά, απαιτούνται ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού πλαισίου κάτω από τις ίδιες πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

✚ Πρώτη εκτίμηση του συνολικού αριθμού των Φωτοβολταϊκών πλαισίων της συστοιχίας, με κριτήριο την ισχύ αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Αφού υπολογίσουμε την ισχύ αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, καθορίζουμε, στη συνέχεια, την ισχύ αιχμής, P_{p1} , του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, που αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή, ως δομική μονάδα το συστήματος. Κρίνεται, λοιπόν, σκόπιμο να καθορισθεί μια περιοχή τιμών της P_{p1} , δεδομένου του ότι Φωτοβολταϊκά πλαίσια του ίδιου κατασκευαστή, αλλά διαφορετικής ισχύος αιχμής, μπορεί να προταθούν από ένα ή περισσότερους προμηθευτές, με διαφορετικό μάλιστα κόστος ανά W_p . Αυτό μπορεί να οφείλεται, είτε στην εμπορική πολιτική του προμηθευτή είτε στην αυξημένη εμπορικότητα ορισμένης ισχύος αιχμής Φωτοβολταϊκών πλαισίων έναντι άλλων. Με βάση την κάθε τιμή P_{p1} , υπολογίζουμε την αντίστοιχη τιμή, N , του πλήθους των Φωτοβολταϊκών πλαισίων, που δίδουν ισχύ αιχμής συστήματος ίση με P_p . Η τελική τιμή του N , την οποία ας συμβολίσουμε με N^* , θα δαμορφωθεί με βάση την απχίτηση, το πλήθος τους να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του αριθμού των παράλληλων κλάδων, N_p , της συνδεσμολογίας του συστήματος. Αρχικά, υπολογίζουμε το N ως το ακέραιο μέρος της στρογγυλοποίησης προς τα άνω της τιμής του πηλίκου P_p/P_{p1} ,

$$N = \left[\frac{P_p}{P_{p1}} \right]$$

**Το σύμβολο $[\]$ χρησιμοποιείται εδώ για να δηλώσει την πράξη της στρογγυλοποίησης προς τα άνω, του περιεχόμενου δεκαδικού αριθμού.

✚ Κριτήριο επιτρεπόμενων τιμών τάσεως και συνολικού ρεύματος Φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Θεωρούμε την προηγούμενη διάταξη N_p παράλληλων κλάδων, ο καθένας από τους οποίους περιέχει N_s Φωτοβολταϊκά πλαίσια, συνδεδεμένα σε σειρά. Η τάση στην έξοδο μιας Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, δεδομένου πλήθους πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά, καθορίζεται αφενός από την ισοδύναμη αντίσταση στην έξοδο της αφετέρου από την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' αυτή. Επιδίωξη μας είναι, το σύστημα να λειτουργεί κάθε στιγμή, στο εκάστοτε σημείο μέγιστης ισχύος, με αντίστοιχη τάση εξόδου $V_{m,\sigma}$, ίση με $V_{m,\sigma} = N_s \times V_m$, όπου V_m , η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, στις συνθήκες λειτουργίας.

Η τάση $V_{m,\sigma}$, αποτελεί παράμετρο προσαρμογής στις προδιαγραφές της εφαρμογής και στις τεχνικοοικονομικές απαιτήσεις της. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι επόμενες περιπτώσεις:

- Αποθήκευση σε συσσωρευτές, χωρίς την παρεμβολή dc-dc converter. Η τάση $V_{m,\sigma}$ φροντίζουμε να υπερκαλύπτει τη μέγιστη επιτρεπτή τάση φόρτισης του συσσωρευτή, η οποία προσεγγιστικά ισούται με $\sim 1,2 \times V_B$, όπου V_B , η ονομαστική τάση του συσσωρευτή.
- Μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία σε συσσωρευτές, με χρήση dc-dc converter. Τότε $V_{m,\sigma}$ ισούται με την τάση στην είσοδο του converter. Η τάση αυτή, σύμφωνα με το κριτήριο τάσης, που αναφέρεται στη συνέχεια, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 600V.
- Μετατροπή συνεχούς σε εναλλασσόμενη τάση μέσω inverter. Τότε $V_{m,\sigma} = V_{εις,inv}$. Αν η Φωτοβολταϊκή συστοιχία συνδέεται απευθείας με τον inverter, χωρίς την παρουσία συσσωρευτή, τότε λαμβάνεται υπόψη η περιοχή τάσεων εισόδου του inverter, σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

✚ Προσδιορισμός του αριθμού των Φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά:

Σε κάθε περίπτωση, το πλήθος των Φωτοβολταϊκών πλαισίων που πρέπει να συνδεθούν σε σειρά, προσδιορίζεται από την ονομαστική τάση εισόδου, V_N , της διάταξης, θέτοντας $V_{m,\sigma} \approx V_N$, από τη σχέση:

$$N_s = \left[\frac{V_N}{V_m} \right]$$

Το ολικό ρεύμα της συστοιχίας (απ' όλους τους παράλληλους κλάδους), ισούται με $I_s = I_p = N_p \cdot I_m$, όπου I_m , το ρεύμα του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος. Η αναφερόμενη τιμή του στις τεχνικές προδιαγραφές του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, αφορά σε πρόθυπες συνθήκες λειτουργίας (STC). Η τάση

$V_{m,\sigma}$ και το ολικό ρεύμα I_{σ} , από τη Φωτοβολταϊκή συστοιχία, πρέπει να ικανοποιούν τους επόμενους δύο περιορισμούς, αντιστοίχως:

A. Περιορισμός μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης στην έξοδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας:

Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη επιτρεπτή τάση για μια Φωτοβολταϊκή συστοιχία καθορίζεται σε 600V. Η μέγιστη τάση που μπορεί να εμφανιστεί στην έξοδο της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας αντιστοιχεί στο άθροισμα των τάσεων ανοιχτού κυκλώματος, η τιμή της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του Φωτοβολταϊκού στοιχείου και την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της συστοιχίας. Χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή G_t , έχουν ως συνέπεια την αύξηση της V_{oc} , πιθανότατα πάνω από την ονομαστική της τιμή. Για την κλαυση αυτών των καταστάσεων, που είναι πιθανές, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών, με υψηλές τιμές G_t , καθορίζονται διορθωτικοί συντελεστές. Για πιθανές χαμηλότερες θερμοκρασίες περιοχής, όπως αυτές που αναφέρονται στον επόμενο πίνακα, η αναμενόμενη τάση ανοιχτού κυκλώματος Φωτοβολταϊκού πλαισίου, προκύπτει από την ονομαστική με πολλαπλασιασμό της επί τον αντίστοιχο συντελεστή της δεξιάς στήλης.

Χαμηλότερη πιθανή θερμοκρασία περιοχής °C	Συντελεστής διόρθωσης τάσεως, $n_{\delta,v}$
10	1.08
0	1.10
-10	1.13
-20	1.17
-40	1.25

Πίνακας: Συντελεστής διόρθωσης τάσεως σε σχέση με την χαμηλότερη πιθανή θερμοκρασία της περιοχής.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το πλήθος των συνδεδεμένων σε σειρά, Φωτοβολταϊκών πλαισίων, που έχει προκύψει από τη τελευταία σχέση, πρέπει να ικανοποιεί το επόμενο κριτήριο:

$$N_{\sigma} \leq \left[\frac{V_{max}}{n_{\delta,v} \cdot V_{oc}} \right]$$

Όπου V_{oc} , η ονομαστική τάση ανοιχτού κυκλώματος Φωτοβολταϊκού πλαισίου και $n_{\delta,v}$, ο συντελεστής διόρθωσης τάσης, που αντιστοιχεί στην ελάχιστη πιθανή θερμοκρασία της περιοχής.

B. Περιορισμός ολικού μεγίστου ρεύματος συστοιχίας, για τη φόρτιση συσσωρευτών:

Εξετάζουμε την περίπτωση που το ρεύμα της συστοιχίας φορτίζει τη μοναδική συστοιχία συσσωρευτών του συστήματος. Το ρεύμα φόρτισης I_f του συσσωρευτή, ου περιορίζεται με βάση την ανισότητα $I_f \leq C/10$, σχετίζεται άμεσα με το ρεύμα, που παρέχει η συστοιχία στο κύκλωμα φόρτισης. Κατά συνέπεια, το πλήθος των παράλληλων κλάδων, που καθορίζει το I_f , πρέπει να είναι τόσο ώστε να προκύπτει επαρκές ρεύμα φόρτισης, μέσα στα πλαίσια του προηγούμενου περιορισμού. Οι κατασκευαστές παρέχουν ως τεχνικό στοιχείο, το ρεύμα μέγιστης ισχύος σε STC. Υψηλότερη πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας Φωτοβολταϊκού πλαισίου, προκαλούν αντιστοιχες μεταβολές. Η προκαλούμενη μεταβολή του I_m , λόγω αύξησης θερμοκρασίας, είναι πρακτικά, ασήμαντη. Αντίθετα, αύξηση της G_t , πέραν της τιμής της σε πρότυπες συνθήκες (1000 W/m^2), προκαλεί σχεδόν αναλογική αύξηση του I_m . Σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας σε σύννεφα, σε συνδιασμό με την διερχόμενη διαμέσου διακένου στα σύννεφα, μπορεί να προκαλέσει ισχυρή αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Η κατάσταση αυτή είναι μικρής πιθανότητας και βαρύτητας. Γενικά, μπορούμε να δεχθούμε ένα συντελεστή διόρθωσης ρεύματος φόρτισης, $n_{\delta,I}$, ίσο με $n_{\delta,I}=1.15$, προκειμένου να ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό της πραγματικής πιθανής τιμής του ρεύματος φόρτισης του συσσωρευτή του συστήματος. Συνεπώς το μέγιστο πιθανό ολικό ρεύμα συστοιχίας, που αντιστοιχεί σε κατάσταση βραχυκύκλωσης, αρκεί να πληροί την επόμενη συνθήκη:

$$n_{\delta,I} \cdot N_{\pi} \cdot I_{m,STC} \leq \frac{C}{t_c}$$

Όπου $I_{m,STC}$, το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος σε STC και C , η υπολογισθείσα ονομαστική τιμή της χωρητικότητας του συσσωρευτή και $t_c=10\text{h}$.

✚ Προσδιορισμός του πλήθους των παράλληλων κλάδων της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας:

Με γνωστά τα N και N_{σ} υπολογίζουμε το πλήθος των παράλληλων κλάδων, N_{π} , από τη σχέση:

$$N_{\pi} = \left[\frac{N}{N_{\sigma}} \right]$$

Ο ακέραιος N_{π} πρέπει να επαληθεύει την τελευταία ανισότητα που γράψαμε. Τελικά το πλήθος N^* , των απαιτούμενων Φωτοβολταϊκών πλαισίων δίδεται από τη σχέση:

$$N^* = N_{\pi} \times N_{\sigma}$$

✚ Κριτήριο οικονομικού κόστους των Φωτοβολταϊκών πλαισίων:

Σημειώνεται το κόστος $C_{\Phi B}$, της μονάδας ισχύος αιχμής του Φωτοβολταϊκού πλαισίου, εκφρασμένο σε μοισματικές μονάδες ανά W_p .

