



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

**Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα.**

**Έλεγχοι και Λειτουργία.**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Κωνσταντίνος Α. Σταυρουλάκης

**Επιβλέπων :** Ιωάννης Φ. Γκόνος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 25 Φεβρουαρίου 2019





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

**Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα.**

**Έλεγχοι και Λειτουργία**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κωνσταντίνος Α. Σταυρουλάκης**

**Επιβλέπων :** Ιωάννης Φ. Γκόνος

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .

Αθήνα, 25 Φεβρουαρίου 2019

.....

Ιωάννης Φ. Γκόνος

Αναπληρωτής Καθηγητής

.....

Ιωάννης Αθ. Σταθόπουλος

Καθηγητής

.....

Φραγκίσκος Β. Τοπαλής

Καθηγητής

.....

Κωνσταντίνος Α. Σταυρουλάκης

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

Copyright © Κωνσταντίνος, Σταυρουλάκης, 2019.

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

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατασκευάζονται με χρονικό ορίζοντα μερικών δεκαετιών. Εγκαθίστανται επάνω σε δώματα και στέγες (οικιακή βιομηχανική), καθώς και στην όψη των κτιρίων. Επίσης, επάνω σε στέγαστρα parking κλπ ή και επί μεταλλικών βάσεων εντός αγροτικών και μη εκτάσεων. Πρόσφατα όμως έχουμε δει εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών επί πεζοδρομίου (πλατεία Υμηττού) και οδοστρώματος (Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής, route 66, Missouri) ή ακόμη και επάνω σε πλωτήρες (Γαλλία, Riolenc και Κίνα, Anchui).

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα όσον αφορά την λειτουργία των φωτοβολταϊκών μονάδων, καθώς και των προβλημάτων που αυτές μπορεί να παρουσιάσουν κατά τη διάρκεια ζωής τους.

Για τον λόγο αυτό θα παρουσιαστεί το πρότυπο το οποίο περιγράφει αναλυτικά τους ελέγχους που πρέπει να πραγματοποιηθούν για να ελεγχθεί η ορθή υλοποίηση της εγκατάστασης κατά την παραλαβή και θέση σε λειτουργία, αλλά και εκείνοι που αποσκοπούν στην τακτική αξιολόγηση της με την πάροδο των ετών.

Το πρότυπο IEC 62446-1, έχει επίσης μεγάλη χρησιμότητα στον εντοπισμό σφαλμάτων και βλαβών και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο, για τους επαγγελματίες του είδους.

Σημαντικό τμήμα αποτελεί η παρουσίαση ευρημάτων από επιθεωρήσεις φ/β εγκαταστάσεων που πραγματοποιήσαμε με την εταιρεία energy4free την οποία έχω προσωπικά δημιουργήσει ως ελεύθερος επαγγελματίας εδώ και έξι χρόνια. Το αρχείο των εγκαταστάσεων είναι αρκετά μεγάλο. Για τον λόγο αυτό, από το αρχείο επιλέχθηκαν ευρήματα, τα οποία καλύπτουν σχεδόν όλες τις περιπτώσεις σφαλμάτων τα οποία μπορούν να παρουσιαστούν σε μια εγκατάσταση φ/β.

Κλείνοντας, παρουσιάζονται τρόποι με τους οποίους μπορεί να γίνει εύκολη και αποδοτική η εποπτεία της φωτοβολταϊκής μονάδας, αλλά και μεθοδολογίες με τις οποίες μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

## Λέξεις Κλειδιά

Φωτοβολταϊκή μονάδα, Φωτοβολταϊκή γεννήτρια, διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα, έλεγχος Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, επιθεώρηση Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

## **Abstract**

A grid connected photovoltaic system is built to last for decades. The installation can be implemented on a building such as a residence, office or residence block, industry, warehouse etc. The pv system can be installed on a roof top or integrated to the front view of the building. They can also be installed on car parking roofs or mounted on metallic structures in plots. More recently we there has been pv installations on public squares (Ymittos square), on public roads (USA, Route 66, Missouri) and even on water floating (France, Piolenc and China, Anhui).

The purpose of this dissertation is to give a full view of the operation of a photovoltaic system and the problems this installation might have, during its operation and aging process.

To do that we will present the standard regarding the testing, documentation and maintenance of PV systems so as to check the correct installation during construction, completion and prior to energizing and connecting to the grid. Furthermore the checks that has to take place in order to evaluate the condition of the system during its life time.

The usage of the standard IEC62446-1, is of high importance to find any faults or problems of the photovoltaic system making it a useful tool for the PV professionals.

A part of the dissertation which is of high importance is the presentation of finds from photovoltaic installations due to PV evaluations, checks and maintenance that took place together with the energy4free company that I have created as a freelancer the past six years. The archive regarding pv installations is quite big. For that there was a selection of finding to be presented that cover most aspects of fault to be found in pv installations.

Furthermore there is a presentation of ways that the supervision of the pv system can be easy and efficient, and ways to optimize power production.

## **KeyWords**

Photovoltaic System, pv generator, Grid connected pv system, testing pv systems, pv check, problems of photovoltaic systems, pv maintenance, optimization of pv systems.

# Πρόλογος

Η εργασία αυτή αποτελεί τη διπλωματική εργασία του φοιτητή Κωνσταντίνου Σταυρουλάκη για την απόκτηση διπλώματος του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και Μηχανικού Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα και συγκεκριμένα οι έλεγχοι και η λειτουργία αυτών.

Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των θεμάτων που καλύπτονται σε κάθε κεφάλαιο.

Στο κεφάλαιο 1 δίνεται ο ορισμός των διασυνδεδεμένων Φωτοβολταϊκών συστημάτων. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες αυτών όπως ισχύουν στο Ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας αναλόγως του καθεστώτος αδειοδότησης.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται ανάλυση των τμημάτων από τα οποία αποτελείται, ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα. Ταυτόχρονα γίνεται κατηγοριοποίηση τους και ανάλυση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους, όπου αυτό είναι εφικτό.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται παρουσίαση τριών διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών μονάδων. Η παρουσίαση περιλαμβάνει μέρος της ενεργειακής μελέτης, της τελικής χωροθέτησης, της κατασκευής, του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, αλλά και των σχεδίων κατασκευής. Οι εγκαταστάσεις αυτές διαφέρουν στον τρόπο σύνδεσης τους με το δίκτυο, στην τεχνολογία των πάνελ αλλά και στην τεχνολογία των inverter.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση των προβλημάτων που εμφανίζονται στις διασυνδεδεμένες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, δίνοντας έμφαση στο γεγονός ότι είναι εγκαταστάσεις στις οποίες καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για σωστή σχεδίαση και κατασκευή, αλλά και τακτικού ελέγχου παράλληλα με προληπτική συντήρηση.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται το πρότυπο IEC 62446-1:2016 το οποίο περιγράφει αναλυτικά τους ελέγχους που απαιτούνται στις φ/β εγκαταστάσεις. Για τον σκοπό αυτό έγινε η μετάφραση του από το αγγλικό κείμενο και η προσαρμογή του για χάριν της παρουσίασης.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα επιθεωρήσεων που πραγματοποιήθηκαν από εμένα στα πλαίσια των εργασιών της εταιρείας energy4free σε 20 Φ/Β εγκαταστάσεις δυναμικότητας έως 10kWp. Για την διενέργεια των ελέγχων ακολουθήθηκαν οι διαδικασίες του προτύπου IEC 62446-1:2016.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται αποτίμηση των ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν. Παράλληλα γίνεται αποτίμηση της διαδικασίας εφαρμογής των δοκιμών, προτάσεις για τη σχεδίαση των φ/β μονάδων αλλά και για τη βελτίωση των εγκατεστημένων φ/β συστημάτων. Επιπλέον γίνεται πρόταση για εμπλουτισμό και επέκταση του προτύπου.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ κ. Γκόνο για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για τη στήριξη, την καθοδήγηση και τον προσωπικό χρόνο που μου αφιέρωσε.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να κάνω ειδική μνεία στα μέλη της επιτροπής Καθηγητή κ. Σταθόπουλο όπου από την πρώτη μας γνωριμία στην αίθουσα του μαθήματος, με προέτρεψε να ασχοληθώ περισσότερο με τον τομέα της ενέργειας και των Υψηλών Τάσεων, αλλά και τον καθηγητή κ. Τοπαλή στο πρόσωπο του οποίου τρέφω μεγάλη εκτίμηση και σεβασμό ως άτομο και Καθηγητή του τμήματος, τον οποίο πολλές φορές συμβουλευόμουν, κατά την διάρκεια του χρόνου σπουδών μου.

Επιπλέον τον κ. Ανδροβιτσάνεα Βασίλειο, Μεταδιδακτορικό Ερευνητή για τις πολύτιμες συμβουλές του, αλλά και για τον πολύτιμο προσωπικό χρόνο που αφιέρωσε, για την ορθή παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, την οικογένεια μου και τους ανθρώπους εκείνους που στήριξαν την επιλογή μου, να συνεχίσω τις σπουδές μου και να πραγματοποιήσω το όνειρο μου.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1- Φωτοβολταϊκό στοιχείο .....	21
Σχήμα 3.1 - Χωροθέτηση φωτοβολταϊκής μονάδας 5kWp στη Σίφνο .....	41
Σχήμα 3.2 - Μονογραμμικό σχέδιο φ/β εγκατάστασης δυναμικότητας 5kWp – Καμάρες Σίφνος.....	47
Σχήμα 3.3 - Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα DC δύο στοιχειοσειρών.....	48
Σχήμα 3.4 - Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα AC Φ/Β εγκατάστασης 5kW μονοφασικής παροχής.....	48
Σχήμα 3.5 - Χωροθέτηση φωτοβολταϊκής μονάδας 7,02kWp στην Άνοιξη Αττικής.....	52
Σχήμα 3.6 - Μονογραμμικό σχέδιο φ/β εγκατάστασης δυναμικότητας 7,02kWp – Άνοιξη Αττικής .....	54
Σχήμα 3.7 - Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα DC μίας στοιχειοσειράς.....	55
Σχήμα 3.8 - Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα AC Φ/Β εγκατάστασης 7,02kWp τριφασικής παροχής.....	55
Σχήμα 3.9 - Τοπογραφικό του οικοπέδου.....	57
Σχήμα 3.10 - Χωροθέτηση της φωτοβολταϊκής μονάδας.....	59
Σχήμα 3.11 - Μονογραμμικό σχέδιο φ/β εγκατάστασης δυναμικότητας 100kWp .....	64
Σχήμα 3.12 - Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα DC τεσσάρων στοιχειοσειρών.....	64
Σχήμα 3.13 - Πολυγραμμικό σχέδιο υποπίνακα AC inverter Nx.....	65
Σχήμα 3.14 - Πολυγραμμικό σχέδιο κεντρικού πίνακα AC φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 100kWp.....	67
Σχήμα 3.15 - Σχηματική παράσταση του συστήματος γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας με αγωγό γείωσης περιμετρικά και ακίδες τύπου Franklin επί των βάσεων .....	67
Σχήμα 4.1 - Προβλήματα που εμφανίζουν τα φ/β πλαίσια κατά τη διάρκεια της ζωής τους .....	72
Σχήμα Δ.1 –Μορφές της καμπύλης I-V.....	143

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 - Ενέργεια ανά μήνα και $m^2$ σε συγκεκριμένες μοίρες – Καμάρες Σίφνος .....	42
Πίνακας 3.2 - Περιγραφή συστήματος 5kWp μέσω λογισμικού Pvsyst – Καμάρες Σίφνος.....	44
Πίνακας 3.3 - Μηνιαίες αποδόσεις συστήματος 5kWp μέσω λογισμικού Pvsyst – Καμάρες Σίφνος .....	45
Πίνακας 3.4 – Ενέργεια ανα μήνα και $m^2$ στο επίπεδο και στο βέλτιστο σημείο – Άνοιξη Αττικής.....	53
Πίνακας 3.5 – Περιγραφή συστήματος 100kWp μέσω λογισμικού Pvsyst – Πλατύκαμπος Λάρισας.....	61
Πίνακας 3.6 – Μηνιαίες αποδόσεις συστήματος 100kWp μέσω λογισμικού Pvsyst – Πλατύκαμπος Λάρισας .....	62
Πίνακας 5.1 – Δομή του προτύπου ICE 62446-1: 2016 .....	75
Πίνακας 5.2 – Πίνακας τροποποίησης των δοκιμών για συστήματα με ηλεκτρονικά εγκατεστημένα στο επίπεδο του πλαισίου .....	88
Πίνακας 5.2 – Ελάχιστες τιμές αντίστασης μόνωσης σε $\phi/\beta$ συστοιχίες εώς 10kWp.....	97

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτογραφία 2.1 – Μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πάνελ.....	22
Φωτογραφία 2.2 - Πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό πάνελ.....	22
Φωτογραφία 2.3 – Φωτοβολταϊκό πάνελ ταινίας πυριτίου .....	23
Φωτογραφία 2.4 – Διαφανές φωτοβολταϊκό πάνελ λεπτού υμενίου .....	24
Φωτογραφία 2.5 – Συνεδριακό κέντρο με ενσωμάτωση στην όψη φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου .....	24
Φωτογραφία 2.6 – Υβριδικά φωτοβολταϊκά πάνελ HIT Panasonic .....	26
Φωτογραφία 2.7 – Κυλινδρικά φωτοβολταϊκά Solyndra .....	26
Φωτογραφία 2.8 – Εφαρμογές τηλεμετρίας για smart phones και tablet.....	36
Φωτογραφία 2.9 – Σελίδες πληροφοριών portal $\phi/\beta$ μονάδων.....	38
Φωτογραφία 2.10 - Πλάνο Φ/Β εγκατάστασης με σύστημα Solar Edge .....	39
Φωτογραφία 3.1- Η διάταξη πίνακα DC – Inverter – πίνακας AC.....	49
Φωτογραφία 3.2- Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια εγκατεστημένη.....	49
Φωτογραφία 3.3 - Η στέγη – Δώμα του κτηρίου πριν την εγκατάσταση .....	50
Φωτογραφία 3.4 - Η διάταξη πίνακα AC – Inverter – πίνακας AC.....	56
Φωτογραφία 3.5 - Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια εγκατεστημένη.....	56
Φωτογραφία 3.6 - Το αγροτεμάχιο πριν την εγκατάσταση της μονάδας.....	57
Φωτογραφία 3.7 – Στύλος Μ/Σ Μέσης Τάσης ΔΕΔΔΗΕ στην Ν/Α πλευρά του αγροτεμαχίου .....	58
Φωτογραφία 3.8 – Άποψη των $\phi/\beta$ βάσεων με τα Φ/Β πλαίσια και τις ακίδες τύπου Franklin τοποθετημένες.....	68

Φωτογραφία 3.9 – Διάταξη πίνακα DC – Inverter – πίνακα AC ( από αριστερά προς τα δεξιά) .....	68
Φωτογραφία 3.10 – Κεντρικός πίνακας AC και δεξιά πίνακας συναγερμού και καμερών .....	69
Φωτογραφία 3.11 – Πίνακας τηλεμετρίας 3G/4G Φ/Β εγκατάστασης με αντικεραυνική προστασία .....	69
Φωτογραφία 3.12 - Άποψη της περιφράξης τύπου NATO και του συστήματος ασφαλείας.....	70
Φωτογραφία 3.13 – Το φ/β σύστημα εν λειτουργία.....	70
Φωτογραφία 6.1 – Φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα με μηδενική κλίση .....	111
Φωτογραφία 6.2 – Φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία ανήκουν στην ίδια στοιχειοσειρά εγκατεστημένα με 3 διαφορετικές κλίσεις .....	111
Φωτογραφία 6.3 – Φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα σε σημείο με μόνιμη σκίαση .....	112
Φωτογραφία 6.4 – Οξειδωμένη βάση στήριξης αλουμινίου.....	112
Φωτογραφία 6.5 – Βάση στήριξης χωρίς την προβλεπόμενη αγκύρωση από τον κατασκευαστή .....	113
Φωτογραφία 6.6 – Οξειδωμένες τρυπανόβιδες στις συνδέσεις των αγωγών γείωσης.....	113
Φωτογραφία 6.7 – Αγωγοί γείωσης τοποθετημένοι σε φ/β βάση στήριξης χωρίς κατάλληλους σύνδεσμοι σύνδεσης.....	114
Φωτογραφία 6.8 – Οξειδωμένο περίβλημα Power Optimizer.....	114
Φωτογραφία 6.9 – Πολυμερισμένο καπάκι οθόνης inverter.....	115
Φωτογραφία 6.10 – Κακές συσφίξεις καλωδίων οι οποίες οδήγησαν σε καταστροφή εξαρτημάτων και βλάβες.....	115
Φωτογραφία 6.11 – Κάμψη του σασί φ/β πλαισίου λόγω υπερβολικής σύσφιξης επί των βάσεων.....	116
Φωτογραφία 6.12 – Απουσία σημάτων σε καλωδιώσεις .....	116
Φωτογραφία 6.13 – Απουσία σημάτων σε πίνακες .....	116
Φωτογραφία 6.14 – Λάθος επιλογή ραγουλικού σε 3Φ πίνακα AC .....	117
Φωτογραφία 6.15 – Εκτεθειμένες καλωδιώσεις σε κρούση και UV ακτινοβολία .....	118
Φωτογραφία 6.16 – Inverter εκτός λειτουργίας λόγω βλάβης.....	118
Φωτογραφία 6.17 – Πίνακας DC με 3 ανεξάρτητες στοιχειοσειρές και ένα αντικεραυνικό .....	118
Φωτογραφία 6.18 – Πίνακας DC με 3 ανεξάρτητες στοιχειοσειρές χωρίς αντικεραυνική προστασία.....	119
Φωτογραφία 6.19 – Προβλήματα υγραμόνωσης σε στέγες μετά την εγκατάσταση φ/β πλαισίων.....	120
Φωτογραφία 6.20 – Οξείδωση στην σύνδεση του ταινιόδρομου φ/β πάνελ .....	120
Φωτογραφία 6.21 – Κακές κολλήσεις σε ταινιόδρομο φ/β πάνελ που οδήγησε σε τοπικές υπερθερμάνσεις .....	120
Φωτογραφία 6.22 – Σπασμένες κυψέλες φ/β πλαισίων .....	121
Φωτογραφία 6.23 – Σπασμένος φ/β σωλήνας Solyndra.....	121

Φωτογραφία 6.24 – <i>Snail trails</i> – Ρηγματώσεις σε φ/β πλαίσια .....	122
Φωτογραφία 6.25 – Αλλοιώσεις μεμβράνης σφράγισης φ/β πλαισίων.....	122
Φωτογραφία 6.26 – Αποκόλληση κυψέλης φ/β πλαισίων .....	123
Φωτογραφία 6.27 – Υπερθερμάνσεις φ/β κυψέλης και <i>Hot Spot</i> .....	123
Φωτογραφία 6.28 – Λάθος σημείο τοποθέτησης inverter με αποτέλεσμα την αναποτελεσματική του ψύξη και στην ενεργοποίηση λειτουργίας <i>derating</i> .....	124
Φωτογραφία 6.29 – Λάθη σε συνδέσεις καλωδιώσεων.....	125
Φωτογραφία 6.30 – Κατεστραμμένοι δίοδοι <i>Bypass</i> .....	127
Φωτογραφία 6.31 – Περιπτώματα πουλιών δημιούργησαν πρόβλημα αντίστασης μόνωσης στην καλωδίωση θέτοντας την εγκατάσταση εκτός λειτουργίας.....	127
Φωτογραφία 6.32 – Εύρεση <i>Hot Spot</i> κατά την επιθεώρηση με κάμερα <i>IR</i> .....	130
Φωτογραφία 6.33 – Θερμοκρασιακή ανωμαλία λόγω δοκίδος στο πίσω μέρος του πάνελ .....	130
Φωτογραφία 7.1 – Έλεγχος φωτοδιαύγειας σε Φ/Β πάνελ .....	134

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1 – Μπλοκ διάγραμμα ηλιακού inverter ABB PVI 10.0-12.5 .....	27
Διάγραμμα 2.2 – Μέγιστο σημείο ισχύος φ/β πάνελ .....	30
Διάγραμμα 2.3 – Μέγιστο σημείο ισχύος φ/β πάνελ / ένταση φωτεινής ακτινοβολίας .....	30
Διάγραμμα 2.4 – Μέγιστο σημείο ισχύος φ/β πάνελ// θερμοκρασία .....	31
Διάγραμμα 3.1 – Μηνιαία ακτινοβολία στο σημείο τοποθέτησης με κλίση πάνελ 18°- Σίφνος.....	43
Διάγραμμα 3.2 – Βέλτιστη κλίση πάνελ ανα μήνα στο σημείο τοποθέτησης - Σίφνος.....	43
Διάγραμμα 3.3 – Απώλειες συστήματος 5kWp μέσω προγράμματος Pvsyst – Καμάρες Σίφνος.....	46
Διάγραμμα 3.4 – Μηνιαία ακτινοβολία στο σημείο τοποθέτησης- Άνοιξη Αττικής .....	54
Διάγραμμα 3.5 – Απώλειες συστήματος 100kWp μέσω προγράμματος Pvsyst – Πλατύκαμπος Λάρισας .65	
Διάγραμμα 5.1 – Παράδειγμα – Διάγραμμα της διαδρομής του ήλιου .....	105
Διάγραμμα 6.1 – Καμπύλη I-V φ/β πλαισίου με σπασμένη κυψέλη .....	128
Διάγραμμα 6.2 – Καμπύλη I-V φ/β πλαισίου με μερική σκίαση .....	129

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1.</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>16</b>
1.1.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ .....	16
1.1.1	FEED IN TARIFF .....	16
1.1.2	FEED IN PREMIUM.....	18
1.1.3	NET METERIN.....	18
1.1.4	VIRTUAL NET METERING.....	19
<b>2.</b>	<b>ΜΕΡΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝΤΑΙ ΤΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....</b>	<b>20</b>
2.1.	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ.....	20
2.2.	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ – INVERTERS .....	27
2.3.	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ.....	33
2.4.	ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ .....	33
2.5.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΗΣ .....	34
2.6.	ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ .....	35
2.7.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ.....	35
<b>3.</b>	<b>ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....</b>	<b>40</b>
3.1.	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ 5kW <sub>p</sub> ΣΤΗΝ ΣΙΦΝΟ.....	40
3.2.	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ 7.02kW <sub>p</sub> ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.....	49
3.3.	ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ 100kW <sub>p</sub> ΣΤΗΝ ΛΑΡΙΣΑ.....	57
<b>4.</b>	<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ. MAINTENANCE FREE SYSTEMS? .....</b>	<b>71</b>
4.1.	ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΣΕ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ.....	71
<b>5.</b>	<b>ΕΛΕΓΧΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ .....</b>	<b>75</b>
5.1.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IEC 62446-1:2016 .....	75
5.1.1	ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ - ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ .....	76
5.1.2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	76
5.1.3	ΜΟΝΟΓΡΑΜΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΚΑΛΩΔΙΩΣΗΣ .....	77
5.1.4	ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΩΝ .....	79
5.1.5	ΤΕΧΝΙΚΑ ΦΥΛΛΑΔΙΑ .....	79
5.1.6	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ.....	79
5.1.7	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....	80
5.1.8	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	80
5.1.9	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΩΝ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ .....	80
5.2	ΕΞΑΚΡΙΒΩΣΗ .....	80
5.2.1	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	82
5.2.2	ΔΟΚΙΜΕΣ .....	87
5.3	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ – ΠΡΩΤΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ.....	91
5.3.1	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ.....	91
5.3.2	ΔΟΚΙΜΗ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	91
5.3.3	ΔΟΚΙΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗΣ.....	91
5.3.4	ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΑ – ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΑΣ .....	92
5.3.5	ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΑ – ΜΕΤΡΗΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ.....	93
5.3.6	ΔΟΚΙΜΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	94
5.3.7	ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΑΣ .....	95
5.4	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ – ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ .....	98
5.4.1	ΚΑΜΠΥΛΗ I-V ΜΕΤΡΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΣΕΙΡΑΣ.....	98
5.4.2	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ IR - ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
5.5	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΟΚΙΜΩΝ – ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	103
5.5.1	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΩΣ ΠΡΟΣ ΓΗ – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΠΡΟΣ ΓΗ .....	103
5.5.2	ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΟΔΟΥ ΑΠΟΚΟΠΗΣ .....	103

5.5.3	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ –ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΜΕ ΚΑΤΑΙΟΝΙΣΜΟ	103
5.5.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΚΙΑΣΕΩΝ	105
5.6	ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	105
5.6.1	ΑΡΧΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	106
5.6.2	ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	106

## **6. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΙΕC 62446-1:2016..... 107**

6.1	ΟΡΓΑΝΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΩΝ	107
6.2	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	109
6.2.1	ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	109
6.2.2	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ	109
6.2.3	ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	126
6.2.4	ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ	128

## **7. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΠΙΛΟΓΟΣ ..... 131**

7.1	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΛΕΓΧΩΝ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	131
7.2	ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ	131
7.3	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	133
7.4	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ	133
7.5	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ	133
7.6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	135

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	136
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	142
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	143
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	148

# Κεφάλαιο 1

## **1. Εισαγωγή στα Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά συστήματα.**

Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα ορίζονται εκείνα τα οποία είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Μιλώντας για τον Ελλαδικό χώρο, Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα ονομάζουμε εκείνα τα οποία έχουν αδειοδοτηθεί και έχουν συνδεθεί μέσα από συγκεκριμένη διαδικασία στο δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

Τα συστήματα αυτά δεν έχουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας, αλλά χρησιμοποιούν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας για να διοχετεύουν την παραγόμενη ενέργεια προς τους καταναλωτές. Στο ενδεχόμενο όπου το δίκτυο ενέργειας βγαίνει εκτός λειτουργίας ή εκτός ορίων δικτύου, σταματάει αυτόματα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φ/β σύστημα. Το σύστημα στήριξης των φ/β πλαισίων μπορεί να είναι είτε σταθερές βάσεις είτε σύστημα ιχνηλάτησης (trackers).

Το καθεστώς μέσω του οποίου γίνεται η αδειοδότηση και η σύνδεση των διασυνδεδεμένων μονάδων ποικίλει ανάλογα με την εκάστοτε νομοθεσία.

### **1.1 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων**

Οι διασυνδεδεμένες Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αναλόγως του καθεστώτος αδειοδότησης κατηγοριοποιούνται στις εξής κατηγορίες:

- Feed in Tariff - Χρηματική αποζημίωση
- Feed in Premium – Χρηματική αποζημίωση σε συνάρτηση με την οριακή τιμή συστήματος
- Net metering – Ενεργειακός συμψηφισμός
- Virtual Net metering – “Εικονικός” ενεργειακός συμψηφισμός

#### **1.1.1 Feed in Tariff**

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας, πωλούν την παραγόμενη ενέργεια σε καθορισμένες τιμές στο δίκτυο. Νομικά αυτό γίνεται με την υπογραφή σύμβασης μεταξύ του ΔΕΔΔΗΕ και του ιδιοκτήτη της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Η σύμβαση αυτή περιγράφει αναλυτικά τους όρους και τις δεσμεύσεις των δύο μερών. Επιπλέον, μέσω αυτής της σύμβασης καθορίζεται επακριβώς η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας, καθώς και οι αναπροσαρμογές, που προβλέπονται κατά την διάρκεια της σύμβασης, μέχρι την λήξη αυτής.

Στην Ελλάδα έγιναν αρκετές συνδέσεις Feed in Tariff μέσω ειδικών προγραμμάτων:

- Ειδικό πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά στην στέγη». Το πρόγραμμα αυτό απευθυνόταν σε ιδιοκτήτες ακινήτων, φυσικά ή νομικά πρόσωπα. Η εγκατάσταση της φωτοβολταϊκής μονάδας μπορούσε να γίνει στο δώμα ή στη στέγη ενός νόμιμα ανεγερθέντος ακινήτου ή



μιας στεγασμένης θέσης στάθμευσης, εντός της Ελληνικής επικράτειας. Η μέγιστη δυναμικότητα αυτού ήταν 10KWp. Σε ορισμένες, όμως, περιοχές, όπως κάποια μη διασυνδεδεμένα νησιά, ήταν δυνατή η εγκατάσταση μόνο μικρών φ/β μονάδων μέγιστης δυναμικότητας 5kWp. Το πρόγραμμα αυτό ήταν ιδιαίτερα ελκυστικό λόγω των υψηλών τιμών πώλησης της κιλοβατώρας προς τη ΔΕΗ, αν και τα πρώτα χρόνια εφαρμογής του, η τιμή κατασκευής μιας τέτοιας μονάδας ήταν αρκετά υψηλή. Στην πορεία όμως, η πολύ μεγάλη πτώση των τιμών των φωτοβολταϊκών πλαισίων και ο μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστικών εταιρειών και των τραπεζών, έκαναν ιδιαίτερα ελκυστική και προσιτή την κατασκευή μιας τέτοιας μονάδας. Καθοριστικό ήταν το γεγονός, ότι το έσοδο από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν αφορολόγητο. Επιπλέον δεν ήταν απαραίτητη η έναρξη επαγγελματικής δραστηριότητας στην εφορία, ασφάλισης κλπ. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη σύμβαση, γινόταν χρηματικός συμψηφισμός μεταξύ της παραγόμενης ενέργειας του φ/β και της καταναλισκόμενης ενέργειας από την κτηριακή μονάδα, με την οποία είχε «συνδεθεί» στην σύμβαση το φ/β σύστημα, σε κάθε εκκαθαριστικό λογαριασμό. Οι πιστώσεις που υπήρχαν, κατατίθεντο στον τραπεζικό λογαριασμό του ιδιοκτήτη της φ/β εγκατάστασης. Η διάρκεια της σύμβασης ήταν για 25 χρόνια.

Ήταν τόσο μεγάλη η απήχηση του προγράμματος, όπου υπήρξαν περιπτώσεις ατόμων, τα οποία κατασκεύασαν περισσότερες της μίας μονάδας, σε διαφορετικά ακίνητα. Στην συνέχεια βγήκε οδηγία για μία φ/β εγκατάσταση ανά ΑΦΜ. Το πρόγραμμα αυτό πλέον δεν υφίσταται.

Σχετική νομοθεσία: ΦΕΚ Β'1079/04.06.2009, ΦΕΚ Β'1557/22.9.2010, ΦΕΚ ΑΑΠ 376/6.9.2010, ΦΕΚ Β'1556/22.09.2010, ΦΕΚ Β'583/14.04.2011, Νόμος 4014/2011, ΦΕΚ Α'209/21.09.2011, Τροποποίηση της παρ. 1, του άρθρου 6 του ΦΕΚ Β'583/14.04.2011 (ΦΕΚ Β'14/11.01.2012), Νέος Οικοδομικός Κανονισμός ν. 4067, ΦΕΚ Α'79/9.04.2012, Τροποποίηση της ΚΥΑ, ΦΕΚ Β' 2317/10.08.2012, Τροποποίηση του Ειδικού Προγράμματος, ΦΕΚ Β' 1103/02.05.2013

- Αγροτικά φωτοβολταϊκά πάρκα: Αυτή ήταν μία ιδιαίτερη κατηγορία φωτοβολταϊκών συστημάτων τα οποία μπορούσαν να εγκατασταθούν από κατ' επάγγελμα αγρότες σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Δε χρειαζόταν πρόσθετη ασφάλιση των αγροτών, ενώ η φορολόγηση των εσόδων από την πώληση της ενέργειας ήταν 13%. Οι τιμές πώλησης ήταν επίσης υψηλές. Η διάρκεια της σύμβασης ήταν για 20 χρόνια. Κατασκευάστηκε αρκετά μεγάλος αριθμός φ/β πάρκων με την πλειοψηφία τους να είναι δυναμικότητας έως 100kWp. Το πρόγραμμα αυτό πλέον δεν υφίσταται.
- Φωτοβολταϊκά πάρκα: Στη συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσονται μονάδες μεγαλύτερες των 10kWp. Οι εγκαταστάσεις αυτές μπορούσαν να γίνουν σε βιομηχανικές στέγες ή και επί εδάφους, αλλά δεν είχαν τις φοροελαφρύνσεις των αγροτικών φωτοβολταϊκών. Παρόλα αυτά, οι τιμές πώλησης της ενέργειας ήταν ιδιαίτερα υψηλές, με αποτέλεσμα να γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα η απόσβεση της επένδυσης και να υπάρχει κερδοφορία για αρκετά χρόνια. Η διάρκεια της σύμβασης ήταν για 20 χρόνια. Το πρόγραμμα αυτό πλέον δεν υφίσταται.
- Φωτοβολταϊκά πάρκα – fast track: Πρόκειται για μεγάλης ισχύος φ/β μονάδες. Οι επενδύσεις αυτές προέρχονται από επενδυτικούς ομίλους του εσωτερικού ή εξωτερικού

οι οποίες προβλήθηκαν ιδιαίτερα μέσω του «invest in Greece». Ο τρόπος αδειοδότησης είναι παρόμοιος με τα φ/β πάρκα. Όμως, σε αυτή την κατηγορία, δίνεται η δυνατότητα σε επενδυτικούς ομίλους να αποκτήσουν άδεια κατασκευής και σύνδεσης σε περίοδο όπου οι κανονικές αδειοδοτήσεις έχουν παύσει.

### 1.1.2 Feed in Premium

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν μεγάλης ισχύος φ/β εγκαταστάσεις μέσω νέας διαδικασίας αδειοδότησης. Στο πλαίσιο ανοίγματος της αγοράς ενέργειας, καθώς και ενίσχυσης της παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ, θα δημοπρατούνται ηλεκτρονικά από εδώ και στο μέλλον οι άδειες παραγωγής. Υπεύθυνος για αυτές τις δημοπρασίες είναι η ΡΑΕ. Μέσω αυτών των δημοπρασιών θα δημοπρατούνται τα διαθέσιμα κατά καιρούς MW παραγωγής. Οι δημοπρασίες αυτές διαχωρίζονται αναλόγως μεγέθους των φ/β π.χ. μεσαίου και μεγάλου μεγέθους. Νικητής του εκάστοτε διαγωνισμού θα είναι αυτός ο οποίος θα δίνει τη χαμηλότερη τιμή παραγόμενης MWh. Σημειώνεται εδώ, ότι το ποσό της χρηματικής αποζημίωσης με το οποίο αποζημιώνεται ο παραγωγός είναι πλέον της οριακής τιμής του συστήματος της MWh. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη συμμετοχή στην ηλεκτρονική δημοπρασία είναι να έχει γίνει δεκτός ο φάκελος της επένδυσης, πριν από την ημερομηνία της δημοπρασίας, καθώς θα πρέπει να έχει ελεγχθεί αν πληροί τα κριτήρια που έχει θέσει η ΡΑΕ. Τέτοιος διαγωνισμός έγινε πρώτη φορά τον Δεκέμβριο 2016, όπου και δόθηκαν άδειες για μονάδες παραγωγής δυναμικότητας συνολικά 40MW.

### 1.1.3 Net metering

Μέσω αυτής της κατηγορίας που θεσμοθετήθηκε σχετικά πρόσφατα στη χώρα μας, δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης φ/β μονάδων αυτοπαραγωγής επί σταθερών βάσεων, για την κάλυψη ιδίων αναγκών από καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας, με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού. Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ενέργειας, με την καταναλισκόμενη ενέργεια στις εγκαταστάσεις του αυτοπαραγωγού. Η εκκαθάριση διενεργείται σε ετήσια βάση.

Αυτοπαραγωγοί μπορούν να είναι φυσικά πρόσωπα (επιτηδευματίες ή μη) και νομικά πρόσωπα δημοσίου και ιδιωτικού δικαίου, τα οποία είτε έχουν στην κυριότητά τους τον χώρο στον οποίο θα εγκατασταθεί το ΦΒ σύστημα, είτε έχουν τη νόμιμη χρήση αυτού (π.χ. μέσω μίσθωσης, δωρεάν παραχώρησης κλπ) και έχουν διασφαλίσει την έγγραφη συναίνεση του ιδιοκτήτη του χώρου.

Τα φωτοβολταϊκά αυτά συστήματα, μπορούν να εγκαθίστανται σε κτίρια, στο έδαφος, ή σε άλλες κατασκευές, συμπεριλαμβανομένων και αυτών του πρωτογενούς τομέα (αγροτικές αποθήκες, κτηνοτροφικές μονάδες, κλπ) σύμφωνα με την κείμενη πολεοδομική νομοθεσία.

Το φ/β σύστημα εγκαθίσταται στον ίδιο χώρο με τις εγκαταστάσεις κατανάλωσης που τροφοδοτεί ή σε όμορο αυτής χώρο.

Σε κάθε περίπτωση η μέγιστη ισχύς ενός φ/β συστήματος, που θα εγκατασταθεί στο πλαίσιο της Υπουργικής Απόφασης, δεν μπορεί να υπερβαίνει το όριο των 500 kWp.

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η Στερεά Ελλάδα και κάποια νησιά π.χ. Λευκάδα κλπ, η μέγιστη ισχύς κάθε φ/β συστήματος μπορεί να ανέρχεται στα 20 kWp ή

μέχρι 50% της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης κατανάλωσης (σε kVA), εφόσον το τελευταίο μέγεθος υπερβαίνει τα 20 kW.

Δεδομένου ότι το γενικό όριο σύνδεσης ισχύος παραγωγής στο δίκτυο χαμηλής τάσης είναι τα 100 kWp, για συμφωνημένη ισχύ κατανάλωσης 250 kVA (τυποποιημένη παροχή Νο 7), η ισχύς του φ/β συστήματος περιορίζεται στα 100 kWp.

Επισημαίνεται ότι η μέγιστη αποδεκτή ισχύς μονοφασικών συστημάτων παραγωγής ανέρχεται σε 5 kWp. Συνεπώς, σε εγκαταστάσεις κατανάλωσης με μονοφασική σύνδεση η ισχύς του Φ/Β συστήματος περιορίζεται σε 5 kWp.

Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, η ισχύς των Φ/Β συστημάτων μπορεί να ανέρχεται μέχρι 10 kWp και ειδικά στην Κρήτη μέχρι 20 kWp ή μέχρι 50% της συμφωνημένης ισχύος της εγκατάστασης κατανάλωσης (σε kVA), εφόσον το τελευταίο μέγεθος υπερβαίνει τα 10 kWp ή για την Κρήτη τα 20 kWp.

Τα συστήματα αυτά, αναλόγως δυναμικότητας ξεκινώντας από μια μικρή εγκατάσταση έως 100kWp, συνδέονται στο δίκτυο Χ.Τ. 230/400V. Για εγκαταστάσεις μεγαλύτερης των 100kWp συνδέονται στο δίκτυο Μ.Τ. των 20kV. Η διάρκεια της σύμβασης που υπογράφεται είναι για 25 έτη. [1]

Σχετική νομοθεσία: Υπουργική Απόφαση αριθμ.ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461(ΦΕΚ Β' 3583/31.12.2014), Υπουργική Απόφαση αριθμ.ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ Β' 1547/05.05.2017), (ΦΕΚ Β' 1079/2009)

#### **1.1.4 Virtual Net metering**

Σε αυτήν την κατηγορία φ/β εγκαταστάσεων, η οποία είναι η πιο πρόσφατα θεσμοθετημένη, έχουμε ενεργειακό συμψηφισμό όπως αυτός περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, με την πολύ σημαντική διαφορά ότι είναι επιτρεπτός ο συμψηφισμός της παραγόμενης ενέργειας (από έναν φ/β σταθμό) με την καταναλισκόμενη σε μία ή περισσότερες εγκαταστάσεις κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας του αυτοπαραγωγού, χωρίς να υφίσταται ο περιορισμός, η εγκατάσταση παραγωγής να είναι στον ίδιο (ή όμορο) χώρο με την εγκατάσταση κατανάλωσης και να συνδέεται ηλεκτρικά με αυτή (σύνδεση στο δίκτυο μέσω της ίδιας παροχής), όπως συμβαίνει στον κλασσικό ενεργειακό συμψηφισμό. Δηλαδή το σημείο εγκατάστασης μπορεί να είναι σε ένα εξοχικό στην επαρχία και η παραγόμενη ενέργεια να συμψηφίζεται με την ενέργεια που καταναλώνεται σε ένα διαμέρισμα στην Αθήνα, σε ένα δεύτερο στη Θεσσαλονίκη και σε ένα γραφείο στην Πάτρα κλπ.

Όσον αφορά το ποιος μπορεί να ενταχθεί στο πρόγραμμα, αλλά και τους περιορισμούς που αφορούν στη δυναμικότητα και στις λοιπές διαφοροποιήσεις μεταξύ διασυνδεδεμένου και μη διασυνδεδεμένου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύει ότι ισχύει και στο κλασσικό net metering.

Μία ακόμα σημαντική διαφορά είναι ότι τα φωτοβολταϊκά μπορούν να εγκατασταθούν και σε συστήματα ιχνηλάτησης (trackers), κάτι το οποίο δεν ισχύει στον κλασσικό ενεργειακό συμψηφισμό. Επιπλέον το μέγιστο της εγκατάστασης είναι 20kWp ή το 50% του αθροίσματος των επιμέρους συμφωνημένων παροχών στους οποίους θα εφαρμοστεί ο ενεργειακός συμψηφισμός. Ισχύουν και εδώ οι όποιοι, κατά τύπους περιορισμοί του δικτύου. Η διάρκεια της σύμβασης που υπογράφεται είναι για 25 έτη [1].

Σχετική νομοθεσία: Υ.Α. ΑΠΕΗΛ/Φ1/οικ.175067 (ΦΕΚ Β' 1547/5.5.2017)

# Κεφάλαιο 2

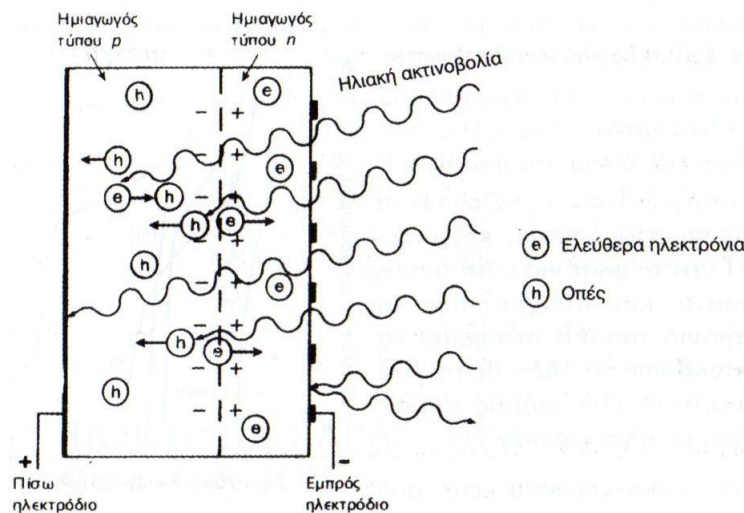
## **2. Μέρη από τα οποία αποτελούνται τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα**

Τα φ/β συστήματα τα οποία θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία αποτελούνται από τα εξής μέρη:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- Αντιστροφείς – inverter. Τεχνολογίες και κατηγορίες.
- Ηλεκτρικοί πίνακες – Ασφαλιστικά.
- Καλωδιώσεις – σύνδεσμοι.
- Σύστημα γείωσης.
- Συστήματα τηλεμετρίας.
- Ειδικές κατηγορίες - Backup systems.

### **2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια**

Η αρχή λειτουργίας όλων των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Όταν μια διάδος επαφής δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια  $h \cdot \nu$  μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα  $E_g$  του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο διαρκεί η ακτινοβολία δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στην περιοχή της επαφής των ημιαγωγών, έχουμε εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n και εκτροπή των οπών προς τον ημιαγωγό p (Σχήμα 2.1) [2].



Σχήμα 2.1 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο [2]

Δημιουργείται, δηλαδή, μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών των δύο τμημάτων της διόδου, η οποία διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτήν και το γεγονός αυτό ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάταξη αυτή, η οποία αποτελεί την πηγή του ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell) και για λόγους συντομίας Φ/Β στοιχείο [2].

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, αναλόγως των υλικών και της μεθόδου κατασκευής τους, κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- a. Μονοκρυσταλλικά.
- b. Πολυκρυσταλλικά.
- c. Στοιχεία ταινίας πυριτίου.
- d. Λεπτού υμενίου Thin film.
- e. Υβριδικά.
- f. Κυλινδρικά.

### Μονοκρυσταλλικά πλαίσια

Τα Μονοκρυσταλλικά φ/β πλαίσια ανήκουν στην κατηγορία των πλαισίων με στοιχεία πυριτίου. Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους, ενώ το πάχος της κυψέλης είναι σχετικά μεγάλο ( $\approx 300\mu\text{m}$ ). Η απόδοση τους κυμαίνεται εργαστηριακά στο 26,6% και είναι η μεγαλύτερη ανάμεσα σε όλες τις κατηγορίες φ/β πλαισίων [3], ενώ ο θερμοκρασιακός τους συντελεστής είναι πολύ καλός, δηλαδή έχουν μικρή μείωση της ισχύος εξόδου τους, με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλαισίου. Ο συντελεστής αυτός αναφέρεται ως «Temperature coefficient of  $P_{\text{max}}$ » και μετριέται σε ποσοστό επί της εκατό μείωσης της απόδοσης του πλαισίου ανα βαθμό κελσίου ( $-\%/^{\circ}\text{C}$ ). Σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια και υψηλές θερμοκρασίες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως είναι αυτή της Ελλάδας, αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό.

Τα πλαίσια αυτής της κατηγορίας μπορούν εύκολα να διακριθούν οπτικά, καθώς έχουν την χαρακτηριστική όψη της φωτογραφίας 2.1 με τους λευκούς ρόμβους μεταξύ των φ/β κυψελών.



Φωτογραφία 2.1: Μονοκρυσταλλικό Φωτοβολταϊκό πάνελ[3]

### Πολυκρυσταλλικά

Τα Πολυκρυσταλλικά φ/β πλαίσια ανήκουν στην κατηγορία των πλαισίων με στοιχεία πυριτίου. Αποτελούνται από στοιχεία τετραγωνικής μορφής, λεπτά επιστρώματα πάχους 1-50μm. Έχουν γαλάζιο χρώμα και στην επιφάνεια τους διακρίνονται διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές (φωτογραφία 2.2).



Φωτογραφία 2.2: Πολυκρυσταλλικό Φωτοβολταϊκό πάνελ [2]

Η απόδοση τους είναι μικρότερη από αυτή των μονοκρυσταλλικών πλαισίων αλλά με μικρή διαφορά, ενώ ο θερμοκρασιακός τους συντελεστής είναι μεγαλύτερος, δηλαδή η απόδοση τους πέφτει σε μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια. Είναι, όμως, ο πιο διαδεδομένος τύπος φ/β πλαισίου καθώς έχει αρκετά καλή τιμή αγοράς σε σχέση με την απόδοση του και σε σχέση με τον απαιτούμενο χώρο εγκατάστασης, συγκρινόμενα με αυτά της καλύτερης κατηγορίας των μονοκρυσταλλικών πλαισίων. Για την ίδια απόδοση δηλαδή, ένα

σύστημα κατασκευασμένο με πολυκρυσταλλικά φ/β πλαίσια θα καλύψει μεγαλύτερη επιφάνεια σε ένα κτήριο, αλλά θα έχει μικρότερη τιμή αγοράς.

### Στοιχεία ταινίας πυριτίου

Τα φ/β πλαίσια αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από μια λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου, η οποία έχει δημιουργηθεί από τηγμένο υλικό. Ένα σύνολο με αυτήν την ταινία αποτελεί το φ/β πλαίσιο με στοιχεία ταινίας πυριτίου (φωτογραφία 2.3). Για την κατασκευή τους απαιτείται 50% λιγότερο πυρίτιο σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά φ/β. Η κατηγορία αυτών των φ/β πλαισίων δεν είναι πλέον εμπορικά διαθέσιμη.



Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκό πάνελ ταινίας πυριτίου [4]

### Λεπτού υμενίου - Thin film

Στην κατηγορία των φ/β λεπτού υμενίου εντάσσονται τα Φ/Β Άμορφου πυριτίου (a-Si), Αρσενικούχου γαλλίου (GaAs), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού ( $\text{CuInSe}_2$ ) και Θειούχου χαλκού – θειούχου καδμίου ( $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ ).

Τα πλαίσια αυτά αποτελούνται από λεπτές επιστρώσεις, επάνω σε ένα υπόστρωμα όπως γυαλί, πλαστικό ή μέταλλο. Το πάχος αυτών των επιστρώσεων κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα (nm) έως και δέκατα του μικρομέτρου ( $\mu\text{m}$ ) [6].

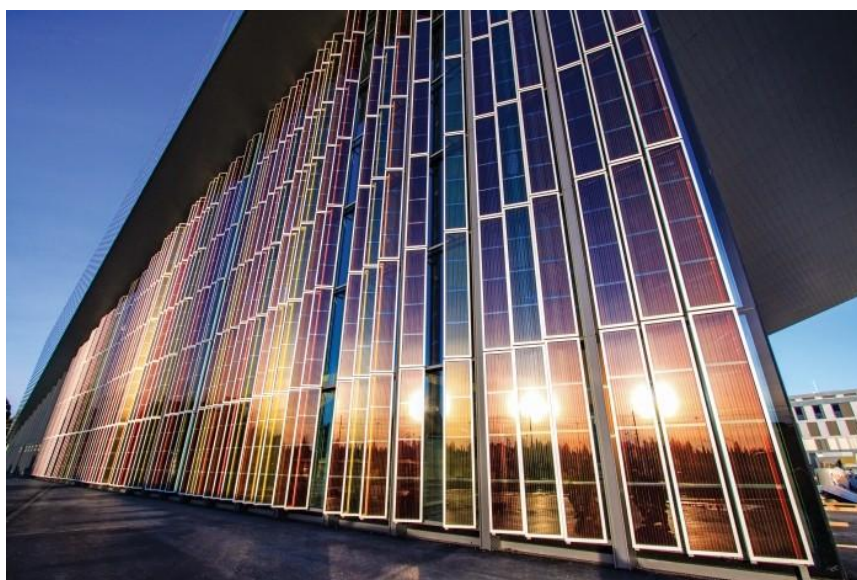
Τα φ/β λεπτού υμενίου ήταν ανέκαθεν πιο οικονομικά ανά  $\text{Wp}$  σε σχέση με τα φ/β του πυριτίου. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι είναι πιο αποδοτικά στην διάχυτη ακτινοβολία. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος όπου αυτά είναι διαδεδομένα σε χώρες με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, όπως είναι οι βόρειες χώρες. Σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη υπάρχει κυρίως διάχυτη ακτινοβολία, με την άμεση ακτινοβολία να είναι σχετικά περιορισμένη.



Φωτογραφία 2.4: Διαφανές Φωτοβολταϊκό πάνελ λεπτού υμενίου [7]

Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα, είναι ο πολύ καλός θερμοκρασιακός τους συντελεστής, σε σχέση με τα Μονοκρυσταλλικά – Πολυκρυσταλλικά φ/β πλαίσια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ισχύς τους να μειώνεται λιγότερο σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες για κάθε  $^{\circ}\text{C}$  πάνω από τους  $0^{\circ}\text{C}$ .

Θεωρείται, ότι η διάδοση των φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου θα είναι μεγαλύτερη στο μέλλον. Αυτό θα γίνει διότι θα είναι επιτακτική η ανάγκη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τοπικά στις πόλεις. Συνεπώς θα υπάρχει ανάγκη ενσωμάτωσης φ/β εγκαταστάσεων στα κτίρια. Σε αυτήν την περίπτωση τα φ/β λεπτού υμενίου προσφέρουν στους αρχιτέκτονες περισσότερες σχεδιαστικές επιλογές σε σχέση με τη σκληρή δομή των Μονοκρυσταλλικών - Πολυκρυσταλλικών φ/β πλαισίων. Στην φωτογραφία 2.5 παρουσιάζεται ένα ελβετικό συνεδριακό κέντρο στο οποίο έχουν ενσωματωθεί φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου στην όψη του κτιρίου[8]. Το αποτέλεσμα είναι εντυπωσιακό.



Εικόνα 2.5: Συνεδριακό κέντρο με ενσωμάτωση στην όψη Φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου [8]



Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους, είναι η χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με τα Μονοκρυσταλλικά – Πολυκρυσταλλικά φ/β πλαίσια, με αποτέλεσμα για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ να απαιτείται μεγαλύτερος χώρος για εγκατάσταση. Ο χώρος όπως γνωρίζουμε είναι σημαντικός παράγοντας για την επιλογή πλαισίων, καθώς, για μια εγκατάσταση σε δεδομένο χώρο με μονοκρυσταλλικό πλαίσιο θα είναι δυναμικότητας π.χ. 10kWp ενώ με φ/β πλαίσια λεπτού υμενίου θα είναι περίπου το μισό.

Ένα άλλο θέμα είναι ότι, μπορεί η τιμή κόστους αγοράς / Wp να είναι χαμηλότερη, αλλά θα πρέπει να συνυπολογιστεί το μεγαλύτερο κόστος μεταφοράς στον χώρο εγκατάστασης, το κόστος του επιπλέον χρόνου λειτουργίας του γερανού, τον μεγαλύτερο χρόνο που θα απαιτηθεί για την εγκατάσταση (καθώς τα πλαίσια είναι περισσότερα), των περισσότερων βάσεων στήριξης και της μεγαλύτερης καλωδίωσης. Όλα αυτά μεταφράζονται σε κόστος. Συνεπώς το πλεονέκτημα της χαμηλότερης τιμής κτίσης είναι υπό αμφισβήτηση, καθώς οι τιμές των πλαισίων μπορεί να είναι μικρότερες, αλλά το συνολικό κόστος εγκατάστασης μπορεί τελικά να είναι το ίδιο ή και μεγαλύτερο.

Παρόλα αυτά η εξέλιξη τους συνεχίζεται και είναι σίγουρο όπως προαναφέρθηκε, ότι η χρησιμοποίησή τους θα επεκταθεί, κυρίως στις κτηριακές εγκαταστάσεις, μέσω της ενσωμάτωσης.

## **Υβριδικά**

Υβριδικά ονομάζουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία έχουν προκύψει κατασκευαστικά από τον συνδυασμό των φ/β πυριτίου και λεπτού υμενίου. Συγκεκριμένα αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου, με μία ενδιάμεση στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον συνδυασμό των πλεονεκτημάτων των δύο αυτών κατηγοριών. Ποιο συγκεκριμένα, τα υβριδικά φ/β πλαίσια έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης, λόγω της ύπαρξης του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, και επιπλέον, πολύ καλό θερμοκρασιακό συντελεστή και καλή απόδοση στην διάχυτη ακτινοβολία, λόγω της ύπαρξης των επιστρώσεων του άμορφου πυριτίου.

Εμπορικά αυτά ονομάζονται HIT και κατασκευάζονταν παλαιότερα από την Sanyo και πλέον Panasonic και παρουσιάζονται στην φωτογραφία 2.6. Έχουν μικρότερες φυσικές διαστάσεις σε σχέση με την τυποποιημένη διάσταση των μονοκρυσταλλικών – πολυκρυσταλλικών πλαισίων. Όσον αφορά στη χρησιμοποίησή τους σε ένα φ/β σύστημα, θέλει προσοχή από τον μελετητή στη σχεδίαση των στοιχειοσειρών καθώς οι τάσεις ανοιχτού κυκλώματος είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σχέση με τα Μονοκρυσταλλικά – Πολυκρυσταλλικά πλαίσια. Συγκεκριμένα για το Panasonic VBHN330SJ47 330 Wp η τάση ανοιχτού κυκλώματος Voc είναι 69,7V, έναντι των 33,7V του LG LG330N1C-A5 (330W) Solar Panel που έχουν τυπικά την ίδια ισχύ εξόδου. Τα κυκλώματα δε θα πρέπει να ξεπερνούν την τάση των 1000V DC στις εισόδους των αντιστροφικών καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα υπάρξει υπέρβαση των ορίων τάσης των υλικών και του εξοπλισμού που θα οδηγήσει σε βλάβες ή ακόμα χειρότερα σε ατύχημα.



Φωτογραφία 2.6: Υβριδικά Φωτοβολταϊκά πάνελ HIT Panasonic [9]

**Κυλινδρικά Φωτοβολταϊκά πάνελ χαλκού, ινδίου, γαλλίου, σελινίου (CIGS) λεπτού υμενίου**

Τα φωτοβολταϊκά αυτά «πάνελ» κατασκευάστηκαν από την εταιρεία Solyndra. Το πλεονέκτημα τους ήταν ότι μπορούσαν να τοποθετηθούν σε δώματα χωρίς βάσεις ανύψωσης με αποτέλεσμα να μη σημειώνεται υπέρβαση ύψους κάτι που αλλοιώνει την όψη του κτηρίου. Για περιοχές, π.χ. όπως η Σαντορίνη, όπου υπάρχουν αυστηροί αρχιτεκτονικοί περιορισμοί, αυτό το χαρακτηριστικό τους τα έκανε μοναδικά.