✚ Τελικό τεχνοοικονομικό κριτήριο επιλογής:

Με βάση την προηγούμενη ανάλυση, προκύπτει ένα από τα βασικά κριτήρια επιλογής των Φωτοβολταϊκών πλαισίων εκείνων, μεταξύ των προσφερόμενων, το οποίο συνδιάζει τις τεχνικές απαιτήσεις της εφαρμογής, με την απαίτηση για ελαχιστοποίηση του κόστους προμήθειας των Φωτοβολταϊκών πλαισίων. Το κριτήριο αυτό σ' εκείνο το N^* , με το ελάχιστο γινόμενο:

$$N^* \cdot P_{pl} \cdot C_{\Phi B} = \text{Ελάχιστο}$$

Όπου N^* έχει προκύψει από τα προηγούμενα βήματα (κριτήρια Α και Β), για το Φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισχύος αιχμής P_{pl} και $C_{\Phi B}$ το κόστος ανά W_p , του Φωτοβολταϊκού πλαισίου.

7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΗ ΧΡΗΣΗ:

Πηγή: “Φωτοβολταϊκά συστήματα”, Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Για τον υπολογισμό του πραγματικού συνολικού κόστους ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος (κόστος προμήθειας, εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας), ακολουθούνται τα επόμενα βήματα:

- ❖ Με βάση το επιτόκιο αναγωγής d (discount rate), που μπορεί να είναι επιτόκιο δανεισμού, προεξόφλησης, επένδυσης ή καταθέσεων και τον τρέχοντα πληθωρισμό (inflation), I , υπολογίζεται το αποπληθωρισμένο επιτόκιο, r , από τη σχέση:

$$r = \frac{1+d}{1+i} - 1 = \frac{d-i}{1+i}$$

- ❖ Υπολογίζεται το ολικό κόστος κύκλου ζωής της επένδυσης (Life Cycle Cost), LCC, το οποίο συνίσταται από:
 - ✓ Το αρχικό κόστος επένδυσης (κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του αρχικού συστήματος), C_0
 - ✓ Καθορίζεται η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης/επένδυσης, N έτη
 - ✓ Το ολικό κόστος αντικατάστασης τμημάτων του συστήματος, $C_{R,X}$, προκύπτει ως άθροισμα των τιμών κόστους αντικατάστασης, $C_{R,X}$, όλων των αντικαθιστούμενων τμημάτων X (π.χ. συσσωρευτών, Η/Ζ ή inverters), στο χρόνο ζωής του συστήματος, N . Το $C_{R,X}$ για το τμήμα X προκύπτει με αναγωγή του κόστους αντικατάστασης του στο έτος αρχικής επένδυσης του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του αντίστοιχου παράγοντα παρούσας αξίας (Present Value Factor),

$$PVF = (1+r)^{-n}$$

Όπου n το έτος αντικατάστασης του τμήματος X . Ο παράγον αυτός μπορεί να γραφεί με την επόμενη αναλυτική μορφή:

$$PVF_{X,j} = (1+r)^{-j \cdot N_{R,X}}$$

Όπου, $N_{R,X}$, η περίοδος αντικατάστασης του τμήματος X και j , οι φορές αντικατάστασης του μέσα στο χρόνο ζωής N του συστήματος ($j=1\dots v_x$, όπου v_x το ακέραιο μέρος του κλάσματος $N/N_{R,X}$ και $n=j \cdot N_{R,X}$).

Δηλαδή,

$$C_R = \sum_X C_{R,X}$$

$$\text{με } C_{R,X} = \sum_j^{v_x} PVF_{X,j} \cdot C_{R,X,j}$$

Όπου, $C_{R,X,j}$, το κόστος αντικατάστασης του τμήματος X , το έτος $j \cdot N_R$. Το κόστος αυτό λαμβάνεται συνήθως σταθερό ίσο με το κόστος αρχικής αγοράς του, $C_{0,X}$.

- ✓ Το ολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος ανά έτος, που προκύπτει με αναγωγή του ολικού ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας των τμημάτων του, θεωρούμενο σταθερό ανά έτος, σε παρούσα αξία, με αναφορά στο χρόνο ζωής του συστήματος, μέσω του παράγοντα ανάκτησης κεφαλαίου, CRF (Capital Recovery Factor)

$$CRF = \frac{r}{1 - (1+r)^{-N}}$$

Αν $C_{OM,y}$ είναι το ολικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας (Operation & Maintenance) του συστήματος, ανά έτος, για N έτη, η παρούσα αξία του, C_{OM} , είναι:

$$C_{OM} = \frac{C_{OM,y}}{CRF}$$

Στην περίπτωση $i=d$, στη θέση του CRF τίθεται $1/N$.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το ολικό κόστος κύκλου ζωής της επένδυσης, LCC, δίδεται από τη σχέση:

$$LCC = C_0 + C_R + C_{OM} - S$$

Όπου S , η απομένουσα αξία του συστήματος στο τέλος του χρόνου ζωής του.

- ✓ Υπολογίζεται το Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος, ΚΕΟΟ, αποτελούμενο από το Άμεσο Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος, ΑΚΕΟΟ και το Έμμεσο Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος, ΕΚΕΟΟ,

$$ΚΕΟΟ = ΑΚΕΟΟ + ΕΚΕΟΟ$$

Όπου το ΑΚΕΟΟ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ΑΚΕΟΟ = (\text{ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΕΤΟΣ, ΣΕ ΗΜΕΡΕΣ}) \\ \times (\text{ΚΟΣΤΟΣ kWh}) \times (\text{ΠΛΗΘΟΣ ΦΒ kWh ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ})$$

Εμπειρικά προκύπτει ότι **ΕΚΕΟΟ=50% ΑΚΕΟΟ**

Άρα, **ΚΕΟΟ=1,5 × ΑΚΕΟΟ**

Το ΕΚΕΟΟ είναι αποτέλεσμα:

1) Του περιορισμού της οικολογικής επιβάρυνσης, λόγω της χρήσης Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

2) Της μείωσης των πρόσθετων κοινωνικών δαπανών, που προκαλούνται από τη χρήση των συμβατικών καυσίμων π.χ. ιατρική και φαρμακευτική περίθαλψη, πρόωρη σύνταξη κ.α.

Παρατήρηση:

Όταν το ΕΚΕΟΟ δεν αποτιμάται τότε

$$ΚΕΟΟ = ΑΚΕΟΟ$$

- ✓ Η καθαρή παρούσα αξία, ΚΠΑ, της επένδυσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$ΚΠΑ = \frac{ΚΕΟΟ}{CRF} - C_0$$

Η επένδυση χαρακτηρίζεται ως βιώσιμη, από το έτος Ν εκείνο ($N = N_{ΕΠΑ}$, Έντονη Περίοδος Αποπληρωμής), από το οποίο και μετά η ΚΠΑ καθίσταται θετική. Το $N_{ΕΠΑ}$ προκύπτει απ' τη σχέση του ΚΠΑ, θέτοντας $ΚΠΑ(N_{ΕΠΑ}) = 0$.

$$N_{EΠA} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{r \cdot C_0}{KEO0}\right)}{\ln(1+r)}$$

- ✓ Το κόστος ενέργειας (COE), δηλαδή, το κόστος της παραγόμενης, από το σύστημα, ηλεκτρικής kWh, προκύπτει διαιρώντας το ολικό ετήσιο κόστος της επένδυσης (Annualised LCC=ALCC), $ALCC=LCC \cdot CRF$, δια της ετησίως παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, E_y , σε kWh,

$$COE = \frac{LCC \cdot CRF}{E_y}$$

8. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Υπολογισμός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών n διαδοχικών, πλήρως συννεφιασμένων (ή μη ηλιοφανών) ημερών, μέσα σε χρονική περίοδο N ημερών:

Στην παράγραφο αυτή εξετάζεται το πρόβλημα του προσδιορισμού ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος, με πρόβλεψη δυνατότητας κάλυψης της ενέργειας ζήτησης και κατά τη διάρκεια n διαδοχικών συννεφιασμένων ημερών, πέραν των αιθρίων ημερών.

8.1 ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ n-ΣΥΝΝΕΦΙΑΣΜΕΝΩΝ ΗΜΕΡΩΝ

Έστω E_L η ημερήσια ενέργεια που πρέπει να καλύπτεται από το Φωτοβολταϊκό σύστημα, με δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων κατά τη διάρκεια n συννεφιασμένων ημερών, μέσα σε χρονική περίοδο αναφοράς, N ημερών. Είναι προφανές ότι η περίπτωση αυτή διαφέρει από εκείνη των συνεχών αιθρίων ημερών. Στην περίπτωση αυτή θα απαιτηθεί μεγαλύτερης ισχύος Φωτοβολταϊκή συστοιχία, προκειμένου, κατά τις αίθριες ημέρες, πλήθους N-n, η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή να επανέλθει στο αρχικό επίπεδο. Όπως είναι φανερό, τον κύριο ρόλο, ως πηγή ενέργειας, παίζει ο συσσωρευτής του συστήματος, του οποίου το μέγεθος πρέπει να αυξηθεί και μάλιστα, γραμμικά προς το n, όπως θα διαπιστώσουμε στην συνέχεια. Η ενέργεια, που θα δώσει ο συσσωρευτής, μέσα στις n συννεφιασμένες ημέρες, είναι προφανώς, $n \cdot E_L$. Η Φωτοβολταϊκή συστοιχία πρέπει να έχει επαρκή ισχύ αιχμής, ώστε, κατά τις N-n, αίθριες ημέρες, να καλύπτει καθημερινά, όχι μόνο την ημερήσια ενεργειακή απαίτηση E_L αλλά να επαναφέρει σταδιακά τον συσσωρευτή στην αρχική του κατάσταση φόρτισης. Το επιπλέον απαιτούμενο ποσό ενέργειας ανά ημέρα, ισούται με το κλάσμα $(n \cdot E_L / (N-n))$. Σύμφωνα με τα προηγούμενα, η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να δίδει η Φωτοβολταϊκή συστοιχία, στην έξοδο της, είναι: $(1/n_e) \cdot (n \cdot E_L / (N-n))$, όπου n_e , ο συντελεστής έμμεσης μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, η Φωτοβολταϊκή συστοιχία πρέπει να έχει ισχύ αιχμής, $P_p(n)$, που δίδεται από την επόμενη σχέση, σε αναλογία με προηγούμενες σχέσεις:

$$P_p(n) = \frac{1}{PR_\sigma} \cdot \frac{G_{STC}}{H_t} \cdot m \cdot \left(\frac{E_{L,a}}{n_a} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{n_\varepsilon} + \left(\frac{n}{N-n} \right) \cdot \frac{E_L}{n_e} \right)$$

Όπου m, ο συντελεστής περιθωρίου υπολογισμού των φορτίων της εφαρμογής. Η τελευταία σχέση δίνει την απαραίτητη ισχύ αιχμής Φωτοβολταϊκής συστοιχίας του συστήματος, η οποία είναι ικανή να φορτίζει τον συσσωρευτή του συστήματος, μέσα στις N-n ηλιοφανείς

ημέρες, που έπονται των n , συνεφιασμένων ημερών, κατά τις οποίες, ο συσσωρευτής, εκφορτιζόμενος, κάλυπτε τις αντίστοιχες ενεργειακές απαιτήσεις. Για $n=0$ έχουμε την περίπτωση των συνεχόμενων αίθριων ημερών.