Είχαν ενσωματωμένη βάση (φωτογραφία 2.7) και ήταν πολύ εύκολα στην τοποθέτηση. Συνεπώς το κόστος εγκατάστασης ήταν μειωμένο, ενώ, λόγω της κυλινδρικής τους κατασκευής, επέτρεπαν στον αέρα να περνά ανάμεσα τους ψύχοντας τα. Επιπλέον, λόγω του ότι ο αέρας τα διαπερνούσε, δεν αναπτύσσονταν επικίνδυνες ανεμοπιέσεις και δεν ήταν απαραίτητη η πάκτωση τους στο δώμα, η οποία πάκτωση ενδεχομένως να δημιουργούσε πρόβλημα στην υδατοστεγάνωση ή θερμομόνωση του κτιρίου.



Φωτογραφία 2.7: Κυλινδρικά Φωτοβολταϊκά Solyndra[10]

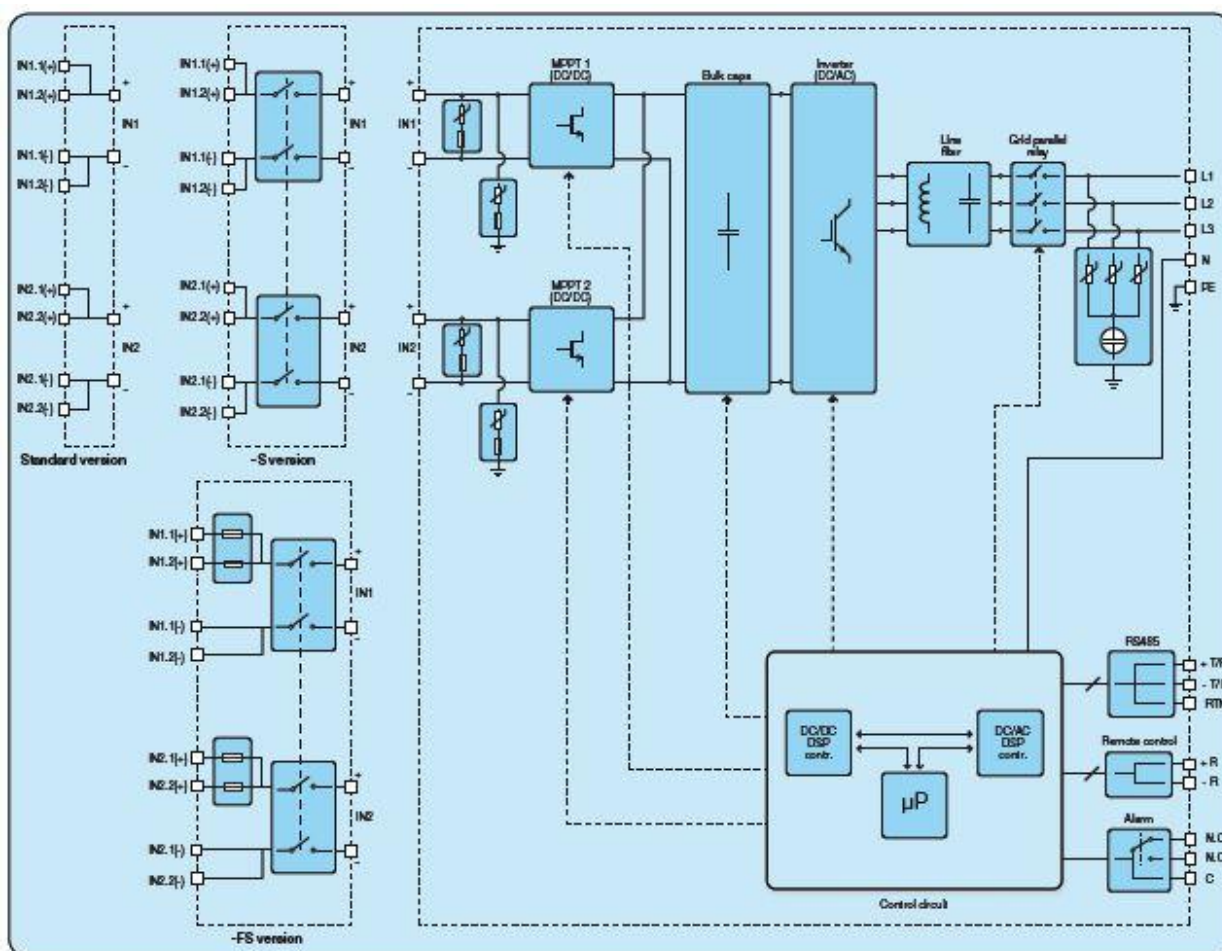
Η κυλινδρική αυτή κατασκευή, επέτρεπε μέρος της ακτινοβολίας να περνά ενδιάμεσα από αυτά και να προσπίπτει στην επιφάνεια του κτηρίου. Για τον λόγο αυτό, η βαφή της οροφής του κτηρίου με λευκού χρώματος βαφή βοηθούσε στην αύξηση της απόδοσης τους, καθώς τα «πλαίσια» δέχονταν την ανακλώμενη φωτεινή ακτινοβολία την οποία μπορούσαν να απορροφήσουν λόγω τεχνολογίας λεπτού υμενίου.

Τα μειονεκτήματα τους ήταν ο μεγάλος χώρος που καταλάμβαναν ανα  $W_p$  και η χαμηλή τους απόδοση, καθώς δεν μπορούσαν να πάρουν κλίση μεγαλύτερη των  $0^\circ$  που ήταν η κλίση της οροφής του κτηρίου. Τα φ/β πλαίσια αυτής της κατηγορίας δεν είναι πλέον εμπορικά διαθέσιμα.

## 2.2 Αντιστροφείς – Inverters

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη μετατροπή της φωτεινής ακτινοβολίας του ήλιου, μέσω των φωτοβολταϊκών πάνελ, είναι σε μορφή συνεχούς ρεύματος (DC).

Για τη μετατροπή του ρεύματος από DC σε AC χρησιμοποιούνται οι inverter ή αντιστροφείς. Οι διατάξεις αυτές, αποτελούνται από κυκλώματα ηλεκτρονικών ισχύος με χρήση IGBT, τα οποία κάνουν εφικτή αυτή την μετατροπή του ρεύματος από DC, σε AC κατάλληλων χαρακτηριστικών, έτσι ώστε να μπορέσουν να τροφοδοτήσουν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στο διάγραμμα 2.1 φαίνονται τα τμήματα ενός τέτοιου μετατροπέα [11].



Διάγραμμα 2.1 : Μπλοκ διάγραμμα ηλιακού inverter ABB PVI 10.0 – 12.5 [11]

Εκτός των κυκλωμάτων ισχύος περιλαμβάνονται στα τμήματα του αντιστροφέα περιλαμβάνονται και τα κυκλώματα ελέγχου, τα οποία διασφαλίζουν ότι η τάση και η συχνότητα στην έξοδο είναι εντός συγκεκριμένων ορίων, αναλόγως του ηλεκτρικού δικτύου της χώρας στην οποία λειτουργήσουν, αλλά και βαθμίδων ασφαλείας όπως είναι αυτή της προστασίας κατά της νησιδοποίησης. Για την Ελλάδα ισχύει το πρότυπο EN 0126.

Οι inverters διασυνδεδεμένων συστημάτων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο σύνδεσης τους στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, την ισχύ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας που μπορεί να συνδεθεί στην είσοδο τους και την ισχύ εξόδου, τον αριθμό των MPP trackers που διαθέτει στην είσοδο, τον τρόπο που συνδέονται σε αυτούς τα Φωτοβολταϊκά πάνελ, κλπ.

Συγκεκριμένα, οι κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να εντάξουμε τους inverters είναι:

- Τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο.
  - Μονοφασικοί inverters.
  - Τριφασικοί inverters.
- Inverters με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή.
- Inverters με έναν ή πολλαπλούς MPP trackers.
- Υβριδικά συστήματα.

### **Τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο**

Η κατηγοριοποίηση αυτή διαχωρίζει τους inverter ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο αυτοί συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

### **Μονοφασικοί inverters**

Οι μονοφασικοί αντιστροφείς είναι μικρής ισχύος και συνήθως από 2kVA έως 5kVA. Εγκαθίστανται σε μικρές εγκαταστάσεις όπου ο χώρος είναι περιορισμένος ή σε εγκαταστάσεις όπου οι γενικές παροχές είναι μονοφασικές. Αυτό ισχύει διότι είναι προδιαγραφή του ΔΕΔΔΗΕ πχ σε καθεστώς net metering σε μονοφασικές παροχές, είναι να έχουμε και μονοφασική τροφοδότηση από την φ/β γεννήτρια. Δηλαδή, αν σε ένα σπίτι υπάρχει μονοφασική εγκατάσταση και χωροταξικά υπάρχει ο διαθέσιμος χώρος για να εγκατασταθεί φωτοβολταϊκό 8kWp, αυτό δεν μπορεί να γίνει διότι αυτής της ισχύος οι inverter είναι μόνο τριφασικοί. Συνεπώς η μέγιστη ισχύς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα είναι 5kWp με μέγιστο 5kVA στην έξοδο μονοφασικού inverter.

Εδώ, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει το ενδεχόμενο να υπάρχουν τρεις μονοφασικοί inverter και να τροφοδοτούν τριφασικά το δίκτυο. Αφορά υλοποίηση η οποία συνηθιζόταν πριν την εμφάνιση των τριφασικών αντιστροφέων και η οποία πλέον δεν εφαρμόζεται χάριν απλότητας και οικονομίας. Ο κυριότερος όμως λόγος είναι η συμμετρία στην ισχύ εξόδου.

Εφόσον οι στοιχειοσειρές που έχουν συνδεθεί στην είσοδο καθενός από τους τριφασικούς inverters έχει ίδιο αριθμό πάνελ, ίδιου τύπου, κατασκευαστή και ισχύος, ίδιο προσανατολισμό, κλίση και είναι χωρίς σκιάσεις τότε σε γενικές γραμμές η ισχύ στη έξοδο των inverters θα είναι

ίδια με μικρή απόκλιση. Σε περίπτωση όμως υπάρχει αλλαγή σε κάποια από τις παραμέτρους που αναφέρθηκε προηγουμένως, η ισχύς στην έξοδο δε θα είναι συμμετρική. Το ίδιο θα συμβεί αν παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο από τα τρία κυκλώματα. Στην Ελλάδα δεν υπήρχε μέχρι τώρα απαίτηση για συμμετρία στην έξοδο του συστήματος. Σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως στη Γερμανία, υπάρχει αυτή η απαίτηση η οποία, κατά τη γνώμη του γράφοντος, θα πρέπει να εφαρμοστεί και στην Ελλάδα.

### **Τριφασικοί inverters**

Αντίστοιχα, οι τριφασικοί inverters έχουν συνήθως ισχύ από 4–5kVA, και ανεβαίνουν σε ισχύ εξόδου αναλόγως κατασκευαστή έως τα 100–120kVA. Στο Ελληνικό ηλεκτρικό σύστημα δε χρησιμοποιούνται οι τριφασικοί μέχρι και τα 5kVA λόγω απαίτησης του ΔΕΔΔΗΕ.

Προς χάριν πληρότητας, σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί ότι όλοι οι inverters είναι τύπου string inverter (υπάρχει και η κατηγορία των υβριδικών που παρουσιάζεται στην συνέχεια). Δηλαδή, τα πάνελ της φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνδέονται ως στοιχειοσειρά και στη συνέχεια καταλήγουν στην είσοδο του inverter. Μπορεί σε κάθε inverter να συνδεθούν περισσότερες από μία συστοιχίες πάνελ. Αυτό εξαρτάται από την ελάχιστη και μέγιστη επιτρεπτή τάση  $V_{oc}$  εισόδου του inverter.

Στην κατηγορία των τριφασικών inverters περιλαμβάνεται και η κατηγορία των τριφασικών **central inverters**. Αυτή είναι μια κατηγορία inverter μέσης ισχύος η οποία περιλαμβάνει κεντρικό μετατροπέα (ο οποίος περιλαμβάνει με την σειρά του πολλές βαθμίδες επιμέρους inverter) και μετασχηματιστή ξηρού τύπου στην έξοδο για την απευθείας σύνδεση του συγκροτήματος στη μέση τάση 20kV.

### **Inverters με ή χωρίς μετασχηματιστή**

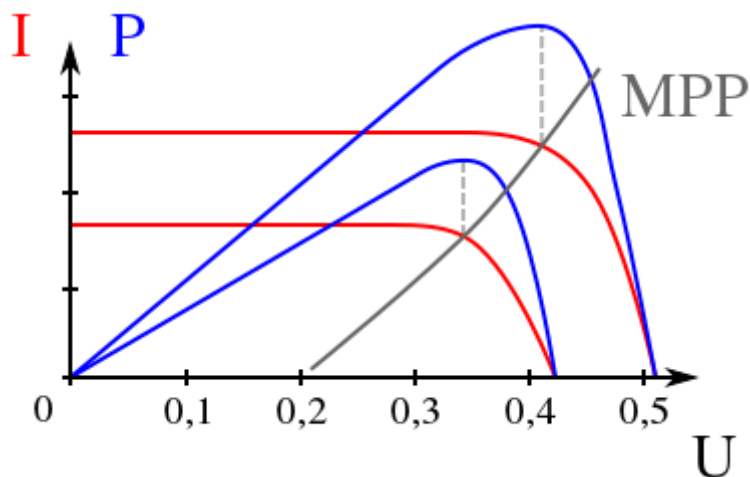
Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση δεν αφορά τους central inverters που μπορεί να περιλαμβάνουν Μ/Σ ανύψωσης τάσης στην έξοδο για τη σύνδεση του συστήματος στη μέση τάση. Η διαφοροποίηση αυτή, αφορά την μικρή κατηγορία των inverter.

Οι inverters οι οποίοι έχουν μετασχηματιστή στην έξοδο τους, έχουν λίγο μικρότερο βαθμό απόδοσης από αυτούς χωρίς μετασχηματιστή, αλλά είναι επιτακτική η χρήση τους σε συστήματα με πάνελ τα οποία είναι της οικογένειας thin film. Αυτό είναι απαραίτητο διότι ο κατασκευαστής των συγκεκριμένων πάνελ επιβάλλει γείωση του αρνητικού άκρου των πάνελ. Με τη χρήση Μ/Σ στην έξοδο επιτυγχάνεται γαλβανική προστασία σε σχέση με το δίκτυο και μηδενική έγχυση DC στην έξοδο.

Πλέον, όμως, εφόσον γίνεται χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων thin film, είναι δυνατή η προμήθεια ειδικών kit με τα οποία είναι εφικτή η χρησιμοποίηση inverter χωρίς μετασχηματιστή.

## Inverters με έναν ή πολλαπλούς MPP trackers

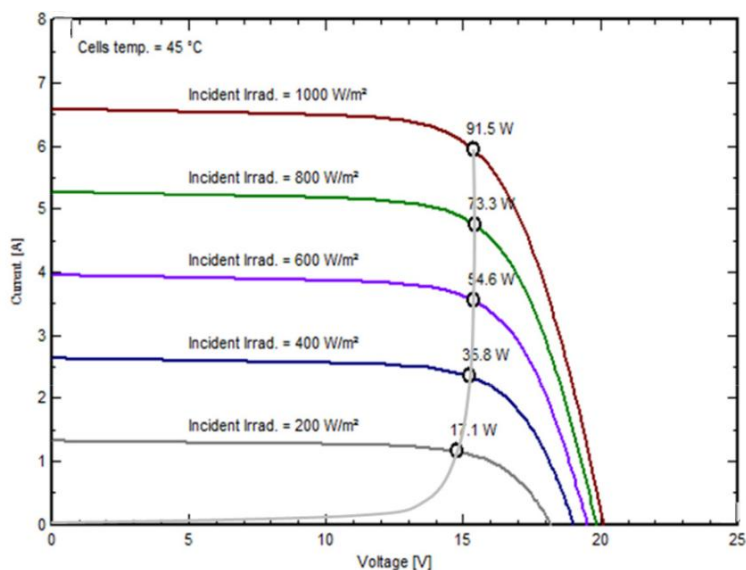
Για την εύρεση του μέγιστου σημείου ισχύος της στοιχειοσειράς ή string των φ/β πάνελ και μέγιστη εκμετάλλευση της ενέργειας που αυτά παράγουν, υπάρχει ειδική διάταξη εντός του inverter. Αυτή η διάταξη ονομάζεται «MPP Tracker» και είναι στόχος της είναι η εύρεση του μέγιστου σημείου ισχύος της στοιχειοσειράς. Στο διάγραμμα 2.2 διακρίνεται το μέγιστο σημείο ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πάνελ [12].



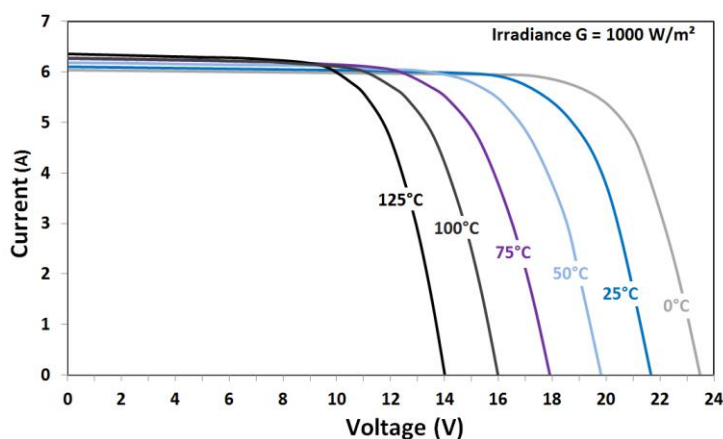
Διάγραμμα 2.2: Μέγιστο σημείο ισχύος φ/β πάνελ / ένταση φωτεινής ακτινοβολίας [12]

Το μέγιστο σημείο ισχύος του φωτοβολταϊκού πάνελ επηρεάζεται σημαντικά από την ένταση της φωτεινής ακτινοβολίας αλλά και τη θερμοκρασία του πάνελ. Στα διαγράμματα 2.3 [13] και 2.4 [14] φαίνεται σχηματικά αυτή η διακύμανση. Η ισχύς αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία επηρεάζει αρνητικά την ισχύ του πάνελ, δηλαδή με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε μείωση στην ισχύ εξόδου.

Σημειώνουμε ότι οι ονομαστικές τιμές ισχύος των πάνελ είναι σε συνθήκες **STC** (Standard Test Conditions) δηλαδή σε φωτεινή ακτινοβολία  $1000\text{W/m}^2$  και θερμοκρασία περιβάλλοντος  $0^\circ\text{C}$ .



Διάγραμμα 2.3: Μέγιστο σημείο ισχύος φ/β πάνελ / ένταση φωτεινής ακτινοβολίας [13]



Διάγραμμα 2.4: Μέγιστο σημείο ισχύος φ/β πάνελ / θερμοκρασία [14]

Λόγω της μεγάλης και συνεχούς διακύμανσης της ισχύος εξόδου του φ/β πάνελ σε συνθήκες λειτουργίας το κύκλωμα MPPT είναι σημαντικό για την μέγιστη απόδοση της Φ/Β μονάδας. Υπάρχουν inverters με έναν, δύο ή και τρεις ανεξάρτητους MPP tracker στις εισόδους τους.

Τα πάνελ τα οποία συνδέονται σε κάθε συστοιχία θα πρέπει να είναι ίδιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και ίδιας κλίσης και προσανατολισμού. Αυτό πρέπει να γίνεται για να έχουν κοινή μεταβολή της τάσης και του ρεύματος και, συνεπώς, της ισχύος εξόδου κατά την κίνηση της Γής περί του Ήλιου.

Σε μια εγκατάσταση με 3 διαφορετικές φ/β στοιχειοσειρές, η κάθε μια από τις οποίες έχει διαφορετικό προσανατολισμό, είναι απαραίτητο να συνδεθούν ή σε ξεχωριστό inverter ή σε ξεχωριστή είσοδο inverter η οποία θα διαθέτει τον δικό της ανεξάρτητο MPP tracker.

Μια άλλη παρόμοια εφαρμογή θα ήταν, η περίπτωση ενός προσανατολισμού για τις φ/β γεννήτριες αλλά με 2 διαφορετικούς τύπους φ/β πάνελ. Συνεπώς η μία συστοιχία πάνελ θα συνδεόταν στην μια είσοδο του inverter και η δεύτερη συστοιχία των διαφορετικών πάνελ στην δεύτερη είσοδο του inverter. Και οι δύο εισοδοί θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες με ανεξάρτητους MPP trackers.

Συνεπώς, αναλόγως της εγκατάστασης, επιλέγεται ο inverter όχι μόνο κρίνοντας από την ισχύ της εγκατάστασης ή αν θα είναι τριφασικός ή μονοφασικός, αλλά λαμβάνοντας υπόψη παράλληλα τη σχεδίαση και την τοπολογία της εγκατάστασης (κλίση, προσανατολισμό, σκιάσεις κλπ.).

## Υβριδικά συστήματα

Πλέον των κατηγοριών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, υπάρχουν τα υβριδικά συστήματα inverters. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από τους micro inverters οι οποίοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία είναι οι micro inverters DC-DC (Solar Edge, Tycο κλπ) και στη δεύτερη κατηγορία οι DC-AC (Enphase κλπ). Η ιδέα των micro inverters είναι ότι σε κάθε πάνελ υπάρχει ένας MPP tracker ενώ στους “κλασσικούς” string inverters έχουμε έναν MPP tracker ανά π.χ. 20 πάνελ. Κατά την άποψη αλλά και την εμπειρία μας ως επαγγελματίας μέσω της εταιρείας energy4free, αυτή είναι μια πολύ καλή ιδέα, καθώς δίνει λύση σε αρκετά θέματα σχεδίασης, αλλά και λειτουργίας μιας μικρής Φ/Β μονάδας.

Συγκεκριμένα τα προβλήματα στα οποία δίνει λύση είναι:

- *Σκιάσεις ή βλάβη φ/β πάνελ.* Σε μια στέγη μπορούν να εμφανίζονται σκιάσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας οι οποίες προέρχονται από δέντρα, κεραίες, παρακείμενα κτήρια και κατασκευές, ακόμα και από περιπτώματα πουλιών. Σε έναν κλασσικό inverter όπου τα πάνελ είναι συνδεδεμένα σε συστοιχία θα επηρεαστεί η απόδοση όλης της συστοιχίας, ενώ σε μια εγκατάσταση με micro inverters επηρεάζονται μόνο τα πάνελ τα οποία έχουν σκίαση. Το ίδιο συμβαίνει και αν κάποιο από τα πάνελ της στοιχειοσειράς εμφανίσει πρόβλημα π.χ. σπασμένη κυψέλη.
- *Προβλήματα διαστασιολόγησης και σχεδίασης της εγκατάστασης.* Τα πάνελ σε μια συστοιχία ενός string inverter πρέπει να έχουν όλα τον ίδιο προσανατολισμό και την ίδια κλίση. Αυτό όμως δεν είναι εφικτό σε μια στέγη η οποία έχει 4 ή και περισσότερους προσανατολισμούς αλλά και 2 ή και περισσότερες κλίσεις. Αυτή η εγκατάσταση είναι υλοποιήσιμη με τη χρησιμοποίηση micro inverter.
- *Λειτουργία της εγκατάστασης, εποπτεία, συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών.* Κατά τη λειτουργία της εγκατάστασης υπάρχει ενημέρωση για την απόδοση κάθε πάνελ κάτι το οποίο βοηθάει σε μέγιστο βαθμό στην εποπτεία και την συντήρηση της μονάδας καθώς και στην γρήγορη αποκατάσταση των βλαβών. Σε ένα κλασσικό σύστημα με string inverter, για τον εντοπισμό ενός προβληματικού πάνελ ή σύνδεσης το οποίο έχει μειωμένη απόδοση στοιχειοσειράς, θα χρειάζονταν εξειδικευμένος εξοπλισμός και πολλές εργατοώρες για την εύρεση και αποκατάσταση της βλάβης.
- *Απουσία φαινομένου PID.* Το φαινόμενο PID (Potential Induced Degradation) είναι ένα από τα φαινόμενα που έχουν παρουσιαστεί τα τελευταία χρόνια σε συστήματα Φωτοβολταϊκών. Επηρεάζει τα τελευταία πάνελ της στοιχειοσειράς τα οποία είναι πιο κοντά στον αρνητικό πόλο. Οι τάσεις των στοιχειοσειρών πλησιάζουν τα 1000VDC και στα νέας γενιάς συστήματα 1500VDC. Λόγω της υψηλής αυτής τάσης υπάρχει διαφυγή ηλεκτρονίων προς το πλαίσιο των φ/β, η οποία οδηγεί σταδιακά στην μείωση της απόδοσης των πλαισίων. Στα συστήματα των micro inverter οι τάσεις στη στοιχειοσειρά είναι περίπου της τάξης των 40V κάτι το οποίο είναι απολύτως ασφαλές για τη μη εμφάνιση του φαινομένου.
- *Κίνδυνος ατμήματος και πυρκαγιάς.* Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, οι τάσεις και τα ρεύματα είναι μεγάλα στις εγκαταστάσεις των string inverter. Η εν λειτουργία αποκοπή καλωδίου DC ή το άνοιγμα ενός ακροδέκτη φ/β θα δημιουργήσει βολταϊκό τόξο το οποίο μπορεί να προκαλέσει φωτιά σε εύφλεκτες κατασκευές ή εγκαύματα (Άνθρωπο - ζώα). Στα συστήματα των micro inverter οι τάσεις στην στοιχειοσειρά είναι περίπου της τάξης των 40V σε κατάσταση ηρεμίας, κάτι το οποίο είναι ασφαλές για την μη εμφάνιση του φαινομένου.
- *Χρησιμοποίηση πάνελ διαφορετικών τύπων και χαρακτηριστικών.* Αυτό είναι κάτι το οποίο δεν μπορεί να υλοποιηθεί με τους string inverters.

Υπάρχουν όμως και μειονεκτήματα της συγκεκριμένης κατηγορίας και αυτά είναι:

- *Αυξημένο κόστος.* Το κόστος υλοποίησης σε αυτά τα συστήματα είναι μεγαλύτερο διότι προστίθεται το κόστος των επιπλέον ηλεκτρονικών διατάξεων.



- *Μεγαλύτερη πολυπλοκότητα και πιθανότητα εμφάνισης βλαβών.* Με την αναγκαστική εισαγωγή επιπλέον εξοπλισμού στο σύστημα όπως είναι οι power optimizers αλλά και επιπλέον συνδέσεων υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης βλαβών σε σύγκριση με την απλή σύνδεση των πάνελ σε στοιχειοσειρές.
- *Δεν ενδείκνυται για εγκαταστάσεις μεγάλου μεγέθους.* Δεν υφίσταται πλεονέκτημα στις περιπτώσεις μεγάλων μονάδων με εγκαταστάσεις ίδιας κλίσης, ίδιου προσανατολισμού χωρίς σκιάσεις και πάνελ ίδιου τύπου, όπως είναι οι εγκαταστάσεις φ/β πάρκων. Επιπλέον ο συνολικός βαθμός απόδοσης του γινομένου ενός power box και ενός inverter είναι μικρότερος από τον βαθμό απόδοσης ενός inverter υψηλής απόδοσης.

Τα υβριδικά συστήματα έχουν μικρή διείσδυση στην αγορά, καθώς αφορούν φωτοβολταϊκά εγκατεστημένα σε κτιριακές μονάδες με μεγαλύτερο συνήθως κόστος εγκατάστασης.

### 2.3 Ηλεκτρικοί πίνακες

Οι ηλεκτρικοί πίνακες μιας φ/β εγκατάστασης διακρίνονται στους πίνακες DC και στους πίνακες AC.

Στους πίνακες DC τάσης καταλήγουν τα καλώδια των στοιχειοσειρών των φ/β πάνελ. Από εκεί υπάρχει αντίστοιχα αναχώρηση της καλωδίωσης προς την είσοδο των inverters.

Στην είσοδο των πινάκων AC τάσης συνδέονται οι έξοδοι των inverters και στην έξοδο τους συνδέεται το παροχικό καλώδιο και στην συνέχεια ο μετρητής παραγωγής της ηλεκτρικής εταιρείας.

Οι Ηλεκτρικοί πίνακες πρέπει να είναι κατασκευασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384. Τα υλικά κατασκευής τους μπορεί να είναι πλαστικό ή μέταλλο, ενώ ανάλογα με το σημείο τοποθέτησης πρέπει να έχουν και την αντίστοιχη κλάση IP.

Το ραγουλικό των πινάκων θα πρέπει να είναι πιστοποιημένο για τη χρήση στις AC και DC τάσεις και ρεύματα του συστήματος και σύμφωνα με το πρότυπο IEC TS 62548:2013. Συγκεκριμένες προδιαγραφές των υλικών πρέπει να υπάρχουν αναλόγως σχεδίασης.

Οι ίδιες προδιαγραφές ισχύουν για όλους του πίνακες, υποπίνακες και πίνακες διακλαδώσεως, όπως συμβαίνει σε όλες τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αναλόγως σχεδίασης και τοπολογίας.

Σε εγκαταστάσεις όπου είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο της Μ.Τ. αναφέρουμε επιγραμματικά ότι υπάρχει επιπλέον το πεδίο χειρισμού του ή των μετασχηματιστών, καθώς και το πεδίο του ΔΕΔΔΗΕ.

### 2.4 Καλωδιώσεις

Οι καλωδιώσεις της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- **Καλωδιώσεις AC παραγωγής.** Στις καλωδιώσεις AC περιλαμβάνονται οι καλωδιώσεις σύνδεσης των inverters με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η καλωδίωση περιλαμβάνει την αναχώρηση από τους inverters προς τους πίνακες AC ισχύος χαμηλής τάσης 230-400V και στη συνέχεια προς τον μετρητή. Σε εγκαταστάσεις μεγαλύτερες των

100KVA όπου υπάρχουν Μ/Σ Μ.Τ. στις καλωδιώσεις AC περιλαμβάνονται και οι καλωδιώσεις μέσης τάσης των 20KV προς το δίκτυο διανομής.

- **Καλωδιώσεις AC βοηθητικών χρήσεων.** Σε αυτές τις καλωδιώσεις περιλαμβάνονται ο φωτισμός της εγκατάστασης, η τροφοδοσία του συστήματος συναγερμού και του συστήματος παρακολούθησης καθώς και η ρευματοδότηση ενός οικίσκου, ο οποίος έχει τον ρόλο του control room σε μεγάλες εγκαταστάσεις άνω του 1MW κλπ.
- **Καλωδιώσεις DC.** Στις καλωδιώσεις DC περιλαμβάνονται οι καλωδιώσεις σύνδεσης των πάνελ σε συστοιχίες οι οποίες καταλήγουν στους πίνακες DC. Από τους πίνακες DC υπάρχει αντίστοιχα σύνδεση με τους inverters. Σε εγκαταστάσεις όπου έχουμε μεγάλης ισχύος string inverters ή κεντρικούς-central inverters υπάρχουν πίνακες διακλάδωσης στους οποίους συνδέονται πολλές συστοιχίες Φ/Β πάνελ πριν καταλήξουν οι καλωδιώσεις στους πίνακες DC. Η τάση του κυκλώματος DC έχει άνω όριο τα 1000 V<sub>DC</sub> ενώ στα νέας γενιάς συστήματα μεγάλης ισχύος η τάση αυτή έχει ανέλθει στα 1500V<sub>DC</sub>. Στις τάσεις αυτές θα πρέπει να είναι πιστοποιημένα για αντοχή και λειτουργία όλα τα καλώδια και εξαρτήματα τα οποία θα χρησιμοποιηθούν σύμφωνα με το πρότυπο IEC TS 62548:2013.
- **Καλωδιώσεις ασθενών ρευμάτων.** Στις καλωδιώσεις αυτής της κατηγορίας περιλαμβάνονται οι καλωδιώσεις επικοινωνίας μεταξύ των inverters, οι καλωδιώσεις Ethernet, τηλεμετρίας, τηλεφωνίας και συναγερμού εφόσον υπάρχει.

## 2.5 Σύστημα Γείωσης

Το κύκλωμα της γείωσης της εγκατάστασης είναι κοινό με το σύστημα γείωσης του κτηρίου εφόσον η Φ/Β εγκατάσταση είναι εγκατεστημένη σε κτηριακή μονάδα. Ο ΔΕΔΔΗΕ ζητά τιμή γείωσης μικρότερη των 10Ω. Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις όπου έχουμε συνήθως θεμελιακή γείωση, οι τιμές της αντίστασης γείωσης είναι συνήθως μικρότερες του 1Ω. Η χαμηλή τιμή γείωσης είναι σημαντική για την άμεση ενεργοποίηση των ασφαλιστικών διατάξεων καθώς και την εμφάνιση μικρής τάσης επαφής σε ενδεχόμενο σφάλμα.

Συστήματα φ/β που είναι κατασκευασμένα σε αγροτεμάχιο κλπ η αντίσταση γείωσης θα πρέπει να έχουν ομοίως αποδεκτή τιμή γείωσης, έτσι ώστε να είναι εξασφαλισμένη η ασφαλής λειτουργία της εγκατάστασης. Αναλόγως εδάφους πχ αμμώδες, βραχώδες κλπ έχουμε διαφορετική τιμή ειδικής αντίστασης εδάφους. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει κατά περίπτωση, η κατάλληλη επιλογή της διάταξης γείωσης και του τύπου των ηλεκτροδίων π.χ. ράβδων χαλκού, πλακών χαλκού τύπου Π, τύπου Ε κλπ, έτσι ώστε οι αναπτυσσόμενες βηματικές τάσεις και τάσης επαφής να μην υπερβαίνουν τα μέγιστα θεσμοθετημένα όρια. Η τιμή γείωσης που θα επιτευχθεί θα πρέπει να μετρηθεί με κατάλληλο όργανο μέτρησης έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η επιτευχθείσα τιμή της γείωσης. Επιπλέον το σημείο όπου καταλήγει ο αγωγός γείωσης θα πρέπει να είναι τοποθετημένος σε φρεάτιο για να μπορεί να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Στο σύστημα γείωσης, συνδέονται με αγωγούς κατάλληλης διαμέτρου όλα τα πλαίσια των φ/β πάνελ όπως και οι μεταλλικές βάσεις στήριξης τους. Εκεί συνδέονται και οι ακίδες τύπου “Franklin” της αντικεραινικής προστασίας, η οποία αναφέρεται στη συνέχεια, καθώς και οι απαγωγοί κρουστικών τάσεων (SPDs).

## 2.6 Αντικεραυνική προστασία

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι απαγωγοί κρουστικών τάσεων ή SPDs, οι οποίοι εγκαθίστανται στο κύκλωμα DC επί του κυκλώματος των στοιχειοσειρών των πάνελ, δηλαδή στην είσοδο του inverter. Ο σκοπός της εγκατάστασης τους σε αυτό το σημείο είναι η προστασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων των inverters, σε ενδεχόμενη κρουστική τάση η οποία θα αναπτυχθεί στο κύκλωμα DC και η διοχέτευση της προς γη μέσω της γείωσης. Οι απαγωγοί αυτοί θα πρέπει να είναι κλάσης T2 και κατασκευασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-4-44.

Ένα δεύτερο σημείο στο οποίο τοποθετούνται απαγωγοί κρουστικών τάσεων είναι στο κύκλωμα AC, δηλαδή στην άφιξη του δικτύου της ηλεκτρικής εταιρείας και εξόδου του inverter. Οι απαγωγοί αυτού του τύπου εγκαθίστανται στον κεντρικό πίνακα Χ.Τ. και πρέπει να είναι κατάλληλοι για προστασία σύνθετης στάθμης T1+T2, δηλαδή έναντι υψηλών κεραυνικών ρευμάτων αλλά και κρουστικών τάσεων.

Πλέον των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων, η αντικεραυνική προστασία μπορεί να περιλαμβάνει κλωβό Faraday. Αυτό είναι απαραίτητο σε εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο ή σε βιομηχανικές στέγες.

## 2.7 Συστήματα τηλεμετρίας

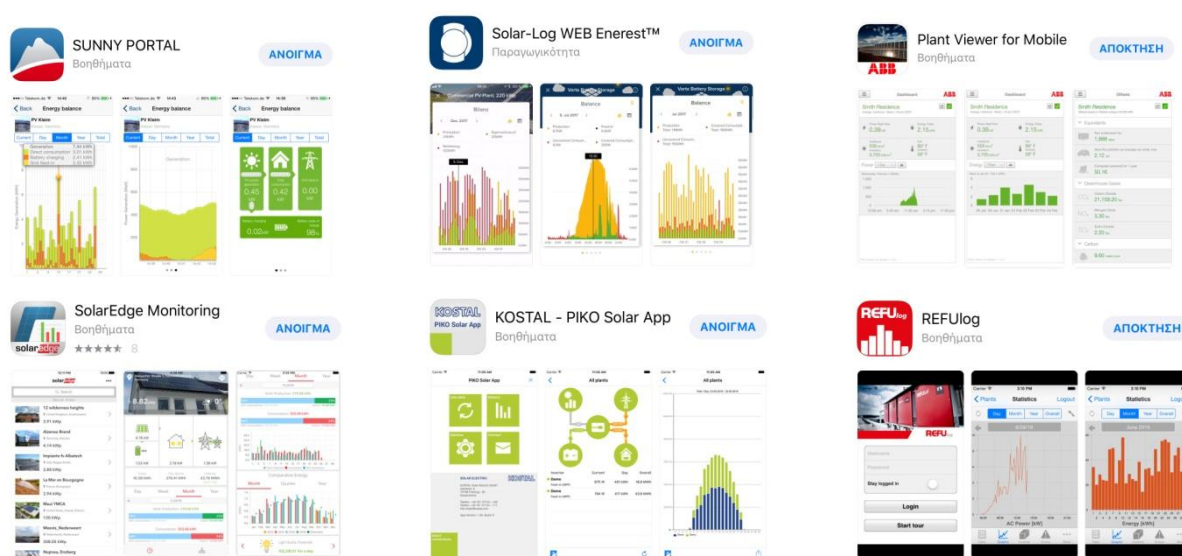
Τα συστήματα τηλεμετρίας είναι από τα σημαντικά στοιχεία ενός φ/β συστήματος. Αυτό ισχύει διότι το σύστημα τηλεμετρίας μας επιτρέπει να έχουμε τοπική ή και απομακρυσμένη εποπτεία της φ/β εγκατάστασης. Η επικοινωνία αυτή γίνεται χρησιμοποιώντας μια ADSL, VDSL σύνδεση στο internet ή μέσω mobile internet 3G/4G εκεί όπου δεν υπάρχει μόνιμη σύνδεση τηλεφωνικής γραμμής (π.χ. εξοχικό, αγροτεμάχιο κλπ).

Τα δεδομένα της φ/β εγκατάστασης αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο real time στο portal του συστήματος τηλεμετρίας και αφού επεξεργαστούν είναι διαθέσιμα στον ιδιοκτήτη, χρήστη, τεχνικό, μηχανικό της εγκατάστασης. Οι πληροφορίες που μας παρέχονται εξαρτώνται από τον κατασκευαστή καθώς και από τους αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στη φ/β μονάδα. Ενδεικτικά μπορούν να παρέχονται οι εξής πληροφορίες:

- Στιγμιαία ισχύ εγκατάστασης συνολικά και ανά inverter.
- Διάγραμμα P/hour.
- Εισερχόμενη ισχύ φωτοβολταϊκής γεννήτριας  $P_{DC}$ .
- Εξερχόμενη ισχύ προς το δίκτυο γεννήτριας  $P_{AC}$ .
- Βαθμός απόδοσης inverter.
- Δείκτης kWh/kWp.
- Τάση  $V_{DC}$  / string.
- Ρεύμα  $I_{DC}$  / string.
- Ισχύς  $P_{DC}$  / string.
- Παραγωγή kWh ημέρας.
- Συνολική παραγωγή kWh.
- Ιστορικό παραγωγής (ημερήσιο, εβδομαδιαίο, μηνιαίο, έτους, παρελθόντων ετών).
- Συμβάντα όσον αφορά την κατάσταση του inverter και το δίκτυο.

- Ποσοστό επίτευξης στόχων παραγωγής %.
- Εισόδημα (ημερήσιο, εβδομαδιαίο, μηνιαίο, έτους, παρελθόντων ετών).
- Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> λόγω της παραγωγής ενέργειας μέσω φ/β.
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- Θερμοκρασία πάνελ.
- Ένταση ακτινοβολίας.
- Ταχύτητα ανέμου.

Οι πληροφορίες αυτές είναι διαθέσιμες στον χρήστη μέσω Η/Υ ή μέσω εφαρμογών για «έξυπνα» κινητά. Μερικές από τις διαθέσιμες εφαρμογές συστημάτων τηλεμετρίας για κινητά και tablet φαίνονται στη φωτογραφία 2.8 [15].



Φωτογραφία 2.8: Εφαρμογές τηλεμετρίας για smart phones και tablet [15]

Μέσω των εφαρμογών αυτών μπορεί ο χρήστης να κατασκευάσει τα διαγράμματα της αρεσκείας του, έτσι ώστε να κάνει συγκρίσεις όσον αφορά στις παραγωγές ανά ημέρα/εβδομάδα/ μήνα/ έτος, για κάθε στοιχειοσειρά ή inverter ξεχωριστά, να ελέγχει τη μείωση της απόδοσης σε σχέση με την άνοδο της θερμοκρασίας, ή ακόμα να κατεβάσει τα δεδομένα και να τα επεξεργαστεί ο ίδιος όπως αυτός επιθυμεί (αρχείο xml κλπ).

Στις φωτογραφίες 2.9 παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές σελίδες μέσα από το portal διαφορετικών κατασκευαστών και φ/β μονάδων στα οποία παρουσιάζονται πληροφορίες απόδοσης και διαγράμματα τις οποίες παρέχει ένα portal.



**Measure**

- Yield [kWh]
- Norm Yield [kWh/kWp]
- Power [W]
- View power reduction

**Time range**

- Day
- Week
- Month
- Year
- Overview

25/08/2018

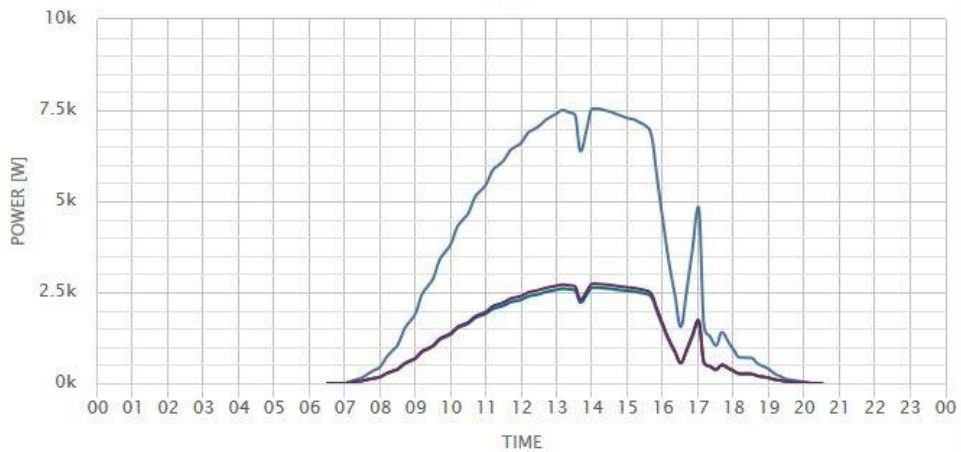
**Plant and Inverter**

Plant: [Dropdown menu]

Refresh Back Forward

### DAILY REPORT STRING POWER

25/08/2018

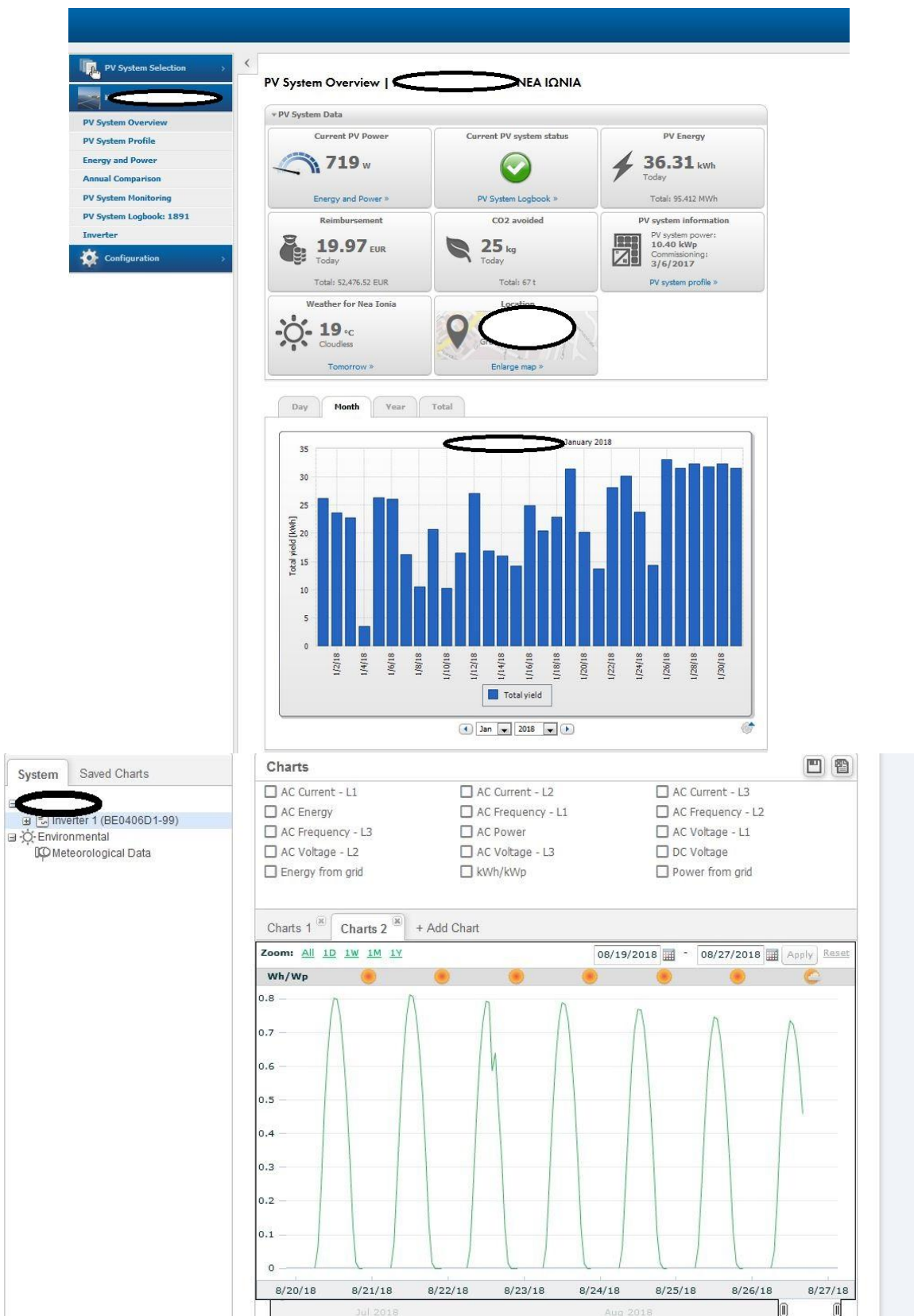


AC power

DC power string 1

DC power string 2

DC power string 3



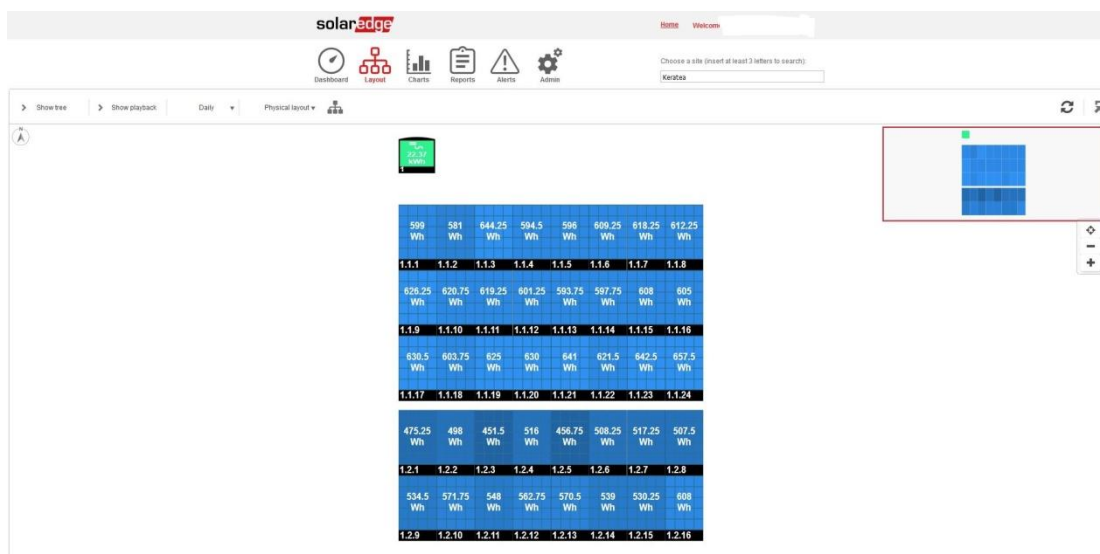
Φωτογραφία 2.9: Σελίδες πληροφοριών portal Φ/Β μονάδων

Επιπλέον παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας από το σύστημα αυτόματων αναφορών στο τέλος κάθε ημέρας κλπ για την απόδοση της εγκατάστασης προς ενημέρωση του χρήστη.

Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες της τηλεμετρίας/εφαρμογής είναι η ενημέρωση των χρηστών μέσω e-mail, sms, σε ενδεχόμενο σφάλμα της εγκατάστασης, έτσι ώστε να υπάρχει ενημέρωση για άμεση αποκατάσταση του σφάλματος ή της βλάβης.

Το σύστημα αυτό πέραν των δυνατοτήτων που περιγράψαμε αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη συντήρηση της φ/β μονάδας, αλλά και τον εντοπισμό σφαλμάτων, βλαβών ή προβλημάτων απόδοσης.

Σε πολύ αναλυτικά συστήματα τηλεμετρίας όπως είναι αυτό της Solar Edge οι πληροφορίες φτάνουν μέχρι το επίπεδο του πάνελ, κάτι εξαιρετικά σημαντικό για τη λειτουργία και τη συντήρηση της μονάδας. Στη φωτογραφία 2.10 εικονίζεται το interface από το σύστημα τηλεμετρίας μιας φ/β μονάδας της Solar Edge.



Φωτογραφία 2.10: Πλάνο Φ/Β εγκατάστασης με σύστημα Solar Edge

Στις περισσότερες περιπτώσεις το σύστημα τηλεμετρίας είναι ενσωματωμένο στον inverter, ενώ σε άλλες περιπτώσεις είναι εξωτερική μονάδα η οποία έχει τη δυνατότητα συνδεσιμότητας με τον ή τους inverters μέσω Θύρας RS485, Ethernet, Bluetooth κλπ.

Πέραν των δεδομένων της παραγωγής τα οποία είναι διαθέσιμα απομακρυσμένα, ο τεχνικός της εγκατάστασης μέσω του συστήματος τηλεμετρίας, να μπορεί να κάνει αναβάθμιση λογισμικού όπου αυτό απαιτείται, π.χ. για την επίλυση bugs στο λογισμικό αλλά και πραγματοποιήσει τεχνικό έλεγχο των μηχανημάτων χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό.

# Κεφάλαιο 3

## **3 Παρουσίαση μελετών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται επιγραμματικά 3 μελέτες Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων που είναι εν λειτουργία. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι οι εξής:

- Φ/Β σύστημα 5kWp στη Σίφνο.
- Φ/Β σύστημα 7,02kWp στην Αθήνα.
- Φ/Β σύστημα 100kWp στη Λάρισα.

### **3.1 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα 5kWp στην Σίφνο**

#### **Γενικά στοιχεία**

Η φ/β μονάδα εγκαταστάθηκε επί δώματος κατοικίας στην περιοχή Καμάρες – Απολλωνίας στη νήσο Σίφνος. Το συγκεκριμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα αδειοδοτήθηκε σύμφωνα με το πρόγραμμα Φ/Β στην Στέγη feed in tariff το 2012. Η κατοικία κατασκευάστηκε το 1950 και επιθυμία του ιδιοκτήτη ήταν να μην αλλοιωθεί η όψη του, βλέποντας το από τον κεντρικό δρόμο του λιμένα. Δηλαδή οι βάσεις των φωτοβολταϊκών να μην είναι ανυψωμένες σε τέτοιο βαθμό που να αλλοιώνουν την όψη του κηρίου.

Η Σίφνος είναι μη διασυνδεδεμένο νησί και έχει δική της πετρελαϊκή μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς η μέγιστη ισχύς της μονάδας που μπορούσε να αδειοδοτηθεί και να κατασκευαστεί ήταν 5kWp. Η σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι μονοφασική.

#### **Εξοπλισμός**

Ο εξοπλισμός ο οποίος επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη μονάδα είναι ο εξής:

- Inverter. Επιλέχθηκε μονοφασικός inverter της εταιρείας SMA, μοντέλο Sunny Boy 5000TL-21 ο οποίος διαθέτει βαθμό απόδοσης 97% και 2 ανεξάρτητους MPP trackers. Το σημείο τοποθέτησης του ήταν σε εξωτερικό χώρο και για αυτό χρειαζόταν ο βαθμός στεγανότητας IP65.
- Φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα φ/β πάνελ τα οποία επιλέχθηκαν είναι της εταιρείας Renesola, πολυκρυσταλλικού τύπου. Το μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το Virtus 250Wp, 20 τεμάχια. Το συγκεκριμένο φ/β πλαίσιο επιλέχθηκε λόγω του πολύ καλού λόγου τιμής/απόδοσης την χρονική στιγμή της προμήθειας του και του πολύ καλού θερμοκρασιακού του συντελεστή σε σχέση με ανταγωνιστικά φ/β πλαίσια. Επιπροσθέτως διέθετε πιστοποιητικό salt mist/corrosion κάτι το οποίο είναι σημαντικό διότι η εγκατάσταση ήταν δίπλα στην θάλασσα.

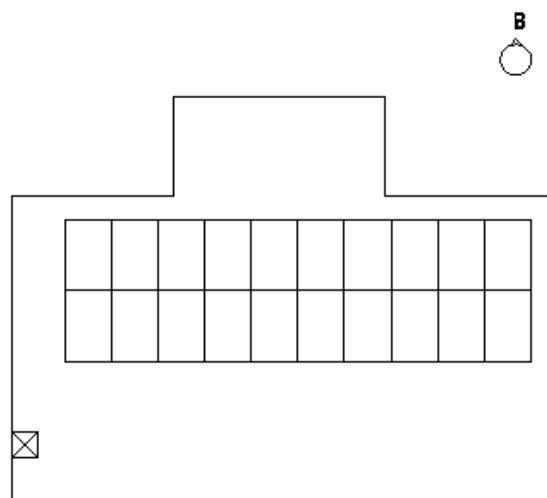


- Βάσεις στήριξης. Οι βάσεις στήριξης είναι σταθερού τύπου και κλίσης από ανοδιωμένο αλουμίνιο για προστασία έναντι της οξείδωσης, λόγω της πολύ κοντινής απόστασης από την θάλασσα.
- Ηλεκτρικοί πίνακες. Οι ηλεκτρικοί πίνακες DC και AC που εγκαταστάθηκαν είναι πλαστικοί με βαθμό στεγανότητας IP65. Οι πίνακες και το ραγουλικό είναι της εταιρείας ABB ενώ κατασκευάστηκαν από εξειδικευμένη μονάδα συναρμολόγησης.
- Καλωδιώσεις. Οι καλωδιώσεις DC είναι της εταιρείας Nexans με διπλή μόνωση για συστήματα DC 1000V ενώ οι καλωδιώσεις AC είναι κατασκευής CABLEL - Ελληνικά καλώδια.

### Σχηματική Παράσταση Χωροθέτησης Συστήματος

Προκειμένου να επιλεγεί η τελική χωροθέτηση του συστήματος προηγήθηκε αυτοψία, επιμέτρηση και έλεγχος των σχεδίων της πολεοδομίας. Στην συνέχεια προχωρήσαμε σε ενεργειακή μελέτη για την οποία χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό PVsyst αλλά και δεδομένα από το Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) με σκοπό την μέγιστη αποδοτικότητά του συστήματος αλλά και τις επιθυμίες του ιδιοκτήτη της κατοικίας.