❖ Αύξηση ισχύος αιχμής Φωτοβολταϊκής συστοιχίας για κάλυψη n συνεφιασμένων ημερών:

Για να σχηματίσουμε μια εικόνα της εξάρτησης της ισχύος αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας $P_p(n)$, από το πλήθος n των συνεφιασμένων ημερών, υπολογίζουμε το λόγο της ισχύος αιχμής, $P_p(n)/P_p(0)$, όπου $P_p(0)$, η ισχύς αιχμής της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, για λειτουργία σε συνεχείς αίθριες μέρες.

$$\frac{P_p(n)}{P_p(0)} = 1 + \frac{n}{N-n} \cdot \frac{1}{\frac{n_\varepsilon}{n_a} \cdot (1-b) + b} \Rightarrow \frac{P_p(n)}{P_p(0)} = 1 + \frac{A \cdot n}{N-n}$$

Όπου,

$$\frac{1}{\frac{n_\varepsilon}{n_a} \cdot (1-b) + b} > 1$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Οι δυνατές τιμές παραμέτρου A καθορίζονται, βασικά, από το λόγο b (ποσοστό ενέργειας που καταναλίσκεται με έμμεση τροφοδοσία), ο οποίος παίρνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Με αντικατάσταση, προκύπτει ότι περιοχή τιμών του A είναι από 1 έως 1,3. Συνεπώς, η ονομαστική ισχύς της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας, για αυτονομία 10 ημερών συνεφιάς, σε διάστημα ενός μηνός, πρέπει να γίνει, περίπου 1,6 φορές την ισχύ αιχμής του Φωτοβολταϊκού συστήματος (αύξηση 60%), που σχεδιάστηκε για κάλυψη συνεχών αίθριων ημερών.

8.2 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Έστω $C(n)$ η χωρητικότητα του συσσωρευτή, που είναι ικανή να καλύψει, την απαίτηση για n διαδοχικές συνεφιασμένες μέρες. Κάθε μέρα, η αποθηκευμένη ενέργεια στο συσσωρευτή ελαττώνεται κατά το ποσό που απαιτείται, προκειμένου να καλυφθεί η ημερήσια ενεργειακή απαίτηση των στοιχείων κατανάλωσης της εφαρμογής. Το συνολικό βάθος εκφόρτισης στις n συνεφιασμένες ημέρες +1 αίθρια ημέρα είναι $\beta_{εκφ}$. Η ενέργεια που θα απαιτηθεί από την ηλεκτρική εφαρμογή μέσα στις n μη αίθριες ημέρες, είναι $n \cdot E_L$. Η διατήρηση της ενέργειας, δίδει, σε πλήρη αναλογία με προηγούμενη σχέση:

$$n_{\gamma, B} \cdot n_{εκφ} \cdot \beta_{εκφ} \cdot C(n) \cdot V_B = n \cdot E_L + E_{L, \varepsilon} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow C(n) = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E_L}{n_{\gamma, B} \cdot n_{εκφ} \cdot \beta_{εκφ} \cdot V_B}$$

Όπου:

b : το ποσοστό των φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας ($b = E_{L\varepsilon}/E_L$)

$n_{εκφ} = \eta_{\delta} \cdot \eta_{Rw3.2} \cdot \eta_{inv}$

$n_{\gamma, B}$: συντελεστής γήρανσης του συσσωρευτή

V_B : μέση πολική τάση του συσσωρευτή μέσα στο διάστημα αυτό, η οποία συμπίπτει, πρακτικά, με την ονομαστική τιμή της

$n+b$: η αυτονομία του συσσωρευτή

8.3 ΚΟΣΤΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Υπολογίζουμε το ολικό κόστος, $C_{ολ}(n)$, προμήθειας και εγκατάστασης ενός αυτόνομου Φωτοβολταϊκού συστήματος, με πρόβλεψη αυτονομίας n συνεφιασμένων ημερών, θεωρώντας τα επόμενα στοιχεία:

A) Κόστος των Φωτοβολταϊκών πλαισίων και του συσσωρευτή:
(προσεγγιστικές τιμές)

Φωτοβολταϊκά Πλαίσια ($c_{\Phi B}$)	Συσσωρευτές (c_B)
3..6 €/Wp	100..150 €/kWh

Πηγή: Έρευνα αγοράς στο διαδύκτιο (www.eshops.gr, www.homesolar.gr)

B) Το κόστος των ηλεκτρικών διατάξεων και το κόστος εγκατάστασης είναι ποσοτά του κόστους της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας $C_{\Phi B} = Pp(n) \cdot c_{\Phi B}$

- Κόστος εγκατάστασης: 10% του $C_{\Phi B}$
- Κόστος Ηλεκτρονικών: 10-15% του $C_{\Phi B}$
- Κόστος συσσωρευτή: $C_B = E_{C(n)} \cdot c_B$

9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Πηγή: “Φωτοβολταϊκά συστήματα”, Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Δεδομένα παραδείγματος:

Η παραθεριστική κατοικία αποτελεί αντιπροσωπευτική εφαρμογή για τα Φωτοβολταϊκά συστήματα, επειδή η χρονική περίοδος αυξημένης ενεργειακής ζήτησης συμπίπτει με την περίοδο υψηλής ενεργειακής αποδοτικότητας ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος. Στις περιπτώσεις αυτές, το Φωτοβολταϊκό σύστημα σχεδιάζεται με δυνατότητα ολίγων ημερών αυτονομίας (που συνήθως δεν ξεπερνούν τις πέντε), δεδομένης της μειωμένης πιθανότητας μη αίθριων ημερών κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, από τα μέσα της άνοιξης μέχρι και τα μέσα Φθινοπώρου, στα μεσαία και μικρά γεωγραφικά πλάτη. Πέραν του χρόνου αυτονομίας, την τροφοδοσία του φορτίου αναλαμβάνει το Η/Ζ, το οποίο διασφαλίζει τη λειτουργία της κατοικίας σε κάθε περίπτωση μη κάλυψης της επιπλέον ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από το Φωτοβολταϊκό σύστημα και επαναφέρει τον εκφορτισμένο συσσωρευτή στην κατάσταση πλήρους φόρτισης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βήματα επιλογής των βασικών τμημάτων του Φωτοβολταϊκού συστήματος, μελετώντας την περίπτωση της καθημερινής χρήσης, με δυνατότητα αυτονομίας συσσωρευτή για μια συννεφιασμένη μέρα ανά μήνα.

➤ **Ηλεκτρικές Καταναλώσεις:**

Καταχωρούμε τα στοιχεία ημερησίας κατανάλωσης της παραθεριστικής κατοικίας, στον επόμενο πίνακα, με κριτήριο το μέγιστο δυνατό περιορισμό των καταναλώσεων των επιμέρους φορτίων, τα οποία επιλέγονται με κριτήριο την υψηλή τιμή του λόγου της αποδιδόμενης προς καταναλισκόμενη ενέργεια.

Τμήματα Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης:

- ✚ Φωτοβολταϊκή συστοιχία
- ✚ Inverter (220Vac)
- ✚ Ηλεκτροπαράγωγο Ζεύγος (H/Z)

Πίνακας: στοιχεία καταναλώσεων

α/α	Είδος Κατανάλωσης	Ισχύς	Χρόνος Λειτουργίας (h)	Καταναλισκόμενη Ενέργεια (Wh)
1	Φωτισμός Εντός 3×20W	60	6	360
2	Φωτισμός Εκτός 4×9W	36	5	180
3	TV	70	6	420
4	Ψυγείο	100	16	1600
5	Άλλες Χρήσεις	1000	0,5	500
6	Σύνολα:	1266		3060

Συνολική κατανάλωση: $E_L \sim 3,06\text{kWh}$

Συνολική ισχύς φορτίων: $P_L \sim 1,3\text{kW}$

Συντελεστής περιθωρίου υπολογισμού ηλεκτρικών φορτίων: $m=1,1$

Για ρεαλιστικούς υπολογισμούς θεωρούμε ότι, από την ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια των φορτίων (3060Wh), τα 1000Wh, αφορούν σε άμεση τροφοδοσία των φορτίων, κατά τη διάρκεια της ημέρας (π.χ. λειτουργία ψυγείου) και το υπόλοιπο αποταμιεύεται στο συσσωρευτή, για κάλυψη κάθε άλλης κατανάλωσης κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

➤ Αναλυτικοί Υπολογισμοί:

Στα επόμενα αναφέρονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθούνται για προσδιορισμό των επι μέρους στοιχείων της Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης της παραθεριστικής κατοικίας, με απαίτηση αυτονομίας μιας συννεφιασμένης ημέρας, $n=1$.

- Τοπικά Δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας, χρήση της παραθεριστικής κατοικίας και προσανατολισμός του συλλέκτη:

Πίνακας: Στοιχεία χρήσης παραθεριστικής κατοικίας, προσανατολισμός της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας και ενεργειακής απόλαβης ηλιακής ακτινοβολίας:

	Δεδομένα	Περιγραφή	Τιμές
Προσανατολισμός ΦΒ συστοιχίας	A_{Σ}	Αζιμούθια γωνία	0°
	B	Γωνία κλίσης θερινής περιόδου με $\varphi=35,5^{\circ}$	$\sim 25^{\circ}$
Περίοδος χρήσης κατοικίας και δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας	Χρήση κατοικίας	Περίοδος χρήσης: Μάρτιος-Οκτώβριος Περίοδος συνεχούς χρήσης: Ιούνιος-Σεπτέμβριος	
	$H_{t, μέσο}$	Μέση ημερήσια ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας ανά m^2 ανά μήνα, στο επίπεδο του συλλέκτη. Αφορά στην ελάχιστη τιμή της στο χρονικό διάστημα συνεχούς (καθημερινής) χρήσης της παραθεριστικής κατοικίας.	6 kWh/m^2d

- Ενεργειακές καταναλώσεις:

Πίνακας: Ενεργειακές καταναλώσεις και συντελεστές μεταφοράς και απόδοσης:

Ενεργειακές καταναλώσεις	Παράγοντες καθορισμού της απόδοσης του Φωτοβολταϊκού συστήματος	
$E_{L,\alpha}=1kWh$	$n_{\alpha}=0,92$	$n_{\gamma,\sigma}=0,90$
$E_{L,\varepsilon}=2,06kWh$	$n_{\varepsilon}=0,76$	$n_{inv}=0,94$
$E_L=3.06kWh/day$		$n_{\gamma,B}=0,80$
$m=1.1$		$n_{\gamma,B}=0,80$
		$PR_{\sigma}=0,72$

➤ Υπολογισμός χαρακτηριστικών του Φωτοβολταϊκού συστήματος:

1. Ισχύς αιχμής συστοιχίας:

$$P_p = \frac{1}{PR_\sigma} \cdot \frac{G_{STC}}{H_t} \cdot m \cdot \left(\frac{E_{L,a}}{n_a} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{n_\varepsilon} \right) =$$
$$= \frac{1}{0,72} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1,1 \cdot \left(\frac{1}{0,92} + \frac{2,06}{0,76} \right) kW$$

$$\Rightarrow P_p \approx 967W$$

2. Πλήθος Φωτοβολταϊκών πλαισίων:

Προσδιορίζονται οι δυνατοί συνδυασμοί σειράς Φωτοβολταϊκών πλαισίων του εμπορίου, με ισχύ αιχμής στην περιοχή των 50Wr έως και 150Wr, με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές τους, με κριτήρια την τάση και το ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή. Η χρησιμοποίηση converter δίδει τη δυνατότητα μεταφοράς της ενέργειας υπό υψηλή τάση, π.χ. συνδέοντας τέσσερα ή οκτώ Φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά, οπότε μειώνεται αντιστοίχα το ρεύμα στις γραμμές μεταφοράς και, συνακόλουθα, η διατομή των καλωδίων μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκριτική αντιπαράθεση των χαρακτηριστικών των συνδιασμών αυτών, λαμβανομένου υπ' όψη του κόστους ανά Wr, οδηγεί στον προσηγορότερο συνδιασμό. Τελικά προσδιορίζεται ο πραγματικός αριθμός απαιτούμενων Φωτοβολταϊκών πλαισίων και το πραγματικό συνολικό κόστος της συστοιχίας. Έστω ότι εδώ χρησιμοποιούμε πλαίσια ισχύος αιχμής $P_{p1}=70W$.