Η χωροθέτηση της φωτοβολταϊκής μονάδας στην οποία κατέληξε η μελέτη είναι αυτή η οποία φαίνεται στο σχήμα 3.1. Τα φωτοβολταϊκά έχουν νότιο προσανατολισμό με μηδενικό αζιμούθιο και βρίσκονται τοποθετημένα επί βάσεων με κλίση 18 μοιρών.



Σχήμα 3.1: Χωροθέτηση φωτοβολταϊκής μονάδας 5kWp στη Σίφνο

### Ενεργειακή μελέτη απόδοσης του Συστήματος

Η ετήσια παραγωγή του συστήματος εκτιμάται της **1246kWh** ανά εγκατεστημένο kW. Με βάση τη δυναμικότητα του συστήματος η αναμενόμενη κατά προσέγγιση παραγωγή του συστήματος είναι **6230kWh** με βάση την διάταξη της εγκατάστασης, η οποία και κρίνεται ικανοποιητική. Η απόσβεση της επένδυσης πραγματοποιείται στα 6 χρόνια λόγω της «χαμηλής» τιμής πώλησης της κιλοβατώρας 0.250ευρώ/kWh η οποία είναι αποδεκτή περίοδος απόσβεσης.

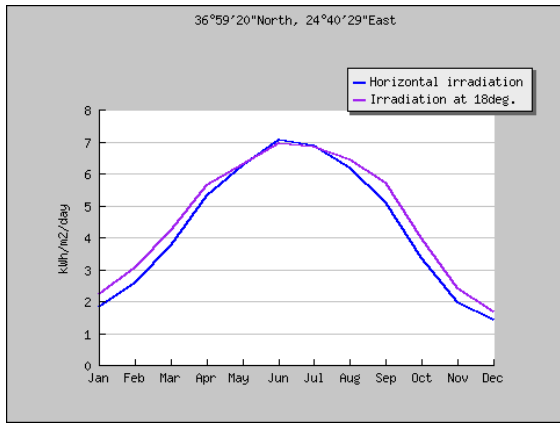
Για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε το εξειδικευμένο λογισμικό Pvsyst και δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από το κέντρο ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στην περιοχή της εγκατάστασης. Στον πίνακα 3.1 η δεύτερη στήλη παρουσιάζει κατά προσέγγιση την ενέργεια που παράγει ένα κρυσταλλικό φ/β πλαίσιο ισχύος 1kWp με απώλειες συστήματος 14% τοποθετημένο στο επίπεδο με μηδενική κλίση. Αντίστοιχα η τρίτη στήλη παρουσιάζει την προσδοκώμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα ίδια φ/β πλαίσια εγκατεστημένα με κλίσης 18 μοιρών. Συγκρίνοντας τις τιμές βλέπουμε ότι η τοποθέτηση υπο κλίση είναι αυτή η οποία δίνει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας συνολικά. Να σημειωθεί εδώ ότι ιδανικά θα θέλαμε η κλίση των φ/β πλαισίων να είναι στις 30 μοίρες. Η κλίση των 18 μοιρών επιλέχθηκε διότι ήταν η μέγιστη κλίση στην οποία τα φ/β πλαίσια δεν φαίνονταν από τον δρόμο και την κεντρική είσοδο της κατοικίας, ενώ ήταν τοποθετημένα στο δώμα.

Αντίστοιχα στο διάγραμμα 3.1 εμφανίζεται η ακτινοβολία στις μηδέν και στις 18 μοίρες ανα τους μήνες του χρόνου, ενώ στο διάγραμμα 3.2 παρουσιάζεται η βέλτιστη κλίση ανά μήνα στο σημείο εγκατάστασης η οποία είναι στις 30 μοίρες.

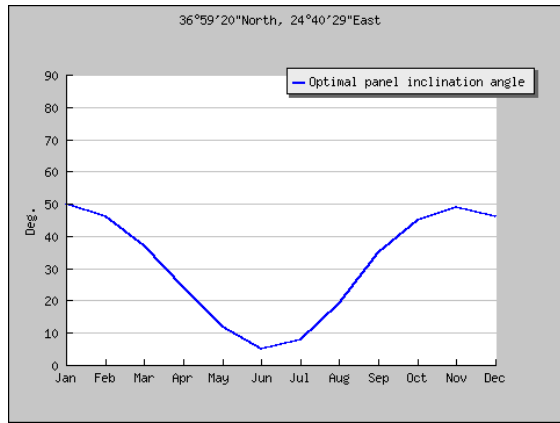
Όπως αναφέρθηκε, ο πίνακας 3.1 δίνει μια πρώτη εκτίμηση. Για καλύτερη προσέγγιση στην πραγματική παραγωγή χρησιμοποιήθηκε το εξειδικευμένο λογισμικό PVsyst. Μέσω της χρήσης του συγκεκριμένου προγράμματος μας δίνετε η δυνατότητα μέσω της χρησιμοποίησης του συγκεκριμένου εξοπλισμού να έχουμε καλύτερη εικόνα για την αναμενόμενη παραγωγή του συστήματος και κατά συνέπεια των δεικτών της επένδυσης όπως είναι το ROI και του συνολικού κέρδους της επένδυσης σε βάθος 25ετίας. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος όπως αναφέρθηκαν, ενώ στον πίνακα 3.3 οι μηνιαίες αποδόσεις του συστήματος. Αντίστοιχα οι απώλειες του συστήματος περιγράφονται αναλυτικά στο διάγραμμα 3.3.

Μήνας	Μέση Ενέργεια από την φ/β μονάδα ανα εγκατεστημένο kW στις μηδέν μοίρες σε kWh	Μέση Ενέργεια από την φ/β μονάδα ανα εγκατεστημένο kW στις 18 μοίρες σε kWh
1	56,11	51,4
2	74,53	75,4
3	116,25	149
4	159,00	197
5	193,44	229
6	211,80	243
7	212,97	241
8	191,27	225
9	152,10	178
10	103,54	121
11	59,40	69,2
12	44,33	38,7
Total	1574,74	1817,70

Πίνακας 3.1: Παραγόμενη ενέργεια από φ/β μονάδα 1kW σε διαφορετικές κλίσεις στις Καμάρες



Διάγραμμα 3.1: Μηνιαία ακτινοβολία στο σημείο τοποθέτησης με κλίση πάνελ 18° - Σίφνος



Διάγραμμα 3.2: Βέλτιστη κλίση πάνελ ανα μήνα στο σημείο τοποθέτησης - Σίφνος

### Grid-Connected System: Simulation parameters

<b>Project :</b>	<b>Sifnos</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Sifnos kamares</b>	<b>Country</b>	<b>Greece</b>
<b>Situation</b>	Latitude 37.0°N	Longitude	24.7°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	78 m
	Albedo 0.35		
<b>Meteo data :</b>	Sifnos kamares from PVGIS, Synthetic Hourly data		

<b>Simulation variant :</b>	<b>sma renesola virtus sifnos</b>
	Simulation date 23/09/12 20h03

<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 18°	Azimuth	0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>JC250M-24/Bb (Virtus)</b>
	Manufacturer	Renesola	
Number of PV modules	In series	10 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	20	Unit Nom. Power 250 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>5.00 kWp</b>	At operating cond. 4488 Wp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	276 V	I mpp 16 A
Total area	Module area	<b>32.5 m²</b>	Cell area 29.2 m²
<b>Inverter</b>			
	Model	<b>Sunny Boy SB 5000 TL-20</b>	
	Manufacturer	SMA	
Characteristics	Operating Voltage	175-440 V	Unit Nom. Power 4.60 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)	NOCT	56 °C	
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	290 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		

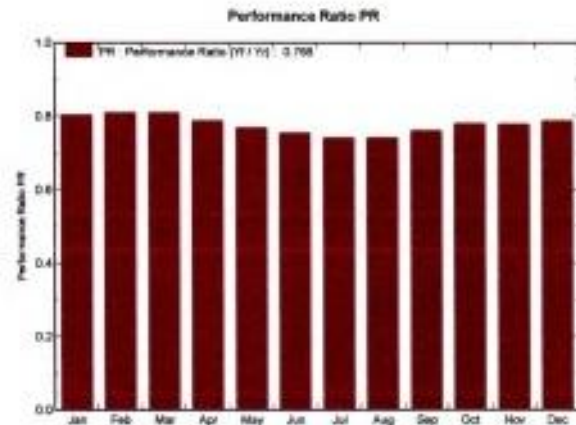
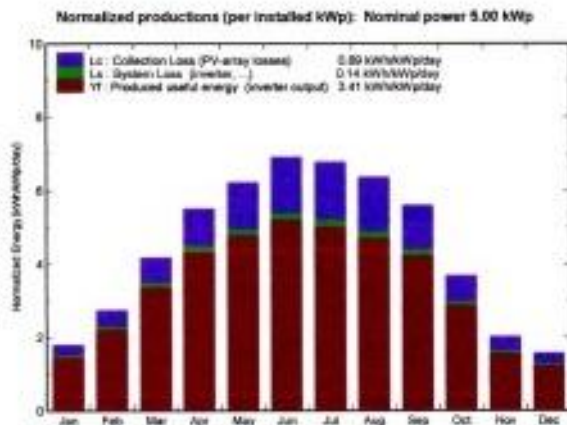
Πίνακας 3.2: Περιγραφή συστήματος 5kWp μέσω λογισμικού Pvsyst - Καμάρες Σίφνος

### Grid-Connected System: Main results

**Project :** Sifnos  
**Simulation variant :** sma renesola virtus sifnos

**Main system parameters**  
 System type **Grid-Connected**  
 PV Field Orientation tilt **18°** azimuth **0°**  
 PV modules Model **JC250M-24/Bb (Virtus)** Pnom **250 Wp**  
 PV Array Nb. of modules **20** Pnom total **5.00 kWp**  
 Inverter Model **Sunny Boy SB 5000 TL-20** Pnom **4600 W ac**  
 User's needs Unlimited load (grid)

**Main simulation results**  
 System Production **Produced Energy 6.23 MWh/year** Specific prod. **1246 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR 76.8 %**



### vazakopoulos sma renesola virtus sifnos Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
January	47.1	11.30	55.6	53.4	0.234	0.223	12.94	12.34
February	65.2	11.50	76.5	73.6	0.322	0.309	12.96	12.43
March	115.6	12.70	129.2	125.0	0.542	0.522	12.90	12.42
April	156.0	15.50	164.9	159.4	0.674	0.649	12.56	12.09
May	192.5	19.90	192.8	186.3	0.788	0.739	12.28	11.80
June	211.5	24.20	206.9	200.4	0.809	0.779	12.03	11.58
July	212.7	26.50	209.9	203.3	0.807	0.777	11.81	11.37
August	190.0	26.50	196.7	190.6	0.757	0.728	11.82	11.38
September	150.0	23.60	167.6	162.4	0.681	0.636	12.12	11.67
October	96.7	19.80	114.1	110.3	0.462	0.444	12.45	11.95
November	50.7	16.00	60.2	57.8	0.245	0.234	12.52	11.94
December	40.6	12.80	48.1	46.1	0.189	0.189	12.71	12.08
Year	1528.6	18.40	1622.3	1568.6	6.481	6.230	12.28	11.80

Legends: GlobHor Horizontal global irradiation  
 T Amb Ambient Temperature  
 GlobInc Global incident in coll. plane  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings  
 EArray Effective energy at the output of the array  
 E\_Grid Energy injected into grid  
 EffArrR Effc. Eout array / rough area  
 EffSysR Effc. Eout system / rough area

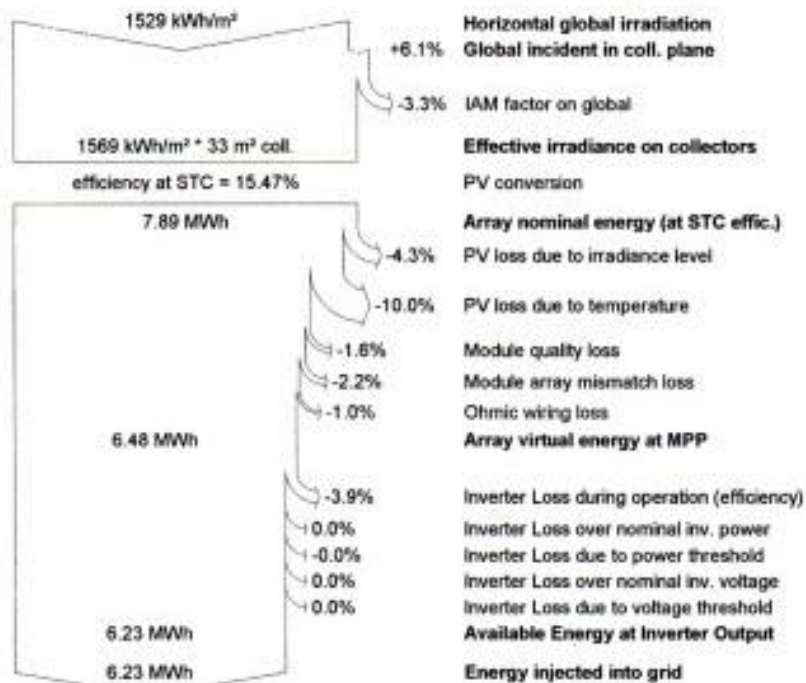
Πίνακας 3.3: Μηνιαίες αποδόσεις συστήματος 5kWp μέσω PVsyst – Καμάρες Σίφνος

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** Sifnos  
**Simulation variant :** sma renesola virtus sifnos

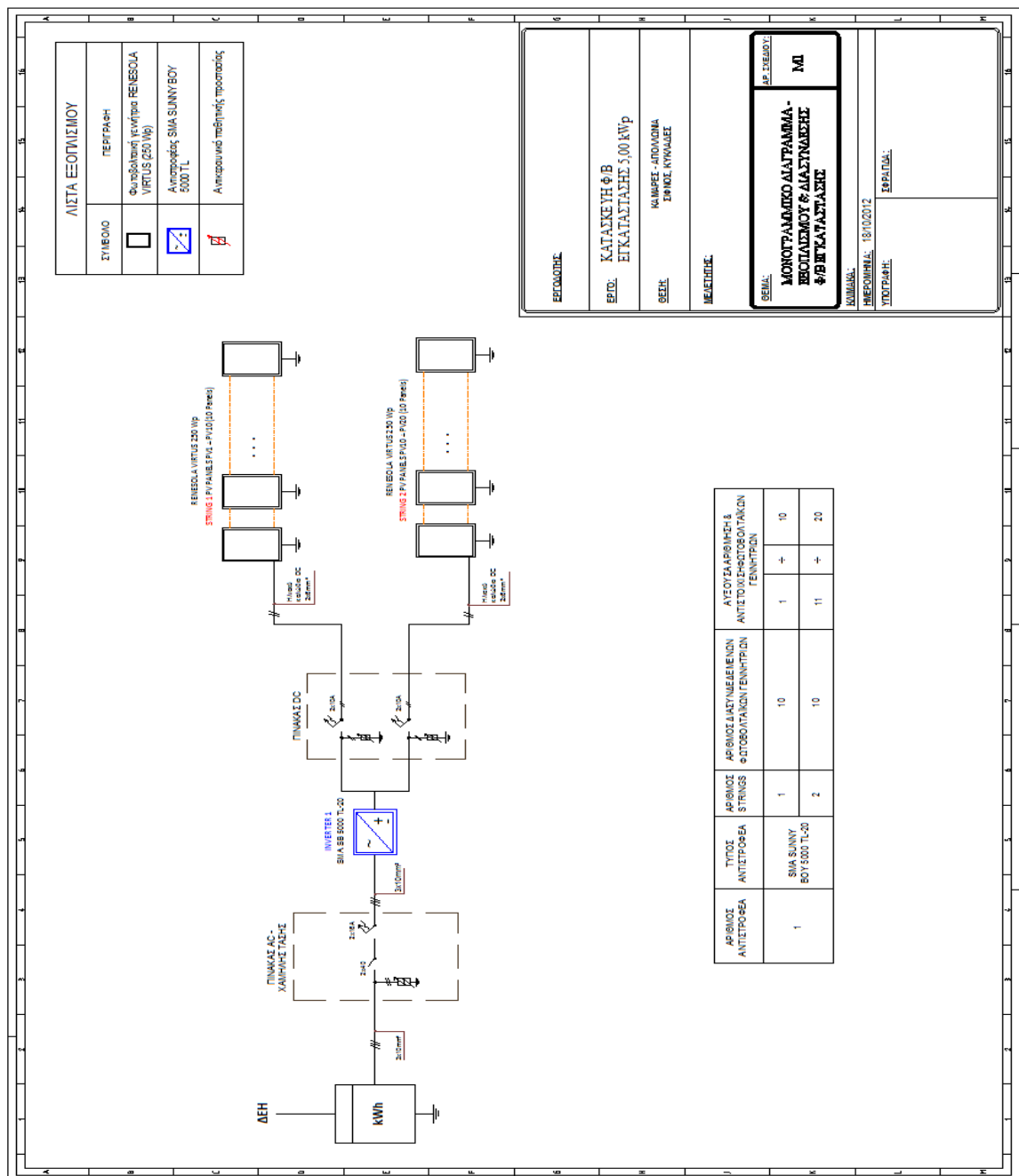
<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>		
PV Field Orientation	tilt	18°	azimuth	0°
PV modules	Model	JC250M-24/Bb (Virtus)	Pnom	250 Wp
PV Array	Nb. of modules	20	Pnom total	<b>5.00 kWp</b>
Inverter	Model	Sunny Boy SB 5000 TL-20	Pnom	4600 W ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

#### Loss diagram over the whole year



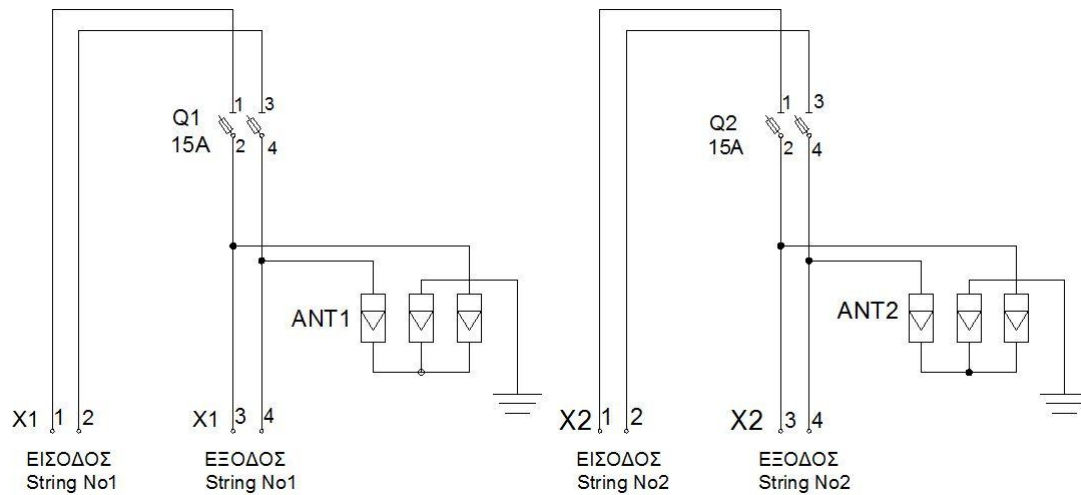
Διάγραμμα 3.3: Απώλειες συστήματος 5kWp μέσω προγράμματος Pvsyst – Καμάρες Σίφνος

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται το μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης σύμφωνα με το οποίο έγινε η καλωδίωση της μονάδας και ο διαμοιρασμός των φ/β πλαισίων σε συστοιχίες.

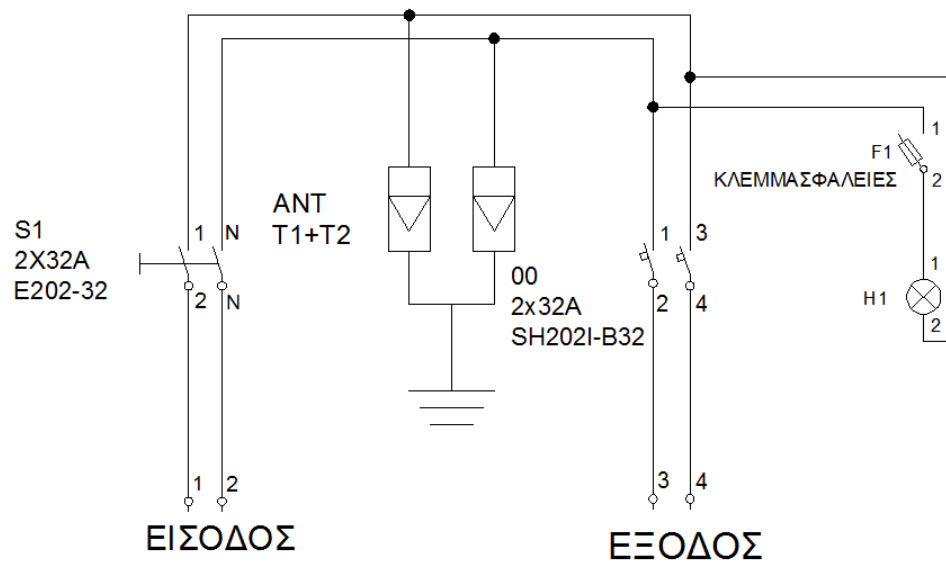


Σχήμα 3.2: Μονογραμμικό σχέδιο Φ/Β εγκατάστασης δυναμικότητας 5kWp – Καμάρες Σίφνος

Στα σχήματα 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται τα μονογραμμικά διαγράμματα των πινάκων DC και AC αντίστοιχα, με τα οποία κατασκευάστηκαν.



Σχήμα 3.3: Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα DC δύο στοιχειοσειρών



Σχήμα 3.4: Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα AC φ/β εγκατάστασης 5kWp μονοφασικής παροχής

Στη φωτογραφία 3.1 παρουσιάζεται από αριστερά προς τα δεξιά η διάταξη Πίνακα DC, inverter και πίνακα AC όπως εγκαταστάθηκε. Η μονάδα εγκατεστημένη στην στέγη της κατοικίας φαίνεται στην φωτογραφία 3.2





Φωτογραφία 3.1: Διάταξη Πίνακα DC – Inverter – Πίνακα AC (από αριστερά προς τα δεξιά)



Φωτογραφία 3.2: Η Φωτοβολταϊκή γεννήτρια εγκατεστημένη

### 3.2 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα 7,02kWp στην Αθήνα

#### Γενικά στοιχεία

Η φ/β μονάδα εγκαταστάθηκε επί δώματος – στέγης κατοικίας στην περιοχή Άνοιξη Αττικής και αδειοδοτήθηκε σύμφωνα με το πρόγραμμα Φ/Β στην Στέγη feed in tariff το 2012.

Το συγκεκριμένο κτήριο στο οποίο έγινε η εγκατάσταση, υπήρχε η ιδιαιτερότητα, ότι δεν υπήρχε ούτε ενιαίο δώμα αλλά ούτε και ενιαία στέγη. Στο ίδιο κτήριο υπήρχε μια μικρή τετράριχτη στέγη, μια μεγαλύτερη δίριχτη στέγη και το υπόλοιπο τμήμα ήταν δώμα. Οι κλίσεις που είχαν οι στέγες ήταν διαφορετικές, ενώ είχαμε διαθέσιμους όλους τους προσανατολισμούς. Στις φωτογραφίες 3.3 όπου ακολουθούν φαίνεται η στέγη – δώμα πριν την εγκατάσταση.

Επιπλέον, υπήρχε ένας ηλιακός που ήταν τοποθετημένος σε σημείο όπου εμπόδιζε. Για τον λόγο αυτόν, έγινε μεταφορά του σε σημείο όπου δημιουργεί την λιγότερη δυνατή σκίαση.



Φωτογραφία 3.3: Η στέγη-δώμα του κτηρίου πριν την εγκατάσταση

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση δεν ήταν εφικτό να υλοποιηθεί με έναν τριφασικό ή τρεις μονοφασικούς string inverter για τους εξής λόγους:

- Στην οροφή-δώμα υπάρχουν δύο (2) διαφορετικές κλίσεις στέγης και τέσσερις (4) προσανατολισμοί.
- Σε συγκεκριμένα τμήματα της στέγης ο χώρος αρκούσε για τοποθέτηση ενός (1) μόνο Φ/Β πάνελ.

- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  των πάνελ που μπορούσαν να τοποθετηθούν στη μεγαλύτερη στέγη δεν ήταν ικανή να ενεργοποιήσει την είσοδο ενός κλασσικού string inverter.
- Ήταν επιθυμητή η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εκμετάλλευση επιφάνειας, με σκοπό η εγκατάσταση να έχει την μεγαλύτερη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ και συνεπώς ο ιδιοκτήτης να έχει το μέγιστο δυνατό έσοδο σε βάθος 25ετίας.
- Επιδιωκόμενο ήταν το μικρότερο δυνατό κόστος εγκατάστασης ανά εγκατεστημένο kWp.

Με βάση αυτά που αναφέραμε, για την υλοποίηση αυτής της εγκατάστασης επιλέχθηκε η εγκατάσταση φ/β μονάδας με inverter και power optimizers της Solar Edge. Η συγκεκριμένη εταιρεία ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών inverter όπως έχει ήδη περιγραφεί. Πίσω από κάθε πάνελ εγκαθίσταται ένας micro inverter στον οποίο συνδέεται ένα πάνελ. Η στοιχειοσειρά αποτελείται από τους micro inverter οι οποίοι λειτουργούν στο σημείο MPP κάθε πάνελ, επικοινωνούν με την κύρια μονάδα και ρυθμίζονται σε κοινό ρεύμα στοιχειοσειράς. Επειδή κάθε πάνελ μπορεί να έχει διαφορετική απόδοση (λόγω κλίσης, προσανατολισμού, σκίασης κλπ) το ρεύμα στοιχειοσειράς ρυθμίζεται να είναι ίδιας τιμής στην έξοδο κάθε micro inverter. Η διαφορά έγκειται στην τάση που αυτοί εμφανίζουν στην έξοδο τους. Αυτός είναι και ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η συγκεκριμένη εγκατάσταση.

## Εξοπλισμός

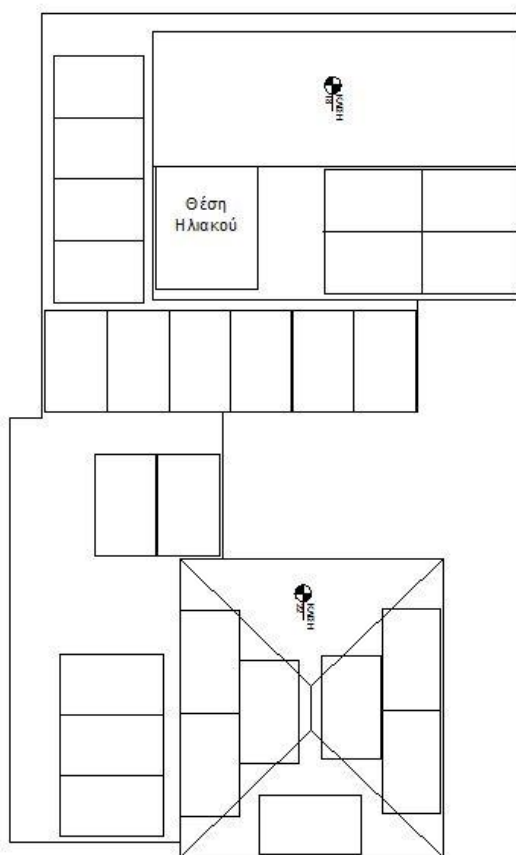
Ο εξοπλισμός ο οποίος επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη μονάδα είναι ο εξής:

- Inverter. Επιλέχθηκε τριφασικός inverter της εταιρείας Solar Edge, μοντέλο SE7k, ο οποίος διαθέτει βαθμό απόδοσης 97,7% και 1 ανεξάρτητο MPP tracker. Το σημείο τοποθέτησης του ήταν σε εξωτερικό χώρο και για αυτό χρειαζόταν ο βαθμός στεγανότητας IP65. Ο inverter συνδυάστηκε με Power optimizers της ίδια εταιρείας, μοντέλο OP300-MV-MC4SM, βαθμός απόδοσης max 99,5%, βαθμός στεγανότητας IP65, 26 τεμάχια.
- Φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα φ/β πάνελ τα οποία επιλέχθηκαν είναι της Yingli Solar, μοντέλο YL270C-30B ισχύς 270Wp, 26 τεμάχια. Το συγκεκριμένο μοντέλο επιλέχθηκε λόγω της μεγάλης ισχύος του την συγκεκριμένη περίοδο, διότι ο διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης ήταν περιορισμένος και στόχος ήταν η όσο δυνατόν μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ αλλά και ο μέγιστος λόγος απόδοσης/κόστος εγκατάστασης.
- Βάσεις στήριξης. Οι βάσεις στήριξης είναι σταθερού τύπου και κλίσης από αλουμίνιο. Ένα μέρος των βάσεων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για στήριξη και ανύψωση από το επίπεδο του δώματος και ένας άλλος τύπος για στήριξη στην κεραμοσκεπή.
- Ηλεκτρικοί πίνακες. Οι ηλεκτρικοί πίνακες DC και AC που εγκαταστάθηκαν είναι πλαστικοί με βαθμό στεγανότητας IP65. Οι πίνακες και το ραγουλικό είναι της εταιρείας ABB ενώ κατασκευάστηκαν από εξειδικευμένη μονάδα συναρμολόγησης.
- Καλωδιώσεις. Οι καλωδιώσεις DC είναι της εταιρείας Nexans με διπλή μόνωση για συστήματα DC 1000V ενώ οι καλωδιώσεις AC είναι κατασκευής CABLEL - Ελληνικά καλώδια.

## Σχηματική Παράσταση Χωροθέτησης Συστήματος

Η τελική χωροθέτηση του συστήματος εμφανίζεται στο σχήμα 3.5. Της τελικής χωροθέτησης προηγήθηκε αυτοψία, έλεγχος των σχεδίων της πολεοδομίας σε συνδυασμό με την ενεργειακή μελέτη και επεξεργασία των δεδομένων του Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Επιπλέον, ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σχεδίαση της εγκατάστασης είναι το λογισμικό Site Designer της κατασκευάστριας εταιρείας του συστήματος, (<https://www.solaredge.com/products/installer-tools/site-designer>).

**B**



Σχήμα 3.5: Χωροθέτηση της φωτοβολταϊκής μονάδας 7,02kWp στην Άνοιξη Αττικής

Τα φωτοβολταϊκά έχουν, αναλόγως τοποθέτησης, 3 προσανατολισμούς (Νότος -Ανατολή - Δύση). Στις περιπτώσεις όπου το σημείο εγκατάστασης των φ/β πλαισίων είναι σε στέγη τότε ακολουθείται η κλίση αυτής η οποία είναι 18 και 22 μοίρες. Τις περιπτώσεις όπου το σημείο εγκατάστασης είναι στο δώμα και σε βάσεις ανύψωσης, η κλίση είναι 30 μοίρες για μέγιστη απόδοση. Σε άλλα σημεία η κλίση είναι 10 μοίρες για την αποφυγή σκιάσεων στα υπόλοιπα πάνελ που είναι τοποθετημένα πιο πίσω.

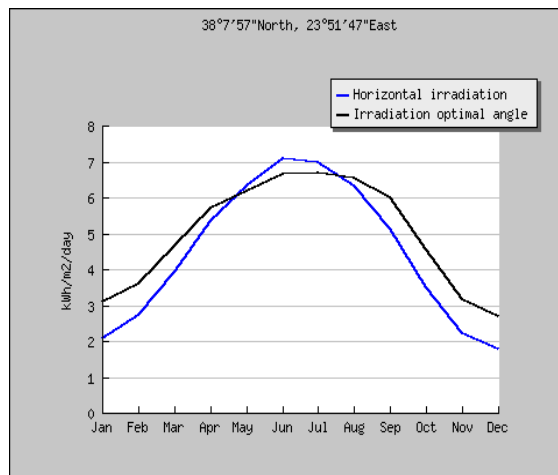
## Ενεργειακή μελέτη απόδοσης του Συστήματος

Με βάση την δυναμικότητα του συστήματος η αναμενόμενη κατά προσέγγιση παραγωγή του συστήματος είναι **8957kWh** με βάση την διάταξη της εγκατάστασης. Η απόσβεση της επένδυσης έγινε σε 4 έτη και κάνοντας την συγκεκριμένη επένδυση ιδιαίτερα συμφέρουσα για τον επενδυτή.

Για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της εταιρείας Solar Edge καθώς και δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από το κέντρο ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στη περιοχή της εγκατάστασης. Στον πίνακα 3.4 η δεύτερη στήλη παρουσιάζει κατά προσέγγιση την ενέργεια που παράγει ένα κρυσταλλικό φ/β πλαίσιο ισχύος 1kWp με απώλειες συστήματος 14% τοποθετημένο στο επίπεδο με μηδενική κλίση. Αντίστοιχα στη τρίτη στήλη έχουμε την ενέργεια από τα ίδια φ/β πλαίσια εγκατεστημένα στις 30 μοίρες. Όπως βλέπουμε συγκρίνοντας τις τιμές συνολικά η τοποθέτηση υπο κλίση είναι αυτή η οποία μας δίνει μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας. Να σημειωθεί εδώ ότι ιδανικά θα θέλαμε η κλίση των φ/β πλαισίων να είναι στις 30 μοίρες. Λόγω της τοπολογίας της εγκατάστασης αυτό δεν ήταν δυνατόν. Στο διάγραμμα 3.4 παρουσιάζεται η μηνιαία ακτινοβολία στο επίπεδο αλλά και στην βέλτιστη κλίση η οποία είναι 30 μοίρες, ενώ στο διάγραμμα 3.5 παρουσιάζεται η βέλτιστη κλίση ανα μήνα στο σημείο εγκατάστασης. Το λογισμικό PVsyst δεν μπόρεσε να χρησιμοποιηθεί καθώς δεν υποστήριζε την τεχνολογία των υβριδικών συστημάτων.

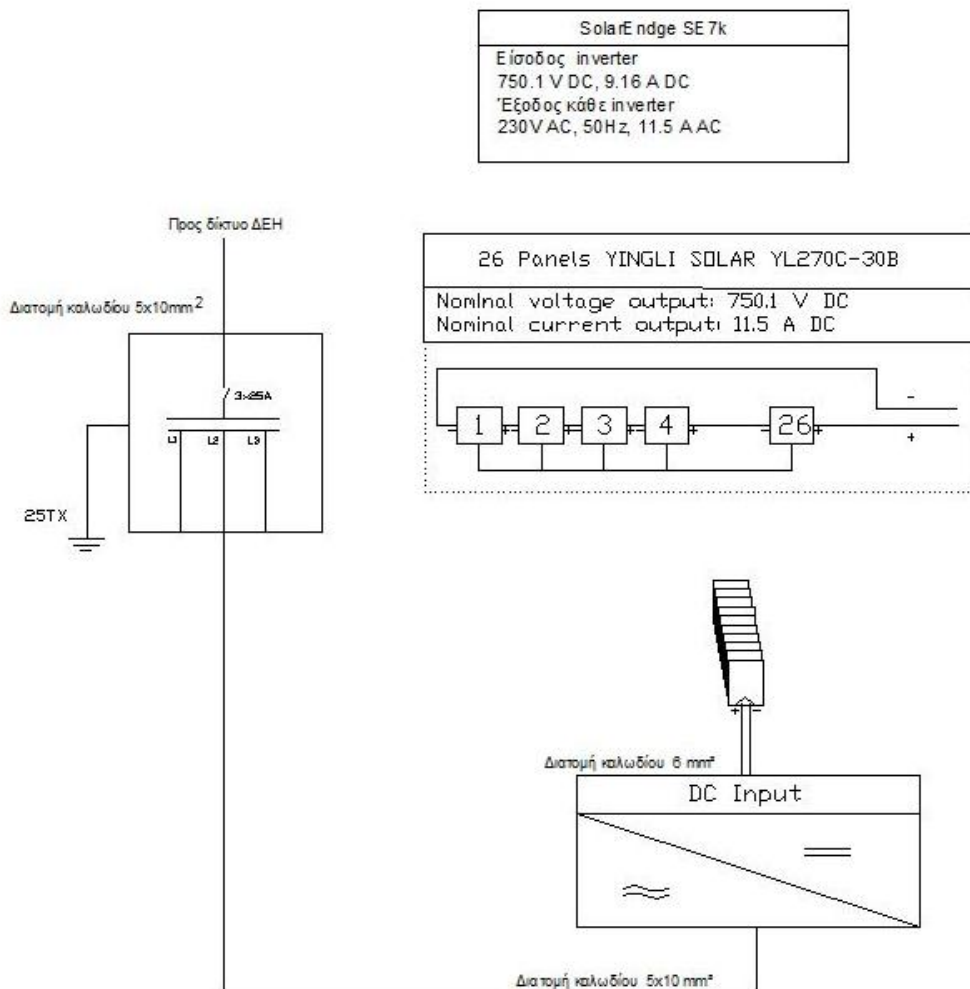
Μήνας	Μέση Ενέργεια από την φ/β μονάδα ανα εγκατεστημένο kW στις μηδέν μοίρες σε kWh	Μέση Ενέργεια από την φ/β μονάδα ανα εγκατεστημένο kW στις 30 μοίρες σε kWh
1	64,17	95,79
2	78,59	104,11
3	122,14	144,46
4	160,2	170,7
5	196,23	191,89
6	212,7	199,5
7	216,69	207,08
8	195,61	202,74
9	153,6	167,7
10	107,57	140,74
11	66,6	95,4
12	55,18	83,39
Total	1629,28	1803,5

Πίνακας 3.4: Παραγόμενη ενέργεια ανα εγκατεστημένο kW στο επίπεδο και στο βέλτιστο σημείο. Άνοιξη Αττικής.

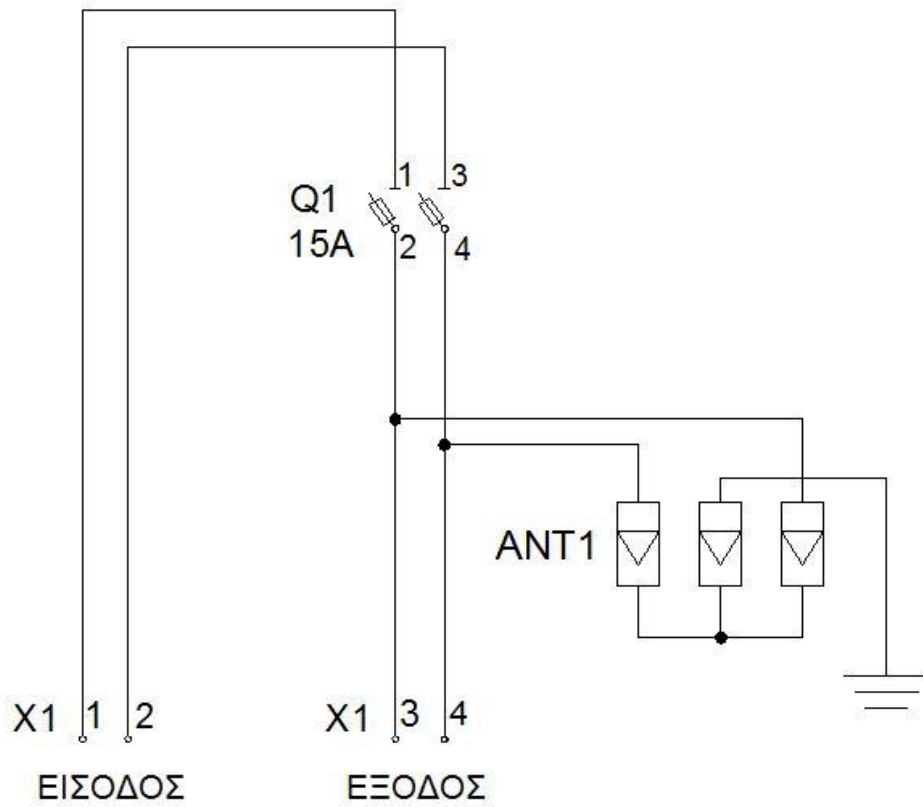


Διάγραμμα 3.4: Μηνιαία ακτινοβολία στο σημείο τοποθέτησης - Άνοιξη Αττικής

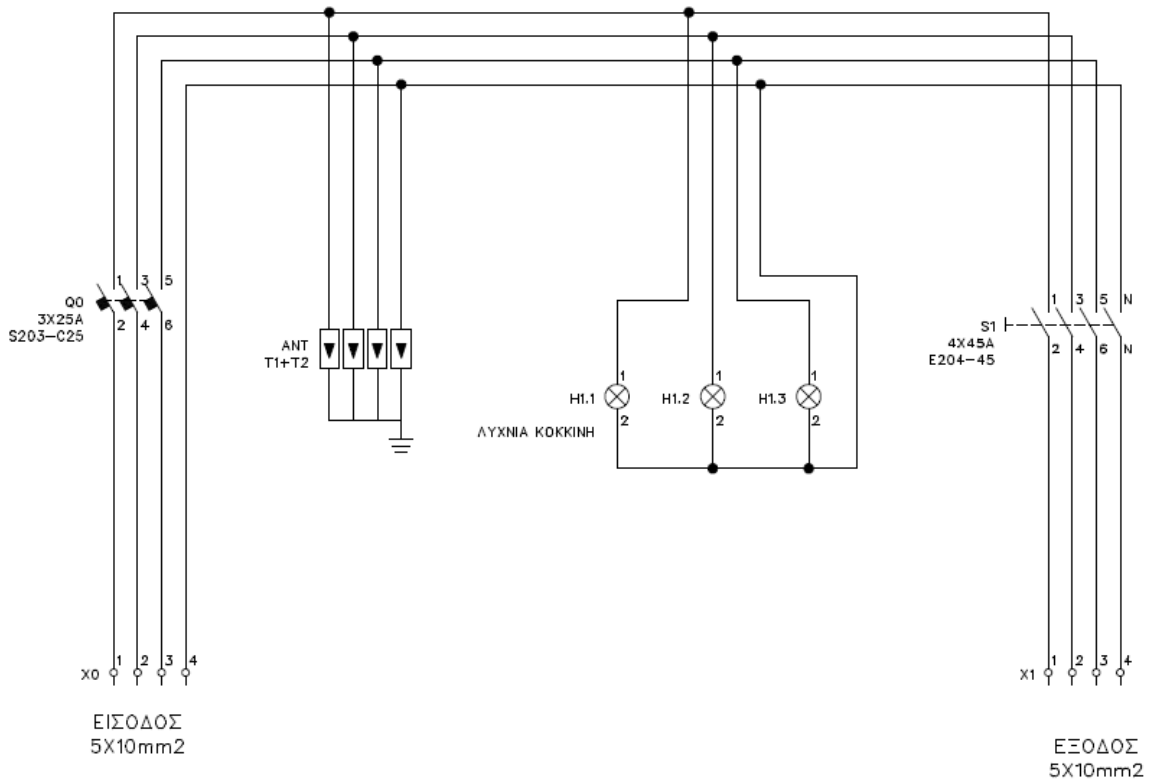
Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται το μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης. Τα μονογραμμικά των πινάκων DC και AC παρουσιάζονται αντίστοιχα στα σχήματα 3.7 και 3.8.



Σχήμα 3.6: Μονογραμμικό σχέδιο Φ/Β εγκατάστασης δυναμικότητας 7,02kWp – Άνοιξη Αττικής



Σχήμα 3.7: Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα DC μίας στοιχειοσειράς



Σχήμα 3.8: Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα AC φ/β εγκατάστασης 7,02Wp τριφασικής παροχής

Στη φωτογραφία 3.4 παρουσιάζεται από αριστερά προς τα δεξιά η διάταξη πίνακα DC, inverter και πίνακα AC. Η εγκατεστημένη μονάδα στην στέγη της κατοικίας εμφανίζεται στην φωτογραφία 3.5.



Φωτογραφία 3.4: Διάταξη Πίνακας AC – Inverter – Πίνακα DC (από αριστερά προς τα δεξιά)



Φωτογραφία 3.5: Η Φωτοβολταϊκή γεννήτρια εγκατεστημένη

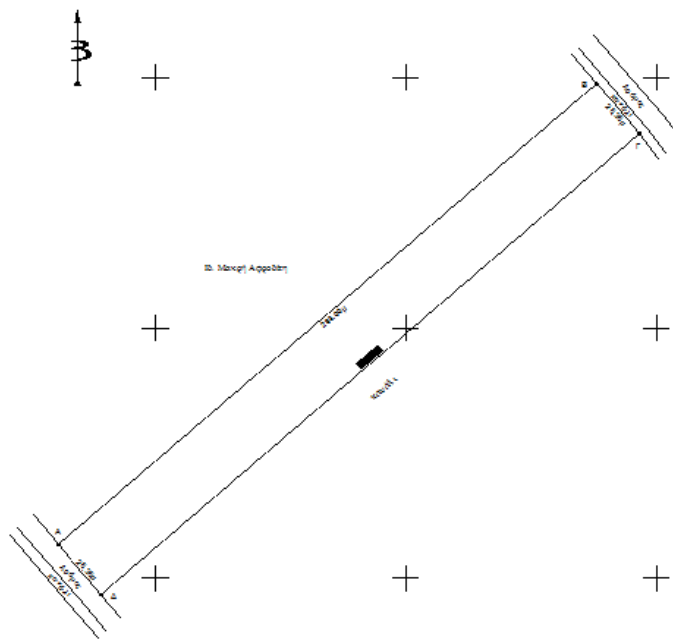


### 3.3 Διασυνδεδεμένο Φ/Β σύστημα 100kWp στην Λάρισα

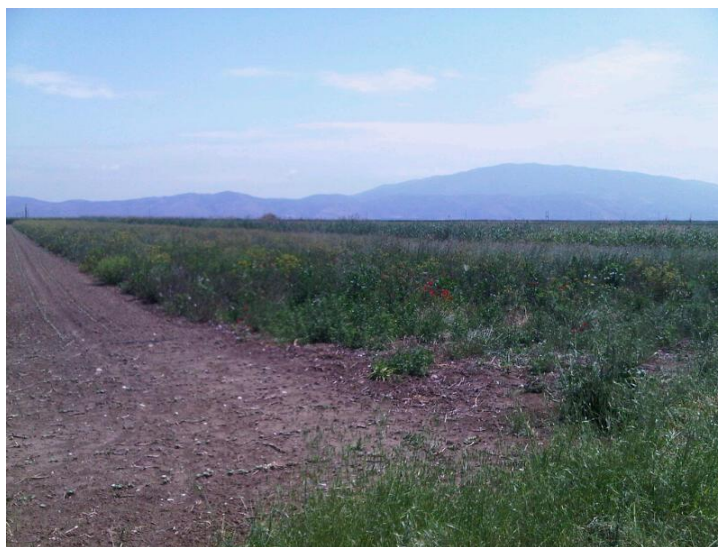
#### Γενικά στοιχεία

Η Φ/Β μονάδα εγκαταστάθηκε επί αγροτεμαχίου στην περιοχή Πλατύκαμπου του νομού Λαρίσης.

Το συγκεκριμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα αδειοδοτήθηκε σύμφωνα με τον νόμο 3851/2010 περί αγροτικών Φωτοβολταϊκών υπό το καθεστώς feed in tariff το 2011 ως αγροτικό φωτοβολταϊκό στο πλαίσιο της επίτευξης του στόχου της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Το αγροτεμάχιο είναι έκτασης 7.561m<sup>2</sup> και παρουσιάζεται στο σχήμα 3.9. Η φωτογραφία 3.6 παρουσιάζει το αγροτεμάχιο πριν την εγκατάσταση του συστήματος.



Σχήμα 3.9 :Τοπογραφικό του οικοπέδου



Φωτογραφία 3.6:Το αγροτεμάχιο πριν την εγκατάσταση της μονάδας

## Χωροθέτηση του Συστήματος

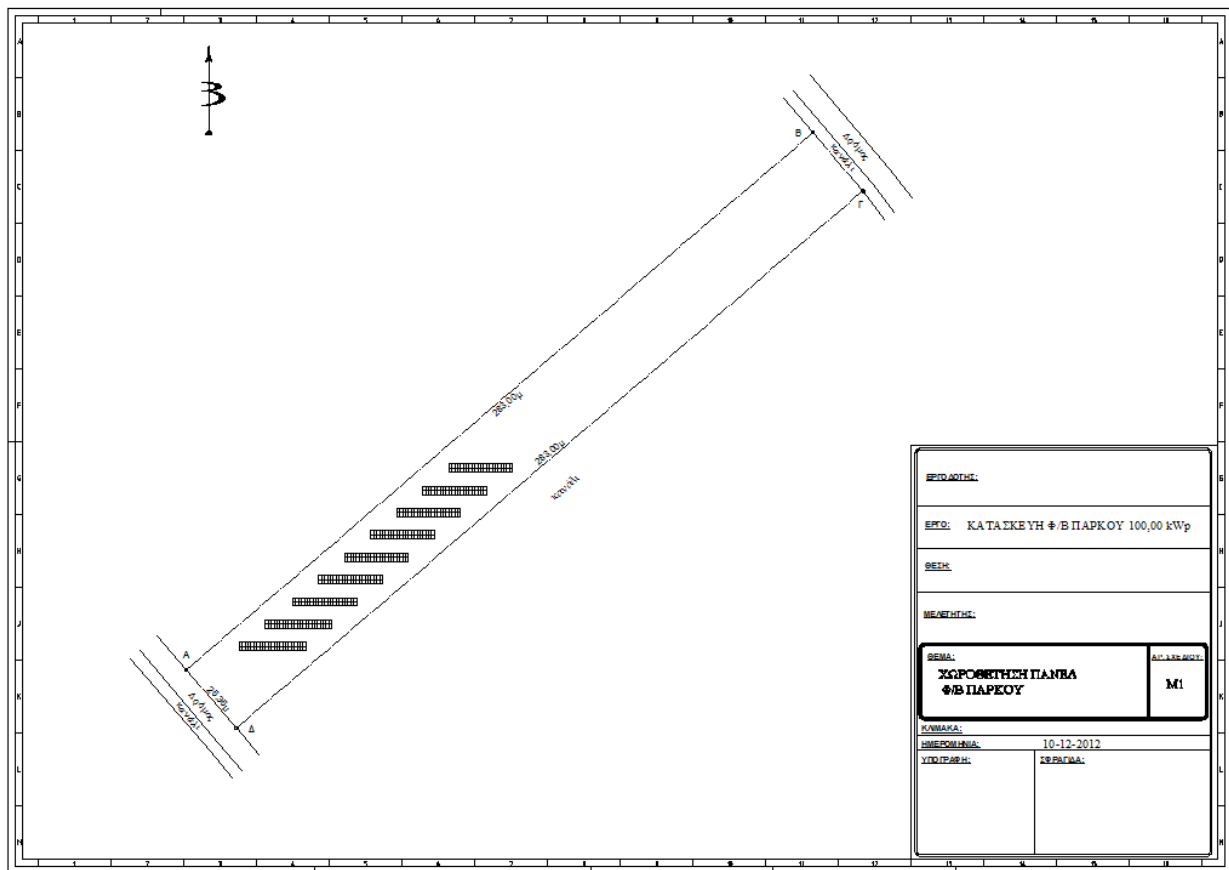
Για να μπορέσουμε να καταλήξουμε στην τελική χωροθέτηση του συστήματος προηγήθηκε αυτοψία και έλεγχος του τοπογραφικού το οποίο είχε δημιουργηθεί μέσω GIS. Στην συνέχεια προχωρήσαμε σε ενεργειακή μελέτη για την οποία χρησιμοποιήσαμε το εξειδικευμένο λογισμικό PVsyst αλλά και δεδομένα από το Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) με σκοπό την μέγιστη αποδοτικότητά της μονάδας.

Ένα σημείο το οποίο είδαμε κατά την αυτοψία, ήταν η κολώνα με τον μετασχηματιστή Μ.Τ. του ΔΕΔΔΗΕ, η οποία ήταν εγκατεστημένη στην νοτιοανατολική γωνία του οικοπέδου. Λόγω του σημείου εγκατάστασης της, επηρέασε την τελική χωροθέτηση της φ/β γεννήτριας καθώς δημιουργούσε έντονη σκίαση. Η φ/β συστοιχία μετακινήθηκε σε τέτοιο σημείο, ώστε η λειτουργία της να μην επηρεάζεται από την σκιά της κολώνας για μέγιστη απόδοση.



Φωτογραφία 3.7: Στύλος Μ/Σ Μέσης Τάσης ΔΕΔΔΗΕ στην Ν/Α πλευρά του αγροτεμαχίου

Η χωροθέτηση της φωτοβολταϊκής μονάδας στην οποία καταλήξαμε είναι αυτή η οποία εμφανίζεται στο σχήμα 3.10. Τα φωτοβολταϊκά έχουν νότιο προσανατολισμό με μηδενικό αζιμούθιο και βρίσκονται τοποθετημένα επί σταθερών βάσεων με κλίση 30 μοιρών.



Σχήμα 3.10 : Χωροθέτηση της φωτοβολταϊκής μονάδας

Ο εξοπλισμός ο οποίος επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη μονάδα είναι ο εξής:

- Inverter. Επιλέχθηκε τριφασικός inverter της εταιρείας Refusol, μοντέλο 020K (5 τεμάχια). Η ονομαστική ισχύς εξόδου είναι 20kVA με βαθμό απόδοσης 98,2% και έναν ανεξάρτητο MPP tracker. Ο βαθμός στεγανότητας είναι IP65, για τοποθέτηση του σε εξωτερικό χώρο.
- Φωτοβολταϊκά πάνελ. Τα φ/β πάνελ τα οποία επιλέχθηκαν είναι της εταιρείας Renesola, πολυκρυσταλλικού τύπου. Το μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το Virtus 250Wp, 400 τεμάχια. Το συγκεκριμένο φ/β πλαίσιο επιλέχθηκε λόγω του πολύ καλού λόγου τιμής/απόδοσης την χρονική στιγμή της προμήθειας του και του πολύ καλού θερμοκρασιακού του συντελεστή σε σχέση με ανταγωνιστικά φ/β πλαίσια.
- Βάσεις στήριξης. Οι βάσεις στήριξης είναι σταθερού τύπου και κλίσης 30 μοιρών. Η τοποθέτηση τους έγινε επάνω σε βάσεις μπετού. Επιλέχθηκε αυτή η λύση καθώς το έδαφος της περιοχής είναι πολύ μαλακό και ειδικά μετά από βροχή. Για να διαπιστωθεί αρχικά πασσαλόμπιξη και μέτρηση της δύναμης αφαίρεσης του πασάλου, η οποία ήταν απαγορευτική (για πασσαλόμπιξη).
- Ηλεκτρικοί πίνακες. Κύριος πίνακας AC μεταλλικός, βαμμένος με ηλεκτροστατική βαφή. Βαθμός στεγανότητας IP66. Το ηλεκτρολογικό ραγουλικό είναι των εταιρειών ABB, Siemens, Weidmuller. Ο πίνακας κατασκευάστηκε με δικά μας σχέδια από την εταιρεία SABO Electric. Ηλεκτρολογικοί υποπίνακες AC μεταλλικοί, βαμμένοι με ηλεκτροστατική βαφή. Βαθμός στεγανότητας IP66. Το ηλεκτρολογικό ραγουλικό είναι των εταιρειών ABB, Siemens, ELEMKO. Ο πίνακας κατασκευάστηκε από την εταιρεία

CRELI με δικά μας σχέδια. Οι ηλεκτρολογικοί πίνακες DC μεταλλικοί, βαμμένοι με ηλεκτροστατική βαφή. Βαθμός στεγανότητας IP66. Το ηλεκτρολογικό ραγουλικό είναι των εταιρειών ABB, Siemens, ELEMKO.

- Καλωδιώσεις. Οι καλωδιώσεις DC είναι της εταιρείας Eucasolar με διπλή μόνωση για συστήματα DC 1000V. Οι καλωδιώσεις AC είναι κατασκευής CABLEL - Ελληνικά καλώδια. Οι καλωδιώσεις δικτύου είναι Ethernet κατηγορίας 6 της εταιρείας Panduit.


### **Ενεργειακή μελέτη απόδοσης του Συστήματος**

Η ετήσια παραγωγή του συστήματος εκτιμάται στις **1207Wh** ανά εγκατεστημένο kW. Με βάση τη δυναμικότητα του συστήματος και την διάταξη της εγκατάστασης, η αναμενόμενη κατά προσέγγιση παραγωγή του συστήματος είναι **120,7MWh**. Η απόδοση της εγκατάστασης σε συνδυασμό με το κόστος της εγκατάστασης και την τιμή πώλησης της kWh, κρίνεται εξαιρετικά ικανοποιητική. Η απόσβεση της επένδυσης έρχεται σε κάτι λιγότερο από 3 χρόνια.