Πλήθος Φωτοβολταϊκών πλαισίων: $70Wr$: $N=976W/70W=13.8$



$N^*=14$

3. Ηλεκτρικοί συσσωρευτές:

- ✓ Επιλεγόμενο Βάθος Εκφόρτισης: $\beta_{εκφ}=40\%$
- ✓ Αντίστοιχος Χρόνος Ζωής: $1200\text{μέρες}/0,4=3000\text{ μέρες}\approx 8\text{ έτη}$
- ✓ $b=2,06/3,06\approx 0,7$
- ✓ $n=1$

- ✓ Συντελεστής Περιθωρίου Ενέργειας: $m=1.1$
- ✓ Ονομαστική Τάση Συσσωρευτή: $V_B= 24V$

Τελικός, για την χωρητικότητα του συσσωρευτή έπεται:

$$C(n) = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E_L}{n_{\gamma, B} \cdot n_{εκφ} \cdot \beta_{εκφ} \cdot V_B} = 818,8 Ah$$

$$\Rightarrow C = 820Ah$$

4. Inverter

- ✓ Ισχύς εξόδου: 1,5kW
- ✓ Απόδοση τριπλάσιας ισχύος (5kW), για τουλάχιστον 10s
- ✓ Τάση εισόδου/εξόδου-Συχνότητα: 24V/220Vac-50Hz
- ✓ Κυματομορφή εξόδου: Τροποποιημένο ή διαμορφωμένο ημίτονο ή πλήρες ημίτονο

5. Ηλεκτροπαράγωγο Ζεύγος

Η ισχύς του Η/Ζ πρέπει να καλύπτει παράλληλα τα φορτία της εφαρμογής και τη φόρτιση των συσσωρευτών. Στο κύκλωμα παρεμβάλλεται κατάλληλος ανορθωτής (Rectifier), ο οποίος μπορεί να είναι ενσωματωμένος στο Η/Ζ. Αναλυτικότερα, το Η/Ζ πρέπει να καλύπτει:

- Την ισχύ P_o κανονικής λειτουργίας της εφαρμογής: 1,3kW/220Vac
- Τη φόρτιση των συσσωρευτών, χωρητικότητας $C=820Ah$, μέσω ανορθωτή, με ρεύμα φόρτισης, μέχρι $C/10=82A$.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του Η/Ζ:

Μόνο για φόρτιση συσσωρευτή,

➤ Χρόνος Φόρτισης, με $I_{\varphi}=70A$:

$$t_{\varphi} = \frac{\beta_{\varepsilon\kappa\varphi} \cdot C}{n_q \cdot I_{\varphi}} = \frac{0,4 \times 820Ah}{0,9 \times 70A} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_{\varphi} \approx 5,2 h$$

➤ Ισχύς H/Z απαιτούμενη για τη φόρτιση του συσσωρευτή

$$P_{\varphi} = I_{\varphi} \times V_{\varphi} = 70A \times 30V = 2100W \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{\varphi} = 2,1 kW$$

Όπου V_{φ} : τάση εξόδου του H/Z προς το συσσωρευτή.

Ισχύς H/Z:

$$P_{H/Z} = P_o + P_{\varphi} \approx 3,5 kW, \text{ τουλάχιστον.}$$

➤ **Οικονομικά στοιχεία εφαρμογής:**

Υπολογίζεται το τελικό κόστος της εγκατάστασης και η ποσοστιαία συμμετοχή κάθε τμήματος στο συνολικό αρχικό κόστος της εγκατάστασης, το οποίο αφορά στο χρόνο ζωής των συσσωρευτών, τυπική τιμή του οποίου μπορεί να θεωρηθεί η δεκαετία. (Ο χρόνος ζωής των Φωτοβολταϊκών πλαισίων υπερβαίνει τα εικοσιπέντε έτη, για Φωτοβολταϊκά πλαίσια c-Si.)

Πίνακας: Συγκεντρωτικός πίνακας κόστους αρχικής δαπάνης επιμέρους συστημάτων και εργασιών εγκατάστασης του Φωτοβολταϊκού συστήματος:

a/a	Υποσύστημα	Τιμή μονάδας (€)	Ποσότητα	Συνολικό Κόστος (€)
1	ΦΒ πλαίσια c-Si 70Wp (5€/Wp)	350	14	4900
2	Συσσωρευτές, 12V/200Ah Βιομηχανικού τύπου (~100€/kWh)	~240	8	1920
3	Inverter 1,5kW+ ελεγκτής φόρτισης	1500	1	1500
4	Εγκατάσταση	800	-	800
5	H/Z 3,5kW/220Vac, με ανορθωτική διάταξη αυτόματης λειτουργίας	1500	1	1500
			Σύνολο	10620

Συνολικό Κόστος Φωτοβολταϊκού συστήματος: 10620 €

Αναλογία κόστους συστήματος ανά kWp: 10,8k€/kWp (ή 10,8 €/Wp)

Πίνακας: Κατανομή κόστους ανά τμήμα έργου:

Υποσύστημα	Ποσοστιαία συμμετοχή ανά υποσύστημα (%)
ΦΒ πλαίσια	46,1
Συσσωρευτές	18,1
Inverter, ελεγκτής φόρτισης, H/Z	28,2
Εγκατάσταση	7,6
Σύνολο	100,0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Πηγή: Φυλλάδιο οδηγιών ΚΑΠΕ

(http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf)

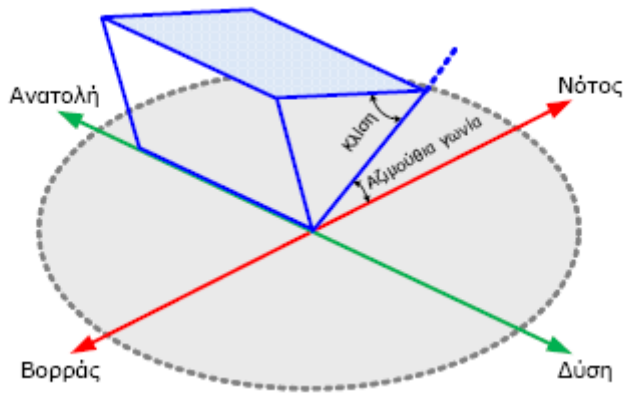
1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

1.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στην περίπτωση των κτηριακών Φ/Β συστημάτων, η Φ/Β συστοιχία εγκαθίσταται στο δώμα ή τη στέγη του κτηρίου, σύμφωνα με την ΚΥΑ, ΦΕΚ Β' 1079, 4/6/2009. Επίσης, ως δυνατές επιφάνειες εγκατάστασης ορίζονται και τα στέγαστρα των βεραντών.

1.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, τεκμαίρεται πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Πρακτικά, η μηχανική πολυπλοκότητα και το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων σύμφωνα με τον παραπάνω τρόπο, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την εφαρμογή του σε κτηριακά Φ/Β συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των κτηριακών Φ/Β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90ο. Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του πλαισίου. Η κλίση του πλαισίου εκφράζεται με τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου και το οριζόντιο επίπεδο, ενώ η αζιμούθια γωνία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κεκλιμένης πλευράς του πλαισίου και τον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου, όπως φαίνεται στο σχήμα.



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

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

1.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΚΙΑΣΜΩΝ

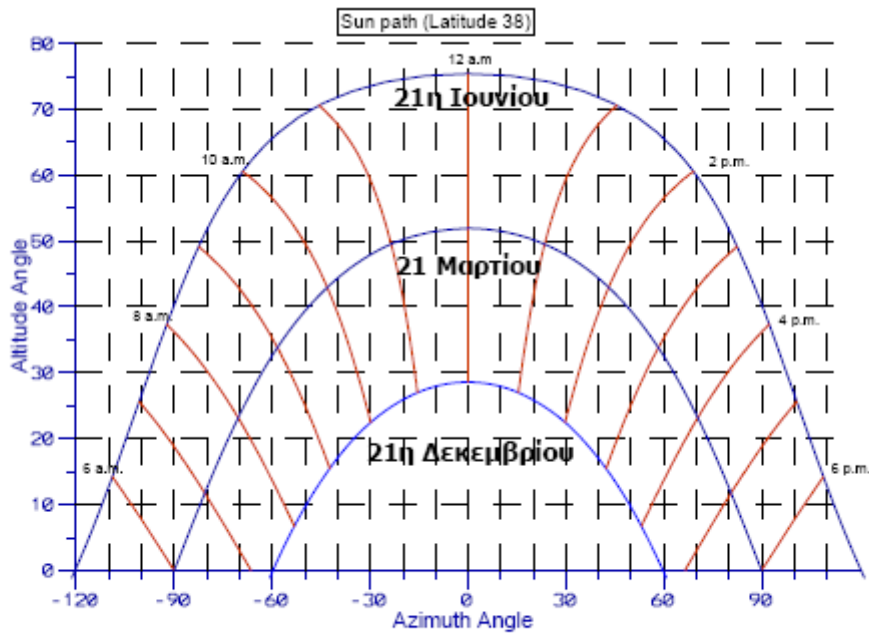
Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος είναι η ύπαρξη σκιασμών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα Φ/Β πλαίσιο τόσο τα Φ/Β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα Φ/Β πλαίσια μιας στοιχειοσειράς συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται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

Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας 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, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτήρια κλπ.

Η επιλογή της θέσης έδρασης της Φ/Β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Εάν στην τοποθεσία έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από παρακείμενα κτήρια, κολώνες, στηθαίο, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη.

Τέλος, για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτηρίων.

Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής τοποθεσίας έδρασης του Φ/Β εξοπλισμού είναι ο ορίζοντας προς Νότο να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια. Για τον έλεγχο πιθανών σκιασμών καθ' όλο το έτος καλό είναι να χρησιμοποιηθεί ένα διάγραμμα τροχιάς του ήλιου, όπως αυτό που παρατίθεται στο επόμενο σχήμα. Στο εν λόγω διάγραμμα σχεδιάζεται η θέση του ήλιου σε γωνιακές συντεταγμένες, για γεωγραφικό πλάτος 38ο. Για διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος στην Ελλάδα προκύπτει ελαφρά διαφορετικό διάγραμμα. Ο οριζόντιος άξονας στο σχήμα 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 ηλίου από τη διεύθυνση του Νότου), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στη γωνία του ύψους του ήλιου, δηλαδή ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο.



Σχήμα : Διάγραμμα τροχιάς ήλιου σε Βόρειο γεωγραφικό πλάτος 38° μοιρών

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

1.4 ΣΤΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ:

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

Τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται σε ένα σύστημα στήριξης, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία και την ασφάλεια της εγκατάστασης σε ακραίες συνθήκες ανέμου, χιονόπτωσης, σεισμού και θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι ακραίες αυτές συνθήκες καθώς, ο συνδυασμός τους καθώς και οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφάλειας, προδιαγράφονται στους Ευροκώδικες (Eurocodes), παράλληλα με επιπρόσθετους ελέγχους, όπως για το σύνολο των δομικών κατασκευών. Για τη στατική επάρκεια του συστήματος στήριξης καθεαυτού, μπορεί να ζητείται αντίστοιχο πιστοποιητικό από τον προμηθευτή.

Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι μέρος υαλοπετάσματος, να αποτελεί σύνδεσμο με τους φορείς μίας στέγης ή να αποτελεί ένα αυτοτελές σύστημα τοποθετημένο στο δώμα ή με τρόπο που να δημιουργεί σκίαστρο. Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι είτε μεταλλικό, από αλουμίνιο ή εν θερμώ γαλβανισμένο χάλυβα, είτε από πλαστικό (κυρίως όσο αφορά στην περίπτωση λεκανών στήριξης). Στο εμπόριο διατίθεται πληθώρα συστημάτων στήριξης. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δίνεται προσοχή στη συμβατότητα τους με τα λοιπά στοιχεία του εξοπλισμού και κατ' επέκταση στην εγκυρότητα των πιστοποιητικών στατικής επάρκειας επί του συνόλου της εγκατάστασης. Θα πρέπει ο τρόπος σύμφιξης των Φ/Β πλαισίων να είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου Φ/Β πλαισίου και επιπλέον οι διαστάσεις του πλαισίου να είναι αντίστοιχες (ή μικρότερες) με αυτές που έχουν θεωρηθεί στην στατική μελέτη για την έκδοση του πιστοποιητικού στατικής επάρκειας.

Όσον αφορά στη σύνδεση του συστήματος στήριξης u956 με το κτήριο, και ειδικότερα αναφορικά με σύστημα στήριξης σε δώμα, θα πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη αγκύρωση. Αυτή γίνεται κυρίως με την προσθήκη φορτίου, ή με τη χρήση κοχλιών. Στην πρώτη περίπτωση θα πρέπει το βάρος που θα τοποθετηθεί να είναι σύμφωνο με τη στατική μελέτη του κτηρίου. Στην περίπτωση χρήσεως κοχλιών, θα πρέπει να μην τραυματίζεται η υφιστάμενη μόνωση. Και στις δύο περιπτώσεις, όπως και στην περίπτωση άλλου συστήματος, παρέχονται οι προδιαγραφές για την αγκύρωση από τον προμηθευτή του συστήματος στήριξης. Ωστόσο η συμβατότητα με το κτήριο θα πρέπει να ελέγχεται από έναν μηχανικό.

Τέλος, ο εγκαταστάτης θα πρέπει να έχει υπόψη του την διαφοροποίηση των συστημάτων στήριξης και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που το διέπουν, συμπεριλαμβανομένων της ευκολίας εγκατάστασης, της αξιοπιστίας και των λειτουργικών στοιχείων (όπως η δυνατότητα ή όχι φυσικού αερισμού του πλαισίου).

1.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΕΔΡΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ:

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

Βέβαια υπάρχουν και ηλεκτρονικοί μετατροπείς οι οποίοι σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή μπορούν να εγκατασταθούν είτε κάτω από τα Φ/Β πλαίσια, είτε στο μηχανισμό στήριξης αυτών, εφόσον υπάρχει αρκετός χώρος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συγκεκριμένος τύπος έδρασης έχει ως αποτέλεσμα την άμεση έκθεση του μετατροπέα σε υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, αλλά, σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας, και σε αρκετά χαμηλές κατά τη διάρκεια του χειμώνα, προτείνεται να εφαρμόζεται μόνο στις περιπτώσεις που το προβλέπει ο κατασκευαστής.

Συγκεκριμένα, στο φυλλάδιο του κατασκευαστή θα πρέπει να αναζητηθεί ο δείκτης προστασίας (IP) του μετατροπέα από σωματίδια σκόνης και νερού, καθώς και τα όρια της θερμοκρασίας μέσα στα οποία δεν επηρεάζεται η ασφαλής και απρόσκοπτη λειτουργία του.

Σε αντίθετη περίπτωση η υιοθέτηση του προαναφερθέντος τρόπου έδρασης μπορεί να επιφέρει μείωση του προσδόκιμου της διάρκειας ζωής του μετατροπέα. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ψύξη του ηλεκτρονικού μετατροπέα επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένο το Φ/Β σύστημα (θερμοκρασία περιβάλλοντος, συνθήκες ηλιοφάνειας, υγρασία και άνεμος), γίνεται κατανοητό ότι στις περιπτώσεις που ο μετατροπέας τοποθετείται σε κλειστό χώρο πλησίον του Φ/Β εξοπλισμού ίσως είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μηχανισμού εξαναγκασμένης ψύξης (ανεμιστήρες).

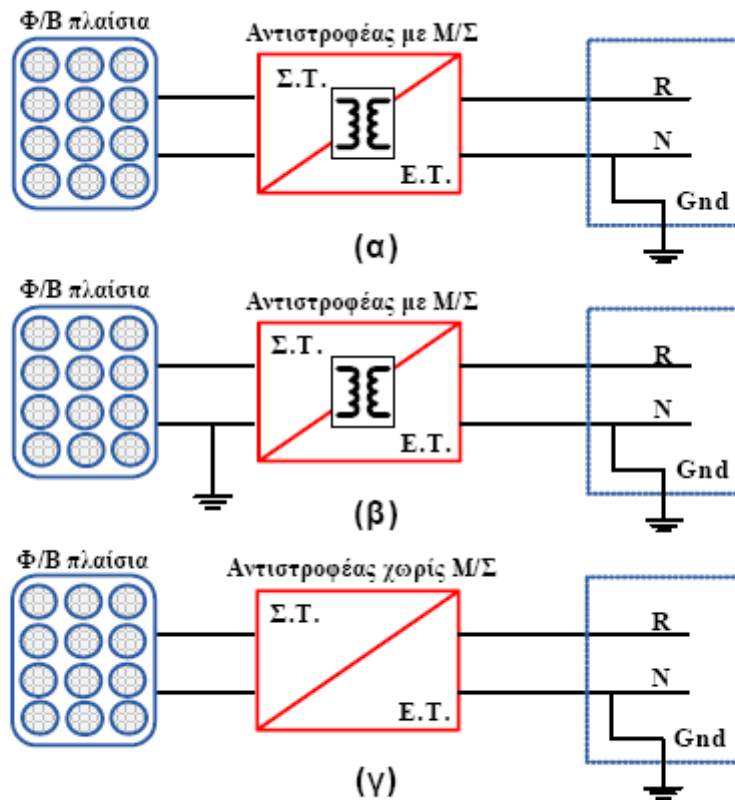
2. ΓΕΙΩΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Η γείωση (άμεση ή ουδετέρωση, ανάλογα με την περιοχή) αποσκοπεί κυρίως στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής και την ασφάλεια των προσώπων και θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς (HD384). Στο σχήμα 6 παρουσιάζονται οι δυνατοί τρόποι γείωσης των διασυνδεδεμένων κτηριακών Φ/Β συστημάτων. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η γείωση ενός εκ των ακροδεκτών του αντιστροφέα στην πλευρά συνεχούς ρεύματος δεν είναι υποχρεωτική στις Ευρωπαϊκές χώρες, σε αντιδιαστολή με τις Η.Π.Α.

Τονίζεται ότι η γείωση ή μη της πλευράς Σ.Ρ. εξαρτάται από την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων και την τοπολογία του αντιστροφέα. Οι Φ/Β συστοιχίες που διαμορφώνονται από συγκεκριμένα είδη πλαισίων (λεπτών επιστρώσεων, back – contact) γειώνονται με υπόδειξη του κατασκευαστή, προκειμένου να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία τους αλλά και η βελτιστοποίηση της απόδοσής τους. Ειδικότερα, τα Φ/Β πλαίσια λεπτών επιστρώσεων (thin film) με υλικά όπως το άμορφο πυρίτιο (a-Si) και το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), λόγω της τεχνολογίας κατασκευής τους (superstrate technology), παρουσιάζουν συνήθως υψηλό κίνδυνο διάβρωσης του στρώματος TCO, γεγονός που επιφέρει καταστρεπτικά για τα πλαίσια αποτελέσματα. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, γειώνεται ο αρνητικός ακροδέκτης της Φ/Β πηγής. Το φαινόμενο αυτό δεν εμφανίζεται, βάσει των υφιστάμενων μελετών, σε Φ/Β πλαίσια thin film με άλλα υλικά (π.χ. CIS). Σε συστήματα με Φ/Β πλαίσια τεχνολογίας back – contact, επιβάλλεται (από τον κατασκευαστή) η γείωση του θετικού ακροδέκτη στην πλευρά Σ.Ρ. για βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η γείωση σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να γίνει μέσω μεγάλης αντίστασης.

Σε αυτές τις περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση αντιστροφέα με Μ/Σ απομόνωσης, εκτός αν πιστοποιείται από τον κατασκευαστή ότι ο επιλεγμένος τύπος αντιστροφέα (χωρίς Μ/Σ) είναι κατάλληλος για χρήση με τα πλαίσια που έχουμε επιλέξει. Όσον αφορά στα συνήθη κρυσταλλικά πλαίσια, δεν έχουν τεθεί ιδιαίτερες απαιτήσεις από τους κατασκευαστές ως προς τη γείωση ή μη των ακροδεκτών της πλευράς Σ.Ρ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εφόσον δεν γειώνονται ενεργά μέρη στην πλευρά ΣΡ, είναι δυνατή η χρήση αντιστροφέα χωρίς Μ/Σ απομόνωσης. Σε κάθε περίπτωση, ο μελετητής του συστήματος ακολουθεί τις οδηγίες του κατασκευαστή για τις ειδικές απαιτήσεις που προκύπτουν ανάλογα με την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων. Συνήθως οι κατασκευαστές αντιστροφέων, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προτείνουν τον κατάλληλο εξοπλισμό ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου. Τονίζεται ότι, αν ο αντιστροφέας δεν περιλαμβάνει μετασχηματιστή απομόνωσης, η πλευρά Σ.Ρ. δεν γειώνεται.

Αντίθετα όλα τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη του Φ/Β εξοπλισμού (π.χ. βάσεις στήριξης και μεταλλικά μέρη των Φ/Β πλαισίων) γειώνονται υποχρεωτικά. Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται ορισμένα θέματα τα οποία χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής ανάλογα με τον τρόπο γείωσης του αντιστροφέα.



Σχήμα : Δυνατοί τρόποι γείωσης των Διασυνδεδεμένων κτηριακών Φ/Β συστημάτων (α,β,γ)

Στο παραπάνω **σχήμα α** παρουσιάζεται η περίπτωση ενός Φ/Β συστήματος στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας με Μ/Σ και γείωση αυτού στη μεριά Ε.Ρ. Σε ένα τέτοιο σύστημα η δημιουργία σφάλματος μεταξύ ενός εκ των δύο αγωγών Σ.Ρ. και της γης δεν οδηγεί στη ροή ρευμάτων. Το ίδιο γενικά ισχύει και όταν ένας άνθρωπος (ο οποίος έρχεται σε επαφή με τη γη) ακουμπήσει έναν εκ των ενεργών αγωγών Σ.Ρ. Βέβαια, εάν τα πλαίσια είναι γειωμένα και δεν διαθέτουν κατάλληλη μόνωση, μπορεί να προκληθεί εκφόρτιση της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων μέσω του ανθρώπου προς τη γη (ρεύμα διαρροής). Γι' αυτό είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται πλαίσια με κατηγορία μόνωσης "Class II" σύμφωνα με το πρότυπο IEC EN 61730.