Για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε το εξειδικευμένο λογισμικό Pvsyst και δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από το κέντρο ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στη περιοχή της εγκατάστασης. Για χάριν πληρότητας θα θέλαμε να σημειώσουμε ότι στην φάση της μελέτης της εγκατάστασης τα πάνελ ήταν τα Virtus 245 ενώ όταν ήρθε η στιγμή της παραγγελίας των φ/β πλαισίων αυτά δεν ήταν πλέον διαθέσιμα και είχαν αντικατασταθεί από το μοντέλο virtus 250 τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της εγκατάστασης.

Στον πίνακα 3.5 εμφανίζεται η περιγραφή του συστήματος ενώ στον πίνακα 3.6 εμφανίζεται η ετήσια αλλά και οι μηνιαίες αποδόσεις. Στο διάγραμμα 3.5 παρουσιάζονται οι απώλειες του συστήματος.

Στα σχήματα 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 και 3.15 παρουσιάζονται αντίστοιχα το μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης, το πολυγραμμικό σχέδιο κάθε πίνακα DC των τεσσάρων στοιχειοσειρών, το μονογραμμικό σχέδιο των υποπινάκων AC καθώς και το πολυγραμμικό σχέδιο του κεντρικού πίνακα AC.

		PVSYST V5.59	02/12/12	Page 1/3
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>				
<b>Project :</b>				
<b>Geographical Site</b>	Platukambos Larissa		<b>Country</b>	Greece
<b>Situation</b>	Latitude	39.6°N	Longitude	22.5°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+1	Altitude	62 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data :</b>	Platukambos Larissa, Synthetic Hourly data			
<b>Simulation variant :</b>				
	Simulation date	02/12/12 16h11		
<b>Simulation parameters</b>				
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	28°	Azimuth	0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	JC245M-24/Bb (Virtus)	
		Manufacturer	Renesola	
Number of PV modules		In series	23 modules	In parallel 18 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	414	Unit Nom. Power 245 W p
<b>Array global power</b>		<b>Nominal (STC)</b>	<b>101 kW p</b>	<b>At operating cond. 90.6 kW p (50°C)</b>
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	625 V	I mpp 145 A
Total area		Module area	674 m <sup>2</sup>	Cell area 605 m <sup>2</sup>
<b>Inverter</b>				
		Model	RefuSol 20K	
		Manufacturer	REFU Elektronik GmbH	
Characteristics		Operating Voltage	480-800 V	Unit Nom. Power 19.2 kW AC
Inverter pack		Number of Inverter	5 units	Total Power 96.0 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>				
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W /m <sup>2</sup> K	Uv (wind) 0.0 W /m <sup>2</sup> K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W /m <sup>2</sup> , Tamb=20°C, W ind=1 m/s.)				NOCT 56 °C
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	254 mOhm	Loss Fraction 5.2 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction 1.5 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter 0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)			

Πίνακας 3.5: Περιγραφή συστήματος 100kWp μέσω λογισμικού PVSyst – Πλατύκαμπος Λάρισα

### Grid-Connected System: Main results

Project :

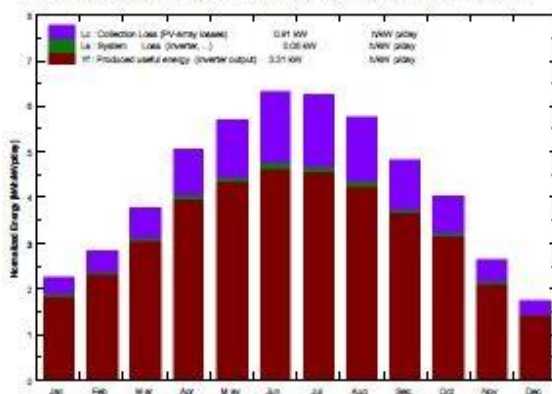
Simulation variant :

<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	28°	azimuth	0°
PV modules	Model	JC245M-24/Bb (Virtus)	Pnom	245 W p
PV Array	Nb. of modules	414	Pnom total	101 kW p
Inverter	Model	RefuSol 20K	Pnom	19.20 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	5.0	Pnom total	96.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

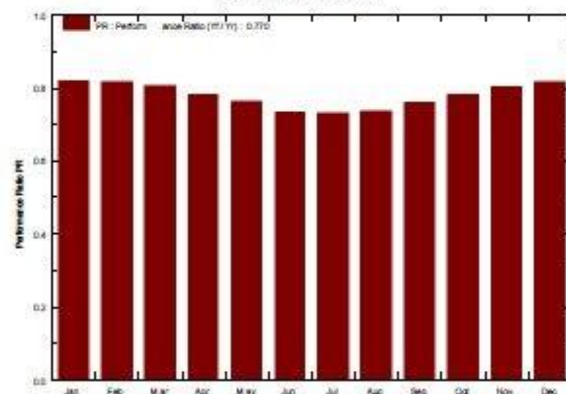
### Main simulation results

System Production	Produced Energy	122414 kW h/year	Specific prod.	1207 kW h/kW p/year
	Performance Ratio PR	77.0 %		

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 101 kWp



Performance Ratio PR



xrisopoulos virtus suntech pluto 245 sma

### Balances and main results

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	50.2	6.20	70.4	68.2	6028	5879	12.71	12.39
February	63.3	7.30	79.9	77.5	6819	6657	12.66	12.36
March	102.6	9.80	117.4	113.8	9859	9640	12.47	12.19
April	144.9	13.60	152.6	147.8	12421	12144	12.08	11.81
May	180.4	19.20	177.0	171.3	14066	13763	11.80	11.54
June	201.3	24.00	190.3	184.0	14509	14186	11.32	11.07
July	203.4	26.00	194.8	188.5	14774	14452	11.26	11.02
August	174.2	25.60	179.2	173.8	13706	13412	11.36	11.11
September	127.8	21.30	145.3	141.1	11495	11247	11.75	11.50
October	97.6	16.80	125.5	121.9	10209	9988	12.07	11.81
November	57.6	11.50	79.5	77.1	6669	6507	12.45	12.15
December	40.0	7.50	54.5	52.7	4667	4540	12.72	12.37
Year	1443.4	15.78	1566.5	1517.5	125222	122414	11.87	11.60

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effc. Eout array / rough area
	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effc. Eout system / rough area

Πίνακας 3.6 : Μηνιαίες αποδόσεις συστήματος 100kWp μέσω προγράμματος Pvsyst

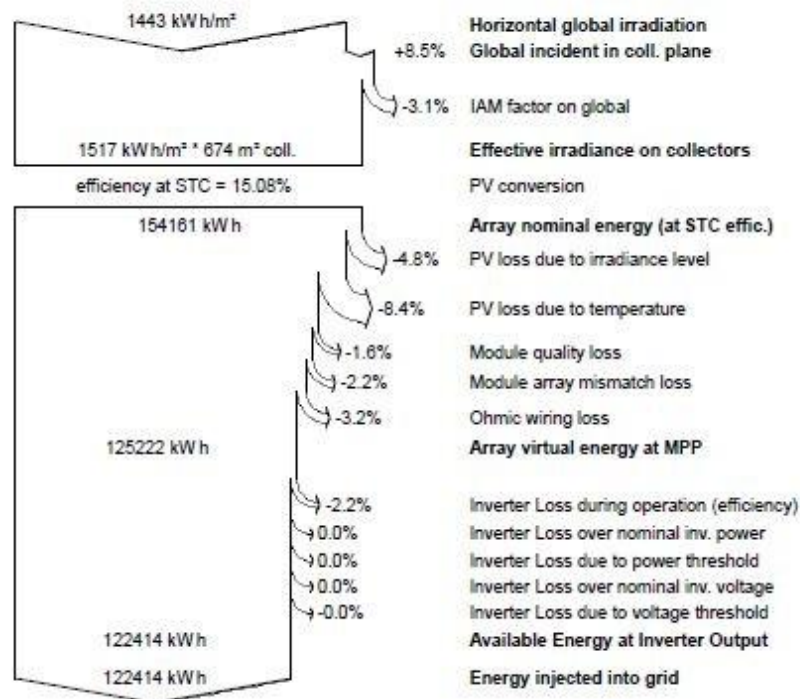
### Grid-Connected System: Loss diagram

Project :

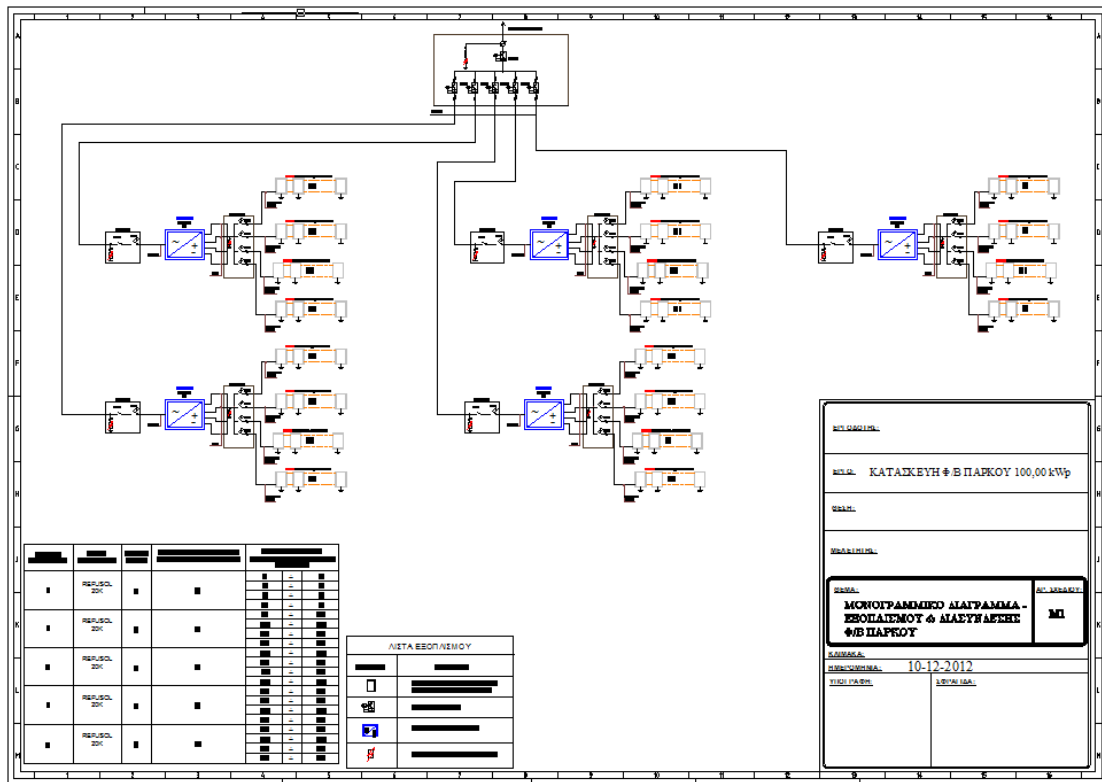
Simulation variant :

<b>Main system parameters</b>	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	28°	azimuth	0°
PV modules	Model	JC245M-24/Bb (Virtus)	Pnom	245 W p
PV Array	Nb. of modules	414	Pnom total	101 kW p
Inverter	Model	RefuSol 20K	Pnom	19.20 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	5.0	Pnom total	96.0 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

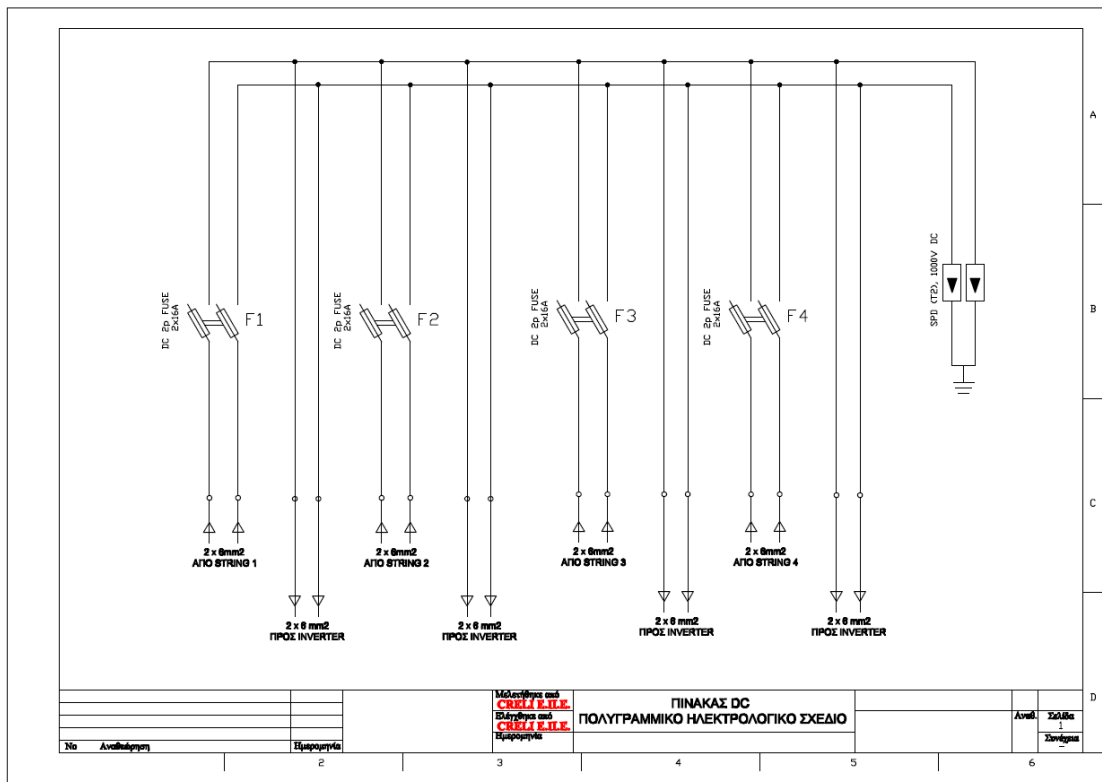
#### Loss diagram over the whole year



Διάγραμμα 3.5: Απώλειες συστήματος 100kWp μέσω προγράμματος Pvsyst

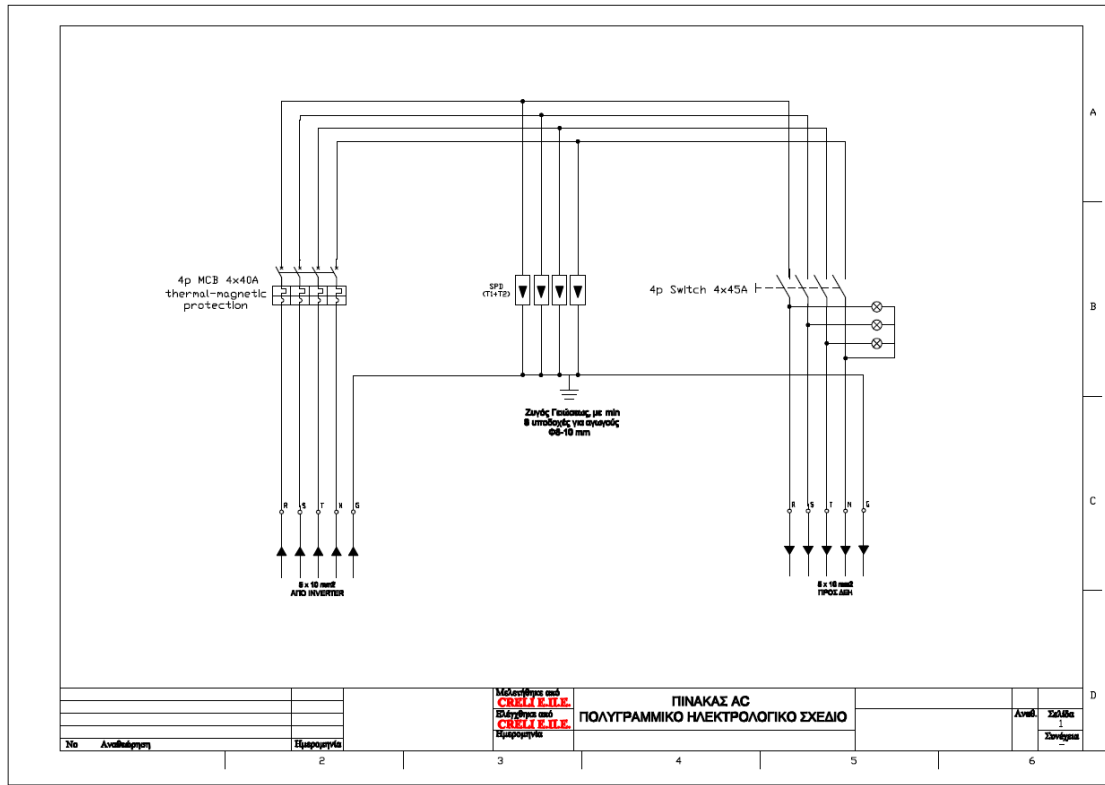


Σχήμα 3.11: Μονογραμμικό σχέδιο φ/β εγκατάστασης δυναμικότητας 100kWp

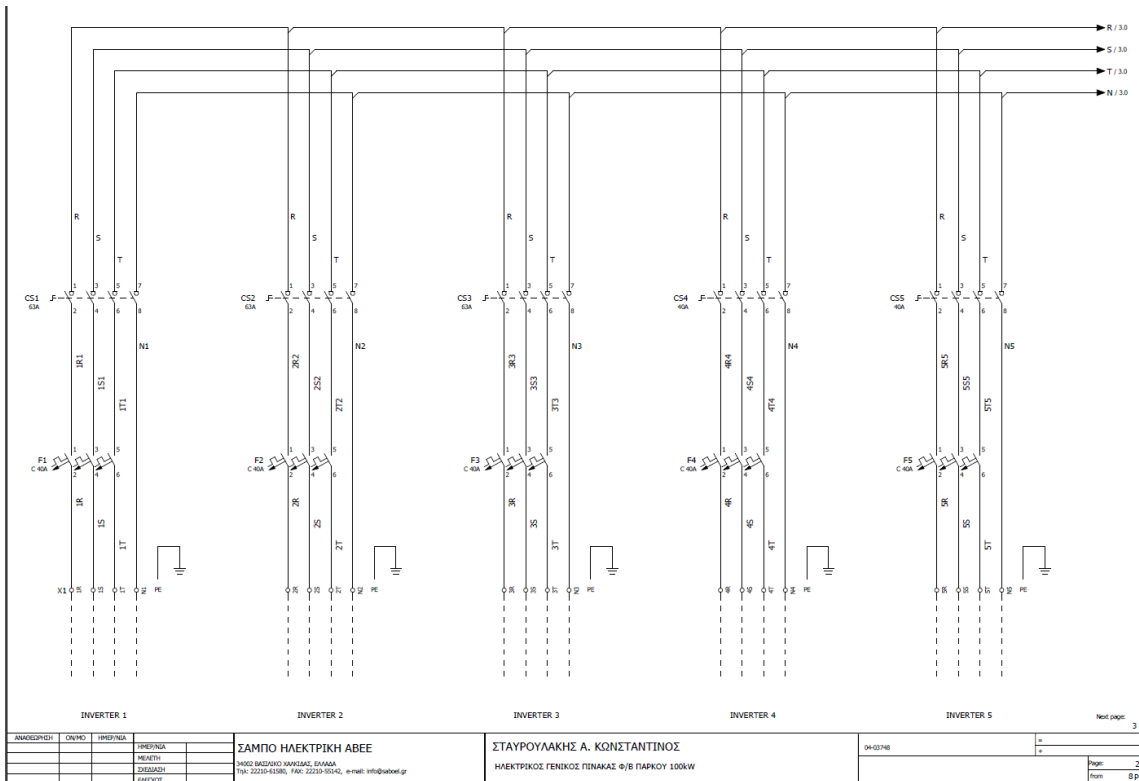


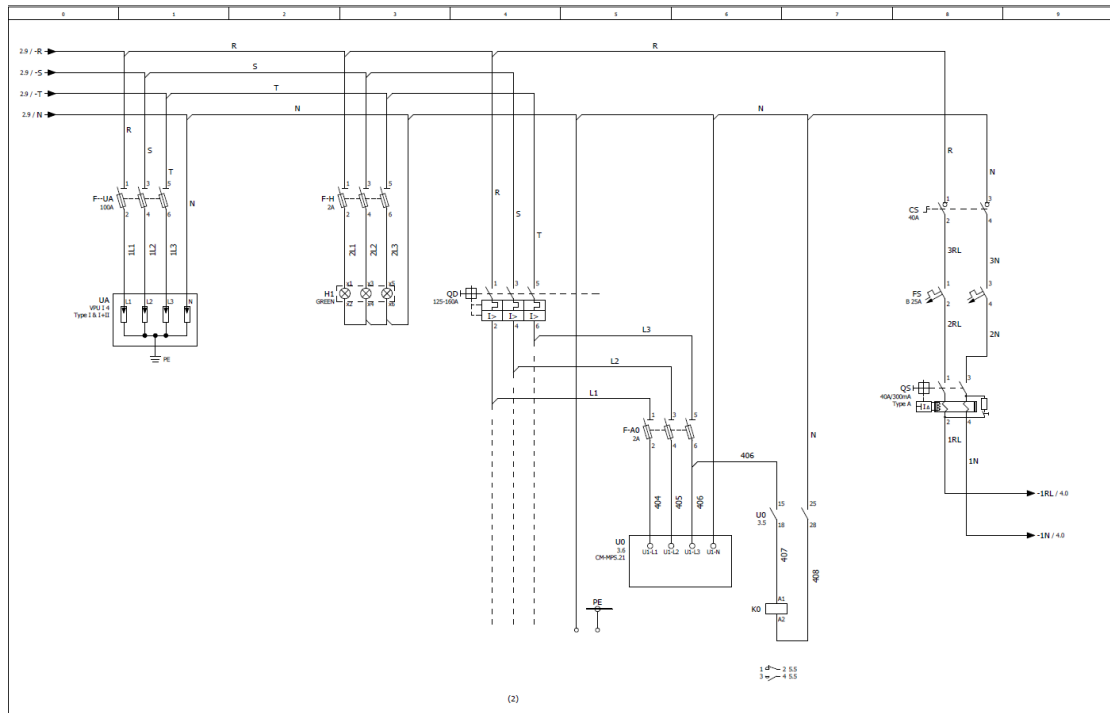
Σχήμα 3.12: Πολυγραμμικό σχέδιο πίνακα DC τεσσάρων στοιχειοσειρών



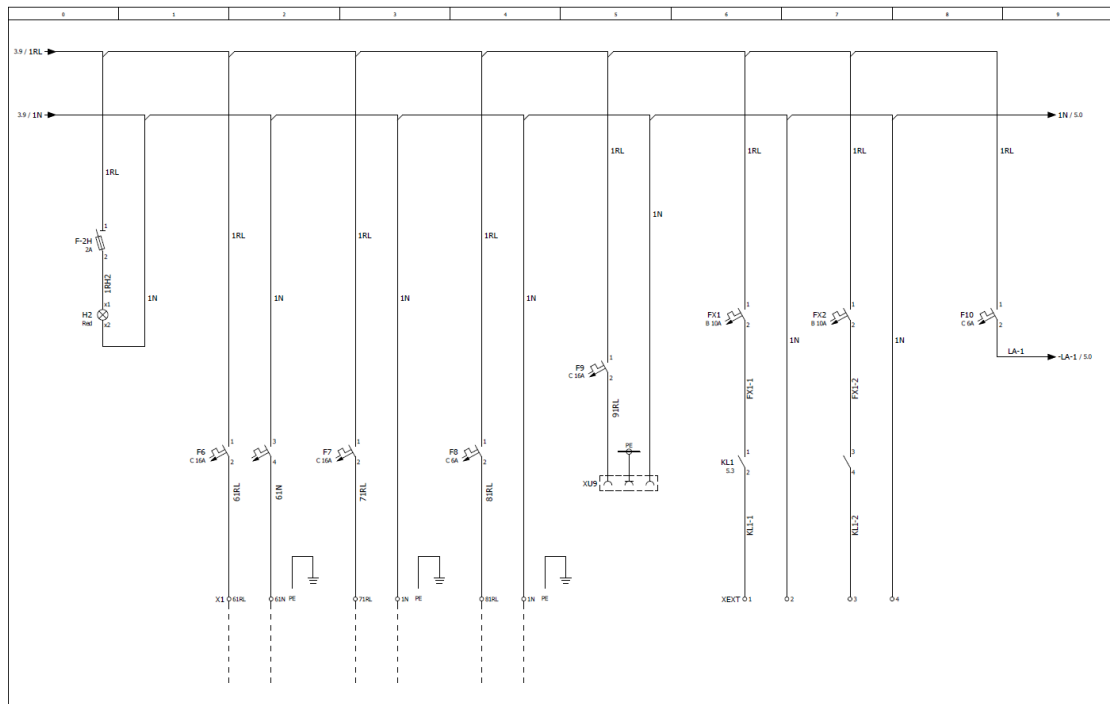


Σχίμα 3.13: Μονογραμμικό σχέδιο υποπίνακα AC inverter Nx

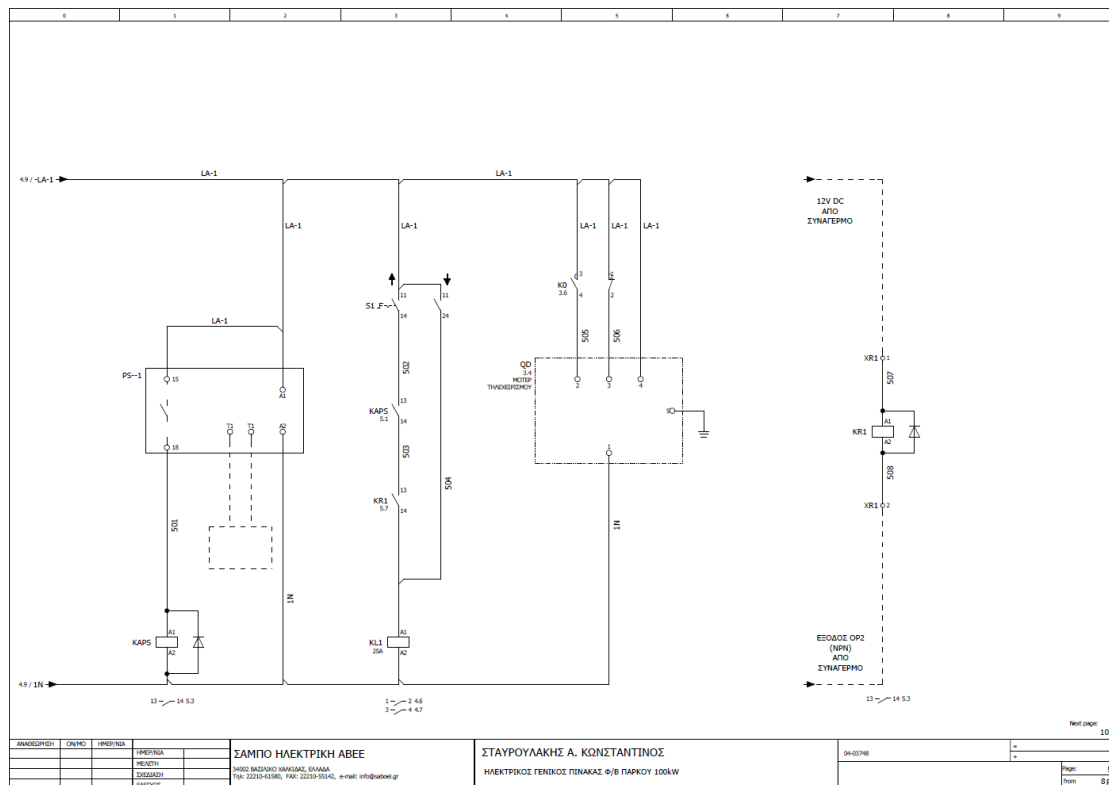




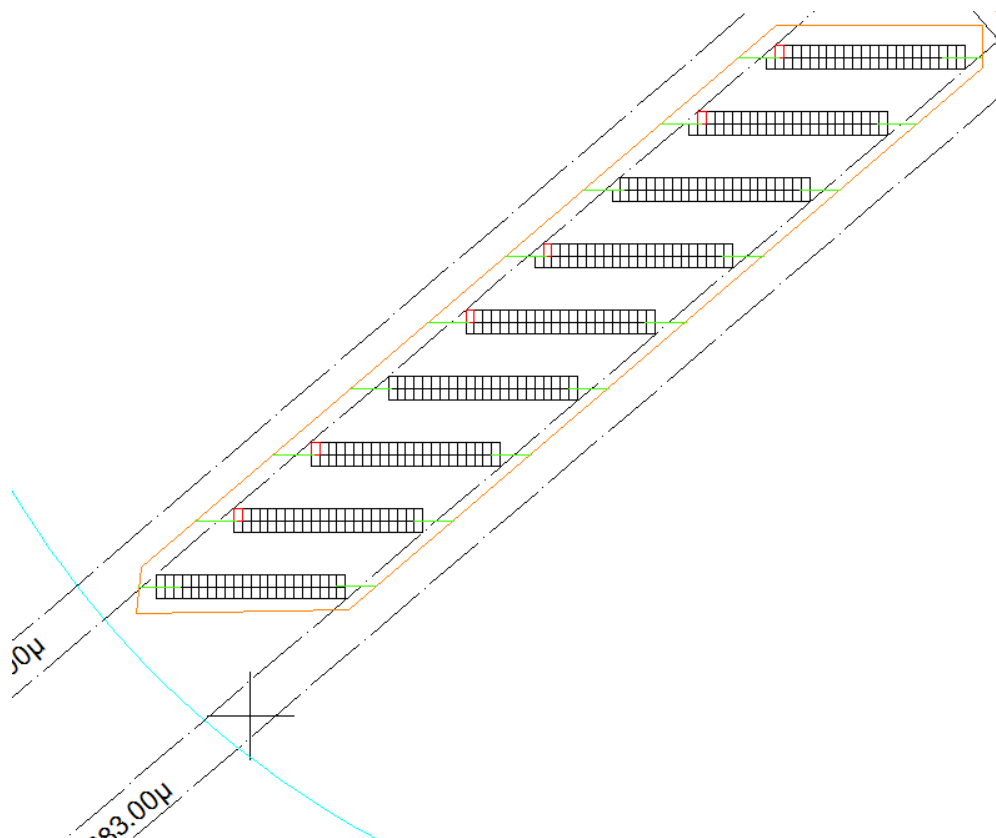
ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ	ΩΝΥΜΟ	ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ	ΣΑΜΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΒΕΕ	ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	04-02748	4
		ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ	ΗΡΩΣ ΒΑΣΙΛΕΥΣ ΚΑΚΙΩΤΑΣ ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ 0/0 ΠΑΡΚΟΥ 100KW		3
		ΕΚΤΕΛΕΣΗ	ΤΗΛ: 22210-61380, FAX: 22210-95142, e-mail: info@sabee.gr			8 p.p.



ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ	ΩΝΥΜΟ	ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ	ΣΑΜΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΒΕΕ	ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗΣ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	04-02748	5
		ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ	ΗΡΩΣ ΒΑΣΙΛΕΥΣ ΚΑΚΙΩΤΑΣ ΕΠΙΜΟΡΦΩΣΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ 0/0 ΠΑΡΚΟΥ 100KW		4
		ΕΚΤΕΛΕΣΗ	ΤΗΛ: 22210-61380, FAX: 22210-95142, e-mail: info@sabee.gr			8 p.p.



Σχήμα 3.14 :Πολυγραμμικό σχέδιο κεντρικού πίνακα AC



Σχήμα 3.15 :Σύστημα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας με αγωγό γείωσης περιμετρικά και ακίδες τύπου Franklin επί των βάσεων

Στις φωτογραφίες που ακολουθούν απεικονίζεται η φ/β μονάδα μετά την κατασκευή.



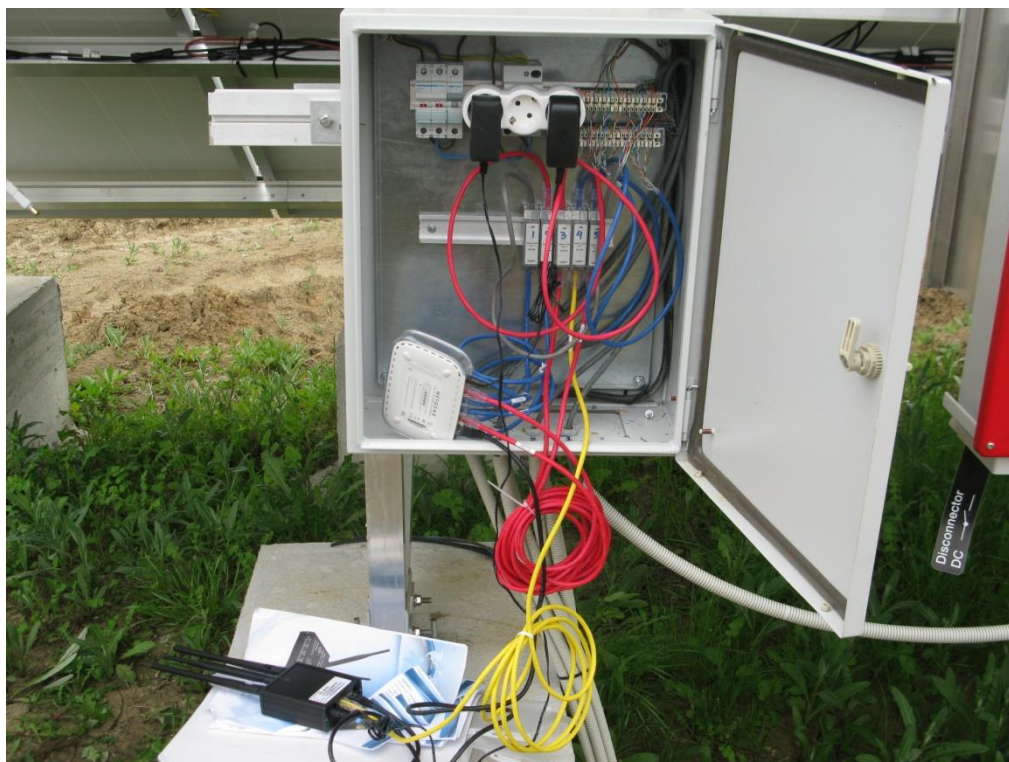
Φωτογραφία 3.8: Άποψη των Φ/Β βάσεων με τις ακίδες τύπου Franklin εγκατεστημένες



Φωτογραφία 3.9: Διάταξη πίνακα DC – inverter – πίνακα AC (από αριστερά προς τα δεξιά)



Φωτογραφία 3.10: Κεντρικός πίνακας AC δεξιά πίνακας συναγερμού και καμερών



Φωτογραφία 3.11: Πίνακας τηλεμετρίας 3G/4G φ/β εγκατάστασης με αντικεραυνική προστασία



Φωτογραφία 3.12: Άποψη της περίφραξης τύπου ΝΑΤΟ και του συστήματος ασφαλείας



Φωτογραφία 3.13: Το φ/β σύστημα εν λειτουργία

# Κεφάλαιο 4

## **4 Φ/Β εγκαταστάσεις. Maintenance free systems?**

Οι Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις συχνά ακούγεται ότι είναι maintenance free systems, δηλαδή, εγκαταστάσεις οι οποίες δεν απαιτούν συντήρηση.

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι εγκαταστάσεις οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, όπως είναι η έκθεση σε μεγάλες θερμοκρασίες, UV ακτινοβολία, υγρασία, όξινη βροχή, στο οξειδωτικό περιβάλλον της θάλασσας, σκόνη κλπ. Η έκθεση σε αυτές τις συνθήκες είναι αρκετά επιβαρυντική για τη διάρκεια ζωής των υλικών.

Πέραν των αντίξοων συνθηκών περιβάλλοντος οι οποίες επιβαρύνουν τα υλικά και τα εξαρτήματα της εγκατάστασης, υπάρχουν αρκετά προβλήματα τα οποία οφείλονται συνήθως σε αστοχία υλικών - εξαρτημάτων (πάνελ, inverter, πινάκων κλπ), λάθη σχεδίασης, κακή επιλογή υλικών, λάθη στην υλοποίηση και κατασκευή των εγκαταστάσεων. Άλλα είδη σφαλμάτων είναι εκείνα τα οποία τα αίτια τους μπορεί να οφείλονται στα φυσικά φαινόμενα, σε λάθος χειρισμούς ή κακόβουλες ενέργειες, τα οποία οδηγούν σε βλάβες, στην μείωση της απόδοσης ή και σε ατυχήματα.

Η απαίτηση σε συντήρηση των συστημάτων αυτών είναι μικρή (κυρίως αυτών με σταθερές βάσεις) αλλά είναι υπαρκτή και πρέπει να πραγματοποιείται σε αραιά αλλά τακτά χρονικά διαστήματα. Είναι επιτακτική η παρακολούθηση της λειτουργίας και απόδοσης τους, για τον έγκαιρο εντοπισμό των βλαβών ή τη μείωση της απόδοσης τους, με σκοπό την άμεση αποκατάσταση της καλής λειτουργίας τους.

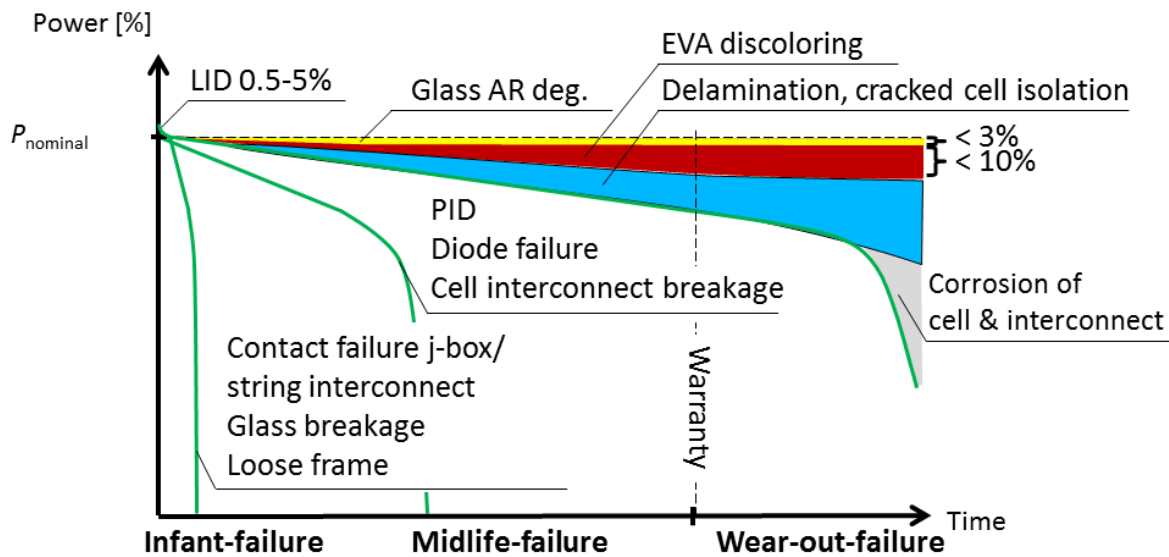
### **4.1 Προβλήματα που παρουσιάζονται σε φ/β εγκαταστάσεις. Συνήθη προβλήματα φ/β πλαισίων, αντιστροφών – inverters, πινάκων και λοιπών εξαρτημάτων**

#### **Συνήθη προβλήματα που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια**

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να εμφανίσουν διάφορα προβλήματα. Αναφορά [16] σχετικά με τα προβλήματα τα οποία εμφάνισαν φ/β πλαίσια με την οποία εξετάστηκαν περισσότερα από 3 εκατομμύρια πλαίσια, είκοσι διαφορετικών κατασκευαστών, έδειξε ότι το 0,44% των πλαισίων επιστράφηκε εντός 5ετίας. Από αυτά, το 66% αυτών επιστράφηκε λόγω προβλημάτων στις συνδέσεις εντός του πάνελ (κομμένοι ταινιόδρομοι και κακές κολλήσεις). Η δεύτερη αιτία με ποσοστό 20% των πάνελ που επιστράφηκαν σχετίζονται με προβλήματα της οπίσθιας επικάλυψης ή της ενθυλάκωσης (π.χ. αποκόλληση κυψέλης) [16]. Σημειώνεται ότι το μεγάλο ποσοστό επιστροφών σχετίζεται με προβλήματα τα οποία έχουν εντοπιστεί οπτικά. Συνεπώς, η συγκεκριμένη μελέτη μπορεί να μην έχει εντοπίσει υπαρκτά προβλήματα τα οποία υπάρχουν στα πλαίσια και τα οποία είναι δύσκολο έως αδύνατο να εντοπιστούν οπτικά. [17] Όπως θα δούμε και στην συνέχεια υπάρχουν προβλήματα στα πλαίσια τα οποία δεν μπορούν να εντοπιστούν οπτικά παρά μόνο με συγκεκριμένες μετρήσεις. π.χ. με την δοκιμή καμπύλης I-V. Για τον λόγο αυτό επιφυλασσόμαστε με τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής και τα ποσοστά

που παρουσιάζει, καθώς τα προβληματικά πλαίσια τα οποία θα έπρεπε να επιστραφούν ενδέχεται να είναι αρκετά περισσότερα.

Στο σχήμα 4.1 φαίνονται τρία τυπικά προβλήματα που εμφανίζονται στα φ/β πλαίσια κατά την διάρκεια της ζωής τους.



Σχήμα 4.1: Τρία τυπικά προβλήματα φωτοβολταϊκών πλαισίων (κατασκευής με κυψέλες).

LID – light induced degradation, PID – potential induced degradation, EVA – ethylene vinyl acetate, j-box – junction box [17].

#### Τα προβλήματα τα οποία εμφανίζουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι τα εξής[17]:

- Ηλεκτροχημική διάβρωση και αποχρωματισμός.
- Hot Spots.
- PID.
- Αποκόλληση κυψέλης από την προστατευτική μεμβράνη και θάμβωση.
- Τριχοειδή και ρηγματώσεις.
- Τοπικά καψίματα και αποκόλληση οπίσθιας προστατευτικής επιφάνειας των κυψελών.
- Τοπικοί σπινθηρισμοί λόγω προβληματικών κολλήσεων.
- Χαλασμένοι ακροδέκτες σύνδεσης.
- Κομμένοι ταινιόδρομοι και ηλεκτρικές ασυνέχειες.
- Κακές κολλήσεις εντός του πλαισίου και οξειδώσεις στις συνδέσεις.
- Κατεστραμμένες δίοδοι by-pass.
- Προβλήματα ακροδεκτών και junction box.
- Αποκόλληση, κιτρίνισμα οπίσθιας μεμβράνης προστασίας.
- Προβλήματα ενθυλάκωσης.
- Οξείδωση μεταλλικού πλαισίου.

Τα προβλήματα τα οποία αναφέρθηκαν είναι κάποια από τα οποία έχουν εντοπιστεί μέχρι στιγμής σε πλαίσια διαφορετικών κατασκευαστών. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι λόγω των αλλαγών στις κατασκευαστικές τεχνικές και των υλικών που χρησιμοποιούνται σήμερα κατά την παραγωγή των πλαισίων, κάποια από τα προβλήματα τα οποία αναφέρθηκαν ενδέχεται να μην εμφανιστούν στο μέλλον, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό.



Αντίστοιχα για τον ίδιο ακριβώς λόγο ενδέχεται να εμφανιστούν νέα προβλήματα, λόγω των νέων πρακτικών στην κατασκευή ή στα υλικά κατασκευής των πλαισίων. Ως παράδειγμα αναφέρεται το φαινόμενο PID το οποίο μέχρι και πριν από μερικά χρόνια δεν ήταν γνωστό.

### **Συνήθη προβλήματα που παρουσιάζουν οι αντιστροφείς - inverters**

- Προβλήματα στο κύκλωμα ισχύος.
- Προβλήματα στο τμήμα ελέγχου.
- Προβλήματα στην κάρτα επικοινωνίας.
- Πρόβλημα στο τμήμα ψύξης.
- Προβλήματα στο λογισμικό.
- Προβλήματα σε οθόνες, ακροδέκτες κλπ.
- Προβλήματα οξειδώσεων σε βίδες, επαφές και συνδέσμους.

### **Συνήθη προβλήματα που παρουσιάζουν οι βάσεις στήριξης**

Σε περιπτώσεις όπου οι βάσεις είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο είναι σύνηθες να οξειδώνονται. Αυτό είναι σύνηθες όταν το σημείο τοποθέτησης είναι κοντά στην θάλασσα αν το αλουμίνιο δεν είναι ανοδιωμένο. Σε αυτή την περίπτωση οι οξειδώσεις είναι έντονες. Αντίστοιχες οξειδώσεις έχουμε και στα εξαρτήματα συγκράτησης των πλαισίων σε περίπτωση όπου αυτά είναι από αλουμίνιο ή από γαλβανισμένο χάλυβα.

Σε συνδυασμό με τις αυξομειώσεις των θερμοκρασιών, και την επίδραση των ανεμοπιέσεων οι συνδέσεις χαλαρώνουν και η δύναμη συγκράτησης των πλαισίων μπορεί να μην είναι πλέον ικανή να τα συγκρατούν.

### **Συνήθη προβλήματα πινάκων, καλωδιώσεων και λοιπών εξαρτημάτων**

- Οξειδώσεις και πολυμερισμός πλαστικού στους πίνακες.
- Τοπικές υπερθερμάνσεις και τήξη καλωδιώσεων λόγω χαλαρών συσφίξεων.
- Πρόωρη γήρανση καλωδιώσεων λόγω UV ακτινοβολίας.
- Προβλήματα μονώσεων καλωδίων λόγω τρωκτικών.
- Λάθη σε καλωδιώσεις πινάκων και επιλογής υλικών.
- Λάθος επιλογή σωληνώσεων για προστασία καλωδιώσεων έναντι καιρικών συνθηκών, και μηχανικών καταπονήσεων.

Όπως παρουσιάστηκε, υπάρχουν αρκετά σημεία στα οποία ένα φ/β σύστημα μπορεί να παρουσιάσει πρόβλημα λειτουργίας ή απόδοσης. Με στόχο την αποτροπή εμφάνισης αυτών των προβλημάτων ή τον εντοπισμό αυτών όταν έχουν εκδηλωθεί, στο επόμενο κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστούν οι έλεγχοι οι οποίοι μπορούν να πραγματοποιηθούν για τον σκοπό αυτό. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστεί το πρότυπο IEC 62446-1:2018 [18].

# Κεφάλαιο 5

## 5 Έλεγχοι διασυνδεδεμένων Φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων

### Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4 οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να εμφανίσουν προβλήματα κατά την διάρκεια ζωής τους. Συνεπώς υπάρχει η ανάγκη διενέργειας ελέγχων με σκοπό την διαπίστωση της κατάστασης της εγκατάστασης. Μονάδες οι οποίες δεν έχουν ελεγχθεί κατά την φάση της κατασκευής ή θέσης σε λειτουργία, είναι επιθυμητό να πραγματοποιηθεί και ένας έλεγχος ορθής σχεδίασης και κατασκευής. Συγκεκριμένα οι έλεγχοι οι οποίοι θα πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι οι εξής::

- Έλεγχος ορθής σχεδίασης.
- Έλεγχος ορθής κατασκευής.
- Έλεγχος καλής λειτουργίας.
- Έλεγχος της κατάστασης της μονάδας για τη συντήρηση και πρόληψη βλαβών.
- Έλεγχος για αποτύπωση της κατάστασης την μονάδας π.χ. με σκοπό την πώληση της.
- Εύρεση βλαβών.
- Έλεγχος απόδοσης.

Για να μπορεί η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να ελεγχθεί είναι σημαντικό να είναι διαθέσιμος ο “φάκελος” της μονάδας, ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες όσον αφορά στη σχεδίαση, στην κατασκευή και στη συντήρηση της μονάδος. Ο φάκελος αυτός κατά την άποψη μας πρέπει να δημιουργηθεί από τον μελετητή - κατασκευαστή της μονάδας και να εμπλουτίζεται με τις όποιες αλλαγές υπάρξουν στην πορεία ζωής της εγκατάστασης από τον υπεύθυνο της εγκατάστασης (ιδιοκτήτη, μηχανικό, τεχνικό κλπ). Ο φάκελος είναι εξαιρετικά σημαντικό να υπάρχει. Οι λόγοι είναι οι εξής:

- Αλλαγή στο ιδιοκτησιακό καθεστώς της μονάδας ή του ακινήτου. Οι νέοι ιδιοκτήτες θα πρέπει να έχουν πρόσβαση σε όλη την πληροφορία και το ιστορικό της μονάδας.
- Εργασίες επέκτασης ή συντήρησης του κτηρίου (π.χ. στέγη) στο σημείο όπου είναι εγκατεστημένη η Φ/Β μονάδα. Οι νέες εργασίες είναι πιθανόν να απαιτήσουν πρόσβαση των μηχανικών στον φάκελο κατασκευής της μονάδας. Οι όποιες αλλαγές θα πρέπει να καταγράφονται στον φάκελο της εγκατάστασης αλλά και ιστορικό βλαβών, έτσι ώστε να υπάρχει πλήρη ιχνηλασιμότητα και πλήρες ιστορικό της Φ/Β μονάδος.
- Ο μελετητής – κατασκευαστής της Φ/Β μονάδας είναι πολύ πιθανόν να μην είναι ίδιος με τον συντηρητή – υπεύθυνο λειτουργίας αυτής. Και οι δύο μπορεί να μην παραμείνουν οι ίδιοι κατά την διάρκεια ζωής της μονάδας. Συνεπώς οι αντικαταστάτες τους θα πρέπει να ενημερωθούν για το ιστορικό της μονάδας.

- Υπάρχει ανάγκη για καταγραφή του ιστορικού όσον αφορά τους ελέγχους και τις δοκιμές που πραγματοποιούνται στην Φ/Β μονάδα για την παρακολούθηση των μετρήσεων στην πάροδο των ετών.

Πέραν της ανάγκης για δημιουργία φακέλου εγκατάστασης που θα περιλαμβάνει τη διενέργεια των ελέγχων που προαναφέρθηκαν, προηγουμένως υπάρχει, επίσης, η ανάγκη για μια σειρά ελέγχων οι οποίοι θα είναι αναγνωρισμένοι για τη χρησιμότητα τους και θα αποτελούν σημείο αναφοράς για τις εγκαταστάσεις του είδους. Επιπλέον, θα είναι αναγνωρισμένοι από τους κατασκευαστές των εξαρτημάτων και υλικών, αλλά και θα βοηθούν έμπρακτα το τεχνικό τμήμα που ασχολείται με την κατασκευή και υποστήριξη αυτών των μονάδων στον έλεγχο, συντήρηση και υποστήριξη τους γενικότερα.

Την ανάγκη αυτήν την καλύπτει το πρότυπο IEC 62446-1:2016 το οποίο περιέχει αναλυτικές οδηγίες όσον αφορά τις απαιτήσεις για ορθή τεκμηρίωση, ελέγχους και δοκιμές των διασυνδεδεμένων φ/β εγκαταστάσεων.

Επιπλέον, το πρότυπο μέσω της εφαρμογής του αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την συντήρηση και εύρεση βλαβών των μονάδων, αλλά και τον έλεγχο της απόδοσης τους.

## 5.1 Παρουσίαση του προτύπου IEC 62446-1:2016

### Γενικά

Σε αυτό το τμήμα θα παρουσιαστεί το πρότυπο IEC 62446-1:2016 [18] του οποίου η πρωτότυπη έκδοση είναι στην Αγγλική γλώσσα. Κατά την παρουσίαση δεν πραγματοποιείται ακριβής μετάφραση του κειμένου μιας και ο σκοπός είναι η χρήση του ως σημείο αναφοράς για τους ελέγχους των φωτοβολταϊκών μονάδων που πραγματοποιήθηκαν και παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6. Η δομή του προτύπου παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1.

1 <sup>ο</sup> Μέρος	2 <sup>ο</sup> Μέρος	
Τεκμηρίωση	Επιθεώρηση	Δοκιμές
		1 <sup>η</sup> κατηγορία δοκιμών
		2 <sup>η</sup> κατηγορία δοκιμών
		Πρόσθετες δοκιμές

Πίνακας 5.1: Δομή του προτύπου IEC 62446-1:2016.

**Το πρότυπο IEC 62446-1:2016 αποτελείται από δύο μέρη.**

**1<sup>ο</sup> μέρος : Απαιτήσεις τεκμηρίωσης του συστήματος.** Αυτό το τμήμα παραθέτει όλες τις πληροφορίες τις οποίες πρέπει να περιέχει η τεκμηρίωση – φάκελος εγγράφων, τα οποία θα πρέπει να παραδοθούν στον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης, ακολούθως της εγκατάστασης και θέσης σε λειτουργία της Φ/Β μονάδας.

**2<sup>ο</sup> μέρος : Εξακρίβωση.** Αυτό το τμήμα παρέχει όλες εκείνες τις πληροφορίες που αναμένετε να εξαχθούν μετά την αρχική (ή περιοδική) εξακρίβωση του εγκατεστημένου

συστήματος. Περιλαμβάνει τις απαιτήσεις για την επιθεώρηση και τον έλεγχο. Το τμήμα αυτό διαιρείται με την σειρά του σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά την επιθεώρηση του συστήματος και το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τις δοκιμές που πρέπει να λάβουν μέρος για του φ/β συστήματος.

### **5.1.1 Μέρος Πρώτο – Τεκμηρίωση**

Το Πρώτο μέρος, όπως αναφέρθηκε, περιλαμβάνει όλες εκείνες τις πληροφορίες και την ελάχιστη τεκμηρίωση που πρέπει να παραδοθεί στον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης. Επιπλέον περιγράφει αναλυτικά τους ελέγχους που πρέπει να διεξαχθούν κατά τη φάση της ενεργοποίησης, καθώς επίσης τα κριτήρια και την τεκμηρίωση, που απαιτείται για να βεβαιωθεί η ασφαλής εγκατάσταση και ορθή λειτουργία του συστήματος. Αυτό το τμήμα μπορεί να αποτελέσει τη βάση για περιοδικούς επανελέγχους και πρέπει να είναι διαθέσιμο στους επιθεωρητές και στον μηχανικό συντήρησης της μονάδας.

Το τμήμα αυτό μπορεί να αποτελέσει για τον μελετητή και εγκαταστάτη ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος το πρότυπο για την σωστή δημιουργία της απαραίτητης τεκμηρίωσης της εγκατάστασης προς τον πελάτη.

Με την αναλυτική περιγραφή των ελέγχων που πρέπει να διεξαχθούν και τα κριτήρια για την επιτυχή επιθεώρηση, το πρότυπο έχει επίσης ως σκοπό να βοηθήσει στον περιοδικό επανέλεγχο, συντήρηση, επέκταση κλπ της μονάδος.

Αναλόγως μεγέθους και πολυπλοκότητας της φωτοβολταϊκής μονάδας έχουμε διαφορετικούς ελέγχους που πρέπει να υλοποιηθούν και οι οποίοι θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.

### **5.1.2 Στοιχεία του συστήματος**

#### **Βασικές πληροφορίες του συστήματος**

Στην τεκμηρίωση θα πρέπει να περιλαμβάνονται ως ελάχιστο οι ακόλουθες βασικές πληροφορίες του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές αποτελούν την ταυτότητα της εγκατάστασης. Τυπικά θα πρέπει να παρουσιάζονται στην πρώτη σελίδα του φακέλου της εγκατάστασης.

1. Αριθμός αναφοράς έργου.
2. Εγκατεστημένη ισχύ kW σε DC ή kVA σε AC.
3. Φωτοβολταϊκά πλαίσια και Inverter – κατασκευαστής, μοντέλο και ποσότητες.
4. Ημερομηνία εγκατάστασης.
5. Ημερομηνία έναρξης λειτουργίας.
6. Ονοματεπώνυμο ιδιοκτήτη.
7. Διεύθυνση-σημείο εγκατάστασης.

#### **Στοιχεία του μελετητή**

Στις βασικές πληροφορίες του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνονται και τα στοιχεία που αφορούν τον μελετητή της εγκατάστασης. Εφόσον περισσότερες της μίας εταιρείας ήταν υπεύθυνη για τον σχεδιασμό του συστήματος, οι πληροφορίες θα πρέπει να αφορούν όλες τις

εταιρείες και να περιγράφονται αναλυτικά οι ρόλοι τους στον σχεδιασμό και ποιο μελετητικό μέρος του έργου είχαν αναλάβει. Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

1. Μελετητής