Τέλος, στα εν λόγω συστήματα απαιτείται η χρήση ειδικών συστημάτων επιτήρησης σφαλμάτων ως προς γη και συστημάτων αποσύνδεσης του αντιστροφέα (στη μεριά Σ.Ρ.), προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα λόγω ηθελημένης ή μη γείωσης της μεριάς συνεχούς.

Στο **σχήμα β** παρουσιάζεται η περίπτωση ενός Φ/Β συστήματος στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας με Μ/Σ και γείωση αυτού τόσο στη μεριά Σ.Ρ. όσο και στη μεριά Ε.Ρ. Σε αντιδιαστολή με την προηγούμενη περίπτωση, η δημιουργία ενός σφάλματος μεταξύ του αγείωτου αγωγού Σ.Ρ. και της γης οδηγεί στη ροή ρευμάτων, όπως επίσης και η επαφή ενός ανθρώπου (ο οποίος έρχεται σε επαφή με τη γη) με τον αγείωτο αγωγό Σ.Ρ. Ο μοναδικός τρόπος να διακοπεί η ροή ρευμάτων ως προς γη (περίπτωση σφάλματος), είναι η αποσύνδεση της μεριάς Σ.Ρ. από αυτή. Για την ασφάλεια των ανθρώπων απαιτείται η χρήση διάταξης ανίχνευσης του ρεύματος που ρέει προς τη γη από τον ηθελημένα γειωμένο

αγωγό, ενώ τέλος τα ρεύματα διαρροής λόγω της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία της προαναφερθείσας διάταξης.

Στο **σχήμα γ** παρουσιάζεται η περίπτωση ενός Φ/Β συστήματος στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας χωρίς Μ/Σ και γείωση αυτού στη μεριά Ε.Ρ. Μολονότι η πλευρά Σ.Ρ. δεν γειώνεται άμεσα, σε ορισμένες περιπτώσεις (ανάλογα με την τοπολογία του αντιστροφέα) η γείωση στη μεριά Ε.Ρ. γίνεται “ορατή” στη μεριά Σ.Ρ. Στην περίπτωση που είτε τα πλαίσια είναι γειωμένα και δεν διαθέτουν κατάλληλη μόνωση είτε προκληθεί λόγω σφάλματος μη θελημένη γείωση αυτών προκαλείται εκφόρτιση της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων μέσω του αντιστροφέα προς τη γη (ρεύμα διαρροής). Για την ασφάλεια των ανθρώπων απαιτείται η χρήση διάταξης ανίχνευσης των ρευμάτων διαρροής. Βέβαια, η ρύθμιση του ορίου ενεργοποίησης της παραπάνω διάταξης χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή (καθορισμός ανώτατου και κατώτατου ορίου, απότομες μεταβολές).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε όλες τις περιπτώσεις η τάση στα άκρα της Φ/Β συστοιχίας δύναται να είναι αρκετά υψηλή (ώστε σύμφωνα με τα πρότυπο IEC 364-4-41 να υφίσταται ανάγκη λήψης μέτρων για την προστασία του κοινού), αλλά και η έξοδος του αντιστροφέα συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο Χ.Τ, τεκμαίρεται ότι, η τάση σε ορισμένα εξαρτήματα του αντιστροφέα μπορεί να είναι δύο ή και τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση του δικτύου.

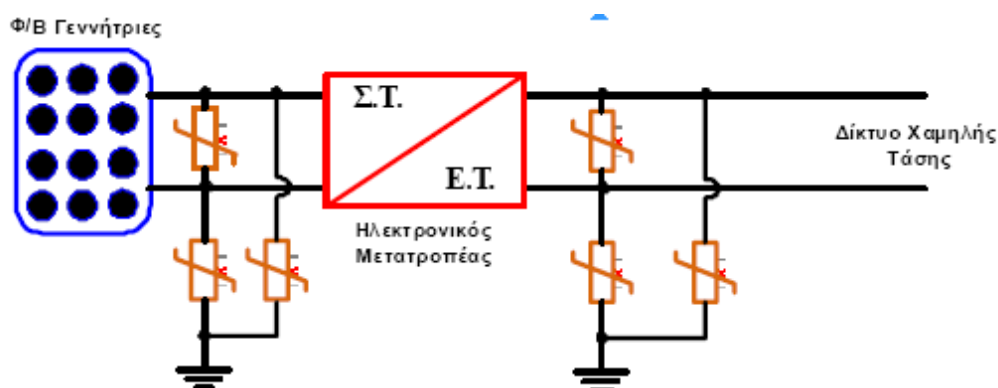
Συνεπώς, σηματοδοτείται η ανάγκη γειώσεως του μεταλλικού περιβλήματος του μετατροπέα προκειμένου να αποφεύγεται ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο μειώνεται και η ενδεχόμενη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση που μπορεί να προκληθεί από τη διακοπτική λειτουργία του κυκλώματος ισχύος σε παρακείμενες ηλεκτρικές συσκευές.

Τονίζεται τέλος ότι η γείωση του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού μπορεί να επιφέρει σοβαρά προβλήματα στην περίπτωση που η μόνωση των πλαισίων δεν είναι κατάλληλης τάξης. Από την άλλη πλευρά, μολονότι η χρήση αγείωτων Φ/Β πλαισίων περιορίζει τον παραπάνω κίνδυνο, αυξάνει τον κίνδυνο καταστροφής των πλαισίων σε ένα ενδεχόμενο κεραυνικό πλήγμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η γείωση των πλαισίων είναι επιβεβλημένη από τον κατασκευαστή.

3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΑΚΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ – ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η προστασία των κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς είναι ένα θέμα το οποίο αποσκοπεί στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής, αλλά κυρίως την ασφάλεια των ανθρώπων και θα πρέπει να υλοποιείται μόνο σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά (ΕΛΟΤ), ευρωπαϊκά (EN) και διεθνή (IEC) πρότυπα αλλά και την ισχύουσα νομοθεσία.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ470 (5 Μαρτίου 2004) Άρθρα 3 έως και 6, τα φαινόμενα εκδήλωσης υπερτάσεων, εφόσον πρόκειται για αρχικό έλεγχο (νέα ηλεκτρική εγκατάσταση ή σοβαρή τροποποίηση παλαιάς), θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα, τα οποία είναι τα πρότυπα σειράς ΕΛΟΤ EN 61643. Επομένως η αναγκαιότητα εφαρμογής προστασίας από υπερτάσεις είναι πλέον απαραίτητη ανεξάρτητα με το εάν υπάρχει ή εάν προβλέπεται να υπάρξει σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας. Με κάθε επιφύλαξη, στηριζόμενοι στην υπάρχουσα εμπειρία εκατοντάδων χιλιάδων Φ/Β συστημάτων μικρότερων των 10 kWp που εγκαταστάθηκαν σε ευρωπαϊκές χώρες και δεν εξέχουν σημαντικά από το περίγραμμα του κτηρίου, όπως προβλέπεται στις Υπουργικές Αποφάσεις, θεωρείται ότι ο κίνδυνος από άμεσο κεραυνικό πλήγμα δεν αυξάνεται. Εντούτοις, για την ασφάλεια των ανθρώπων και την προστασία των κτηριακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών συνιστάται η εκτίμηση των κινδύνων από τους κεραυνούς και τις υπερτάσεις που προκαλούν (ΕΛΟΤ EN 62305).



Σχήμα : Τυπική μορφή των συστημάτων γειώσεως και προστασίας από υπερτάσεις της εγκατάστασης

Στο σχήμα παρουσιάζεται μια ενδεικτική μορφή εγκατάστασης των διατάξεων προστασίας από υπερτάσεις για την προστασία μόνο του Φ/Β συστήματος η οποία και συνιστάται. Παράλληλα θα πρέπει να προβλεφθεί και προστασία των υφιστάμενων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων του κτηρίου (π.χ. προστασία γενικού πίνακα και υποπινάκων).

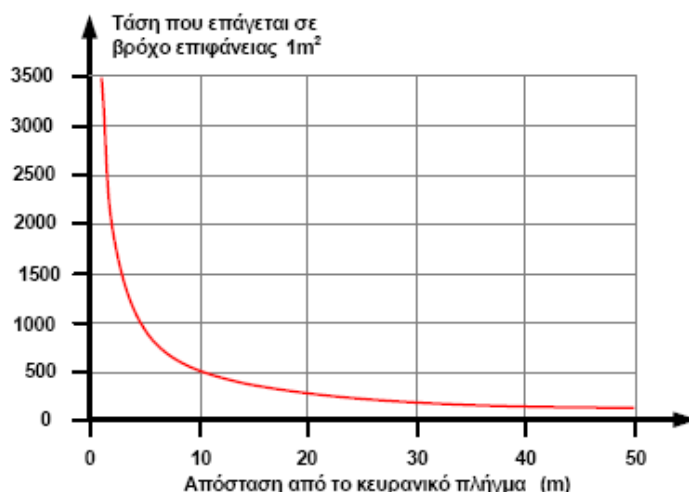
Τα πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας που ισχύουν και εφαρμόζονται είναι της σειράς ΕΛΟΤ EN 62305 καθώς επίσης της σειράς ΕΛΟΤ EN 50164. Τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62305 περιγράφουν τις απαιτήσεις σχεδιασμού ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενώ τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 50164 περιγράφουν τις απαιτήσεις δοκιμών των εξαρτημάτων αντικεραυνικής προστασίας. Επίσης για την προστασία από υπερτάσεις τα αντίστοιχα

πρότυπα είναι της σειράς ΕΛΟΤ EN 61643 τα οποία περιγράφουν τις απαιτήσεις δοκιμών και εγκατάστασης των διατάξεων προστασίας από υπερτάσεις τόσο για τα ενεργειακά όσο και για τα τηλεπικοινωνιακά κυκλώματα.

Η αναγκαιότητα εγκατάστασης ενός συστήματος εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας μπορεί να εξετασθεί με την εφαρμογή του προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305-2. Το πρότυπο εξετάζει, ανεξάρτητα με το εάν υπάρχει Φ/Β εγκατάσταση, τον κίνδυνο που μπορεί να έχει το υφιστάμενο κτήριο σε ένα άμεσο ή έμμεσο κεραυνικό πλήγμα. Εάν η εγκατάσταση ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας κριθεί απαραίτητη, ο σχεδιασμός του συστήματος θα πρέπει να υλοποιηθεί με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3.

Σε περίπτωση που το κτήριο διαθέτει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, θα πρέπει να μελετηθεί εάν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου και εάν καλύπτει τις Φ/Β εγκαταστάσεις. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να γίνουν όλες οι απαραίτητες συμπληρωματικές ενέργειες ώστε το υφιστάμενο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας να προσαρμοστεί στις νέες απαιτήσεις (π.χ. εγκατάσταση επιπρόσθετων ακίδων, συλλεκτήριων αγωγών, αγωγών καθόδου, εφαρμογή ισοδυναμικών συνδέσεων, ηλεκτροδίων γείωσης κ.α.).

Η προστασία του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, όπως και των ανθρώπων που έρχονται σε επαφή με αυτά σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 62305-3, επιβάλλεται εφόσον εφαρμόζεται ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Η επιλογή και η εγκατάσταση των διατάξεων προστασίας θα πρέπει να πραγματοποιείται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 62305-4. Οι εγκαταστάτες καλό είναι να αποφεύγουν τη δημιουργία μεγάλων βρόγχων ρεύματος, διότι ένα ενδεχόμενο κεραυνικό πλήγμα θα οδηγήσει στην εμφάνιση υψηλών τάσεων εξ επαγωγής, όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα : Ενδεικτικό σχήμα τάσης που επάγεται σε βρόχο επιφάνειας 1m² συναρτήσει της απόστασης του κεραυνικού πλήγματος

Στην περίπτωση που το Φ/Β σύστημα εγκαθίσταται σε κτήριο που διαθέτει υφιστάμενο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (Σ.Α.Π.) και μπορεί να διατηρηθεί απόσταση ασφαλείας (0.5-1 μέτρο) μεταξύ του Φ/Β συστήματος και των αγωγών συλλογής και καθόδου του κεραυνικού ρεύματος, το Φ/Β σύστημα θεωρείται ότι βρίσκεται μέσα στην περιοχή προστασίας του αλεξικέραυνου και δεν πρέπει να συνδέεται αγώγιμα με το Σ.Α.Π.

(εφόσον πρόκειται για ενσωμάτωση σε υφιστάμενα κτήρια). Αν δεν μπορεί να διατηρηθεί η απόσταση αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται αγωγή με τους αγωγούς του Σ.Α.Π.

4. ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ:

Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες, όπου η παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί να διακοπεί με τη βοήθεια ενός γενικού μέσου απόξευξης, τα Φ/Β πλαίσια παράγουν τάση στους ακροδέκτες τους μόλις εκτεθούν στο ηλιακό φως. Συνεπώς, η εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος πραγματοποιείται συνήθως υπό συνθήκες τάσεως προς την πλευρά των πλαισίων.

Επίσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η μέγιστη τιμή του ρεύματος ενός Φ/Β πλαισίου είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την τιμή του ονομαστικού ρεύματος του πλαισίου, τεκμαίρεται ότι η χρήση ασφαλειών δεν εγγυάται τη διακοπή του συστήματος σε περίπτωση σφάλματος (βραχυκύκλωμα πλαισίου). Αυτό συνεπάγεται ότι ένα σφάλμα βραχυκύκλωσης στην πλευρά του Σ.Ρ. μπορεί να εξακολουθεί να υφίσταται ανεξαρτήτως της χρήσης ασφαλειών.

Η καλή σχεδίαση και η σωστή επιλογή των υλικών καλωδίωσης είναι απαραίτητη για την ασφάλεια έναντι ηλεκτροπληξίας όχι μόνο του εγκαταστάτη αλλά και όλων των προσώπων που έρχονται σε επαφή με το σύστημα.

Επιπρόσθετα, η επιλογή καλωδίων κατάλληλης διατομής εγγυάται την αποφυγή πυρκαγιάς λόγω υπερθέρμανσης των καλωδίων σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Τα πλαίσια που θα επιλεγούν θα πρέπει να πληρούν, είτε τις τεχνικές προδιαγραφές του κανονισμού EN-IEC 61215 (Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου), είτε του κανονισμού EN-IEC 61646 (Φ/Β τεχνολογίας λεπτών υμενίων).

5. ΜΕΤΡΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ **ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ** **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ:**

Κατά τη σύνδεση των Φ/Β πλαισίων, ο εγκαταστάτης έρχεται σε επαφή με τους ακροδέκτες των πλαισίων στους οποίους εμφανίζεται συνεχής τάση. Συνήθως η τιμή αυτή δεν υπερβαίνει τα όρια ασφαλείας συνεχούς επαφής, βάση του κανονισμού IEC 364-4-41. Οι ενδεικτικές τιμές των τάσεων των πλαισίων του εμπορίου κυμαίνονται μεταξύ 17 και 100V (ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των κελιών). Παρά ταύτα, οι ηλεκτρονικοί αντιστροφείς που χρησιμοποιούνται στα Φ/Β συστήματα συνήθως απαιτούν την εν σειρά σύνδεση περισσοτέρων των δύο πλαισίων, με αποτέλεσμα η τάση της στοιχειοσειράς να υπερβαίνει συχνά τα όρια ασφαλείας. Η τάση της στοιχειοσειράς είναι το γινόμενο του αριθμού των εν σειρά πλαισίων επί τη μέγιστη τάση του ενός.

Συνεπώς, η εγκατάσταση του συστήματος πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό και σύμφωνα με τα ακόλουθα μέτρα:

- **Προτεινόμενη μεθοδολογία εγκατάστασης:**

Σημαντικό μέρος της καλωδίωσης μπορεί να γίνει πριν την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων. Ενδεικτικά, πρώτα τοποθετούμε το γενικό μέσο απόζευξης της πλευράς Σ.Ρ. και τα κιβώτια συνδέσεων. Στη συνέχεια συνδέουμε το θετικό και αρνητικό πόλο της όλης συστοιχίας με το γενικό μέσο απόζευξης χωρίς να έχουμε υλοποιήσει τις ενδιάμεσες συνδέσεις των πλαισίων. Κατόπιν ακολουθεί η εν σειρά σύνδεση των πλαισίων της στοιχειοσειράς, ενώ τέλος το γενικό μέσο απόζευξης συνδέεται στην είσοδο του ηλεκτρονικού αντιστροφέα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποσκοπεί στην αποφυγή επικίνδυνων τάσεων κατά την εγκατάσταση.

- **Εγκατάσταση με μηδενική ηλιοφάνεια:**

Για την αποφυγή εμφάνισης υψηλών τάσεων η εγκατάσταση του συστήματος μπορεί να γίνει είτε καλύπτοντας πλήρως τα πλαίσια είτε κατά τις νυχτερινές ώρες όπου αυτό είναι δυνατό. Επίσης συνιστάται η χρήση ειδικών γαντιών και μονωμένων εργαλείων.

- **Προειδοποιητική σήμανση:**

Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος θα πρέπει να χρησιμοποιείται ειδική σήμανση που να προειδοποιεί για τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

- **Επιλογή μόνωσης καλωδίων και κιβωτίων σύνδεσης:**

Η χρήση καλωδίων και κιβωτίων σύνδεσης διπλής μόνωσης ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Για το λόγο αυτό συνιστάται η χρήση υλικών και πλαισίων

κλάσης II (Class II construction). Επειδή η κλάση των υλικών και των πλαισίων μπορεί να μην είναι εμφανής, ο εγκαταστάτης οφείλει να την επιβεβαιώνει επικοινωνώντας με τον κατασκευαστή.

- Επιλογή Φ/Β πλαισίων με προεγκατεστημένο σύστημα σύνδεσης:

Τα Φ/Β πλαίσια που διαθέτουν μονωμένους ακροδέκτες σύνδεσης ελαχιστοποιούν την πιθανότητα έκθεσης του εγκαταστάτη σε επικίνδυνες τιμές τάσης. Η επιλογή αυτή είναι απαραίτητη στην περίπτωση που η εγκατάσταση γίνεται από μη εξειδικευμένο προσωπικό.

- Αποφυγή γείωσης της πλευράς Σ.Ρ. κατά την εγκατάσταση:

Ένα σύστημα στο οποίο κανένας από τους δύο πόλους δεν είναι γειωμένος εγκυμονεί λιγότερους κινδύνους (συγκριτικά με ένα γειωμένο σύστημα) επειδή ελαχιστοποιείται ο αριθμός πιθανών διαδρομών για το ρεύμα ηλεκτροπληξίας. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι σε ένα σύστημα με γειωμένο τον αρνητικό πόλο ο εγκαταστάτης έρθει σε επαφή με οποιοδήποτε σημείο της στοιχειοσειράς - και βρίσκεται σε επαφή με τη γη - δημιουργείται δρόμος ρεύματος μέσω αυτού και της γης. Σε αυτή την περίπτωση η τάση στην οποία θα εκτεθεί ο εγκαταστάτης ισούται με το άθροισμα των τάσεων των εν σειρά συνδεδεμένων πλαισίων μεταξύ του σημείου επαφής και του αρνητικού πόλου της στοιχειοσειράς.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν μπορεί να εξαλείψει πλήρως την πιθανότητα ηλεκτροπληξίας.

6. ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ **ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ**

Φ/Β πλαίσια:

- IEC-EN 61215 η 61646,
- IEC 61730 - Class A (με μόνωση Class II)

Τα παραπάνω πιστοποιητικά πρέπει πάντα να παρέχονται από διαπιστευμένα εργαστήρια.

Ηλεκτρονικοί μετατροπείς:

- Βεβαίωση ότι διαθέτει προστασία έναντι νησιδοποίησης σύμφωνα με VDE 0126-1-1 ή ισοδύναμης μεθόδου (βεβαίωση τύπου από ανεξάρτητο εργαστήριο)
- Προστασίες ορίων τάσεως και συχνότητας (υπέρτασης-υπότασης, υπερσυχότητας - υποσυχότητας)
- THD ρεύματος εξόδου μικρότερο από 5%, βεβαίωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή (προαιρετικά)
- Σε περίπτωση ηλεκτρονικών μετατροπέων χωρίς Μ/Σ σιδήρου θα πρέπει η μέγιστη τιμή εγγεόμενου Σ.Ρ. στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι μικρότερη του 0.5% της τιμής του ονομαστικού ρεύματος εξόδου της μετατροπέα, βεβαίωση συμμόρφωσης του κατασκευαστή (προαιρετικά).

Έντυπο 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
(περιγραφή και τεχνικά χαρακτηριστικά της Φ/Β εγκατάστασης)

- Το έντυπο 1: «ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ», συμπληρώνεται από την εταιρεία/εγκαταστάτη και παραδίδεται στον ιδιοκτήτη του Φ/Β συστήματος.
- Το έντυπο 1: «ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ», επίσης συμπληρώνεται από την εταιρεία/εγκαταστάτη και αποστέλλεται ηλεκτρονικά στο ΚΑΠΕ, το οποίο τηρεί αρχείο των εγκαταστάσεων, με στόχο την προώθηση της τήρησης και αποδοχής των ελάχιστων τεχνικών προδιαγραφών και όρων ασφάλειας για την εγκατάσταση και λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία έχουν αποδεχθεί για να καταχωρηθούν στον ενδεικτικό κατάλογο αλλά και για στατιστική χρήση των στοιχείων.

ΕΝΤΥΠΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Νο εταιρίας:

Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συστήματος

Νο Φ/Β Συστ.:

Γενικά στοιχεία																											
Εγκατεστημένη Ισχύς Συστήματος		Τόπος Εγκατάστασης																									
Συνολική Ονομαστική Ισχύς Φ/Β Πλαισίων	_____ kWp	[Δοκίμης (Ονομαστικό/η Εταιρεία)]																									
Απόκλιση Ισχύος Φ/Β πλαισίων	_____ %	[Οδός-Αριθμός]																									
Προσανατολισμός/Κλίση		[Πολύ]																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>A/A</th> <th>Ισχύς(kWp)</th> <th>Προσανατολισμός (°)</th> <th>Κλίση (°)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		A/A	Ισχύς(kWp)	Προσανατολισμός (°)	Κλίση (°)																					Ενεργοποίηση Φ/Β Συστήματος	
A/A	Ισχύς(kWp)	Προσανατολισμός (°)	Κλίση (°)																								
Παρατηρήσεις:		Ημερομηνία Ενεργοποίησης: _____ Αριθμός Μετρητή: _____ Ένδειξη Μετρητή με την παράδοση: _____ kWh <input type="checkbox"/> Εκτίμηση Απόδοσης <input type="checkbox"/> Δεν πραγματοποιήθηκε εκτίμηση Αναμενόμενη απόδοση: _____ kWh/έτος* * Η πρόβλεψη δεν είναι δεσμευτική και αφορά μια εκτίμηση με ένα συγκεκριμένο μέσο όρο ηλιοφάνειας. Η απόδοση εξαρτάται από παράγοντες όπως η ποιότητα της εγκατάστασης κ.α																									

Φωτοβολταϊκά πλαίσια								
Αριθμός πλαισίων	Σειριακός αριθμός	Κατασκευαστής	Τύπος πλαισίου	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά				
				P _{mp} (Wp)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	I _{mp} (A)	V _{mp} (V)

Κρυσταλλικό πυρίτιο: IEC 61215: 1993 IEC 61215:2005, EN 61215:2005
Thin film: IEC 61646:1998 IEC 61646:2008
Προστασία: EN 61730-1:2007, EN 61730-2:2007 IEC 61730-1:2004, IEC 61730-2:2004
 Πιστοποίηση CE
 Κλάση μόνωσης II
Μηχανική αντοχή: Απλή (2400 Pascal) Αυξημένη (5400 Pascal)

Άλλα πιστοποιητικά: _____

Στοιχεία καλωδιώσεων			
	Κατασκευαστής	Τύπος	Χρησιμοποιούμενες διατομές
Καλώδια σύνδεσης πλαισίων			
Καλώδια σύνδεσης πλαισίων και αντιστροφεία			
Καλώδια εναλλασσόμενου ρεύματος			

Στοιχεία διακοπών Σ.Ρ. (εφόσον δεν συμπεριλαμβάνονται στον αντιστροφέα)					
Α/Α	Κατασκευαστής	Τύπος	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά		Πιστοποίηση CE
			I_{max} (A)	V_{max} (V)	
					<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>

Στοιχεία αντιστροφείων						
Α/Α	Σειριακός αριθμός	Κατασκευαστής	Τύπος αντιστροφεία	Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά		
				$P_{DC\ nom}$ (W)	$P_{DC\ max}$ (W)	$P_{AC\ nom}$ (W)

Πιστοποίηση CE
 Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα
 Προστασία έναντι νηριδοποίησης

Άλλα πιστοποιητικά: _____

Στοιχεία στήριξης	
Κατασκευαστής:	Τύπος: Υλικό κατασκευής:
Τρόπος στήριξης	
Τοποθέτηση:	<input type="checkbox"/> Επίπεδη οροφή <input type="checkbox"/> Επικλινή στέγη (>5° κλίση) <input type="checkbox"/> Σκίαστρα <input type="checkbox"/> Στέγαστρα
Στερέωση:	<input type="checkbox"/> Με βάρος <input type="checkbox"/> Πάκτωση <input type="checkbox"/> Άλλο
Διαστασιολόγηση σύμφωνα με:	<input type="checkbox"/> Ευρωκώδικα 1 <input type="checkbox"/> Άλλο (πχ DIN1055)
Υπεύθυνος στατικής επάρκειας συστήματος στήριξης:	_____
Υπεύθυνος στατικής επάρκειας στέγης/φέρουσας υποδομής:	_____
Πιστοποιητικά ποιότητας/Στατικά:	_____

Πληροφορίες Σχεδιασμού/Εγκατάστασης

Γενικά			
<input type="checkbox"/> Η κατασκευή της Φ/Β εγκατάστασης έγινε βάσει των κανονισμών: <input type="checkbox"/> Πραγματοποιήθηκε μελέτη εκτίμησης σκίασης			
Στατικά			
Η αξιολόγηση της φέρουσας υποδομής της στέγης έγινε:			
<input type="checkbox"/> Ναι, από τον:		<input type="checkbox"/> Δεν απαιτείται, διότι:	
Η αξιολόγηση της κατασκευής της επιφάνειας/μόνωσης της στέγης έγινε:			
<input type="checkbox"/> Ναι, από τον:		<input type="checkbox"/> Δεν απαιτείται, διότι:	
<input type="checkbox"/> Ο τρόπος στερέωσης του συστήματος στήριξης πληροί τις προδιαγραφές του Ευρωκώδικα 1. Η στερέωση των πλαισίων έγινε σύμφωνα με:			
<input type="checkbox"/> Υποδείξεις του κατασκευαστή των πλαισίων <input type="checkbox"/> Εναλλακτικό τρόπο (αξιολόγηση): _____			
Ηλεκτρική ασφάλεια λειτουργίας			
Η εγκατάσταση έγινε και ελέγχθηκε με βάση τα πρότυπα:			
Η προστασία & ασφάλεια ανθρώπου από το κύκλωμα συνεχούς ρεύματος υλοποιήθηκε μέσω:			
<input type="checkbox"/> Εξοπλισμού μόνωσης κλάσης II <input type="checkbox"/> Άλλο:			
<input type="checkbox"/> Η εγκατάσταση περιέχει προστασία έναντι διαρροής προς γη και βραχυκυκλωμάτων			
Επιλογή και εγκατάσταση ηλεκτρολογικού εξοπλισμού			
Η επιλογή και εγκατάσταση του εξοπλισμού τηρεί τα πρότυπα.....			
Προδιαγραφές του κατασκευαστή που λήφθηκαν υπ' όψιν:			
<input type="checkbox"/> Μέγιστη τάση εισόδου και τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος του αντιστροφέα <input type="checkbox"/> Τοποθέτηση του αντιστροφέα για την κατάλληλη απαγωγή θερμότητας <input type="checkbox"/> Επιλογή διακοπών Σ.Ρ. βάσει ρευμάτων φορτίου και βραχυκυκλώματος <input type="checkbox"/> Καλωδίωση (λαμβάνοντας υπ' όψιν την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας και θερμοκρασίας)			
Αντικεραυνική προστασία/Προστασία έναντι υπερτάσεων			
Το σύστημα στήριξης γειώθηκε: <input type="checkbox"/> Ναι <input type="checkbox"/> Όχι			
<input type="checkbox"/> Το κτήριο έχει αντικεραυνική προστασία:			
<input type="checkbox"/> Άμεση σύνδεση της γείωσης του Φ/Β συστήματος στο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας <input type="checkbox"/> Διατήρηση των απαιτούμενων αποστάσεων από το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας			
Προστασία υπερτάσεων (εκτός αντιστροφέα)	Απαγωγό τύπου 1	Απαγωγό τύπου 2	Δεν πραγματοποιήθηκε
πλευρά Σ.Ρ.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
πλευρά Ε.Ρ.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Προστασία/Φύλαξη			
Σύστημα παρακολούθησης και προστασίας: <input type="checkbox"/> Ηχητική <input type="checkbox"/> Τηλεϊδοποίηση <input type="checkbox"/> Χωρίς προστασία			
Αντικλεπτικά μέτρα: <input type="checkbox"/> Πλαίσια και συστήματα στήριξης <input type="checkbox"/> Αντιστροφείς			

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ / ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΤΗ

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	
<p>Η βεβαίωση εκδόθηκε από:</p> <hr/> <p>Επωνυμία εταιρείας</p> <hr/> <p>Όνοματεπώνυμο υπαίθυνου</p> <hr/> <p>Όδός-Αριθμός</p> <hr/> <p>Πόλη</p> <p>Ο υπογράφων βεβαιώνει ότι όλες οι ανωτέρω πληροφορίες είναι ακριβείς και αφορούν τη συγκεκριμένη εγκατάσταση.</p> <hr/> <p>Ημερομηνία, Υπογραφή Εγκαταστάτη</p>	<p>Η σφραγίδα βεβαιώνει ότι Η εγκατάσταση είναι νόμιμη και κατόπιν μπαίνει στην ιστοσελίδα του κατασκευαστή</p> <p><u>Σφραγίδα εταιρείας</u></p>

Βιβλιογραφία:

1. **Κ.Θ. Δέρβος**, Εισαγωγή στα ημιαγωγικά υλικά και φωτοβολταϊκές διατάξεις, Ε.Μ.Π. 2010.
2. **C. Kittel**, Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης, 5^η Έκδοση μεταφρασμένη στα Ελληνικά, Εκδόσεις Πνευματικού, 1979.
3. **N. Mohan, T.A. Underland, W.P. Robbins**, Ηλεκτρονικά Ισχύος, John Wiley, 1995, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 1996. Μεταφρασμένη στα Ελληνικά (Ν.Μάργαρης).
4. **H.J.Muller**, Semiconductors for Solar Cells, Artech House, INC, 1993.
5. **R. Messenger and J.Ventre**, Photovoltaic System Engineering, CRC Press, 2000.
6. **M. Buresh**, Photovoltaic Energy System Design and Installation, Mc Graw Hill Book Company, 1983.
7. **I.E. Φραγκιαδάκης**, Φωτοβολταϊκά Συστήματα 3^η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2009.
8. **M.S. Imamura, P. Helm and Pazl**, Photovoltaic System Technology, A European Handbook Commission of the European Communities 1992.
9. **Κ. Καγκαράκης**, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Ημιαγωγοί 2, Εκδόσεις συμμετρία, Αθήνα 1987.
10. **R.L. Hulstrom**, Solar Resources, MIT Press, 1989.
11. **R. McCluney**, **Introduction to Radiometry and Photometry**, ARTECH HOUSE, INC, 1994.
12. **J. Twidell and T.Weir**, Renewable Energy Resources, W&FN Spon, 2000.
13. **T. Markvart**, Solar Electricity, John Willey & Sons, LTD, Second edition, 2001.
14. **S.M. Sze**, Semiconductor Devices Physics and Technology, John Wiley & Sons 1985 and Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1981.
15. **C. Kittel and H. Kroemer**, Thermal Physics, W.H. Freeman and Company, New York, Second Edition, 1980.
16. IEC 62446: Grid connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection.
17. IEC 60364-7-712: Electrical installations of buildings, Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems (IEC 60364-7-712:2002).
18. EN-IEC 61215: Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval
19. EN-IEC 61646: Thin-film Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules – Design Qualification and Type Approval
20. ΕΛΟΤ HD384 Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.
21. **Κάπος Μιλτιάδης**, Φωτοβολταϊκά, αιολικά, υδροηλεκτρικά, Ήπιες και ανανεώσιμες πηγές Ηλεκτρισμού, 2009.
22. **Καπλάνης Σωκράτης**, Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Ίων, 2003.
23. **Καπλάνης Σωκράτης**, Ηλιακή Μηχανική, Ίων, 2004.
24. **Αλεξάκης Αλέξανδρος**, Ηλιακή Ενέργεια, Σιδέρη Μιχάλ, 2003.
25. **Μαλαμής Βασίλης**, Αυτόνομες Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας, Ίων, 1999.
26. **X. Πρωτογερόπουλος, Σ. Τσελεπής, Α. Ζαχαρίου**, (Μάρτιος 2001), 'Επιδεικτικό Έργο Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων σε Κτίριο του ΚΑΠΕ, συνολικής Ισχύος 5 kW_p.
27. **A.Q. Malik, Salmi Jan Bin Haji Damit**, Outdoor testing of single crystal silicon solar cells, Renewable Energy vol. 28, 2003.
28. **E. Radziemska**, The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells, Renewable Energy vol.28, 2003.
29. **C. Edwin Witt, Richard L. Mitchell, Holly P. Thomas, Martha Symko-Davies**, Terrestrial photovoltaic technologies update, Renewable energy vol. 23, 2001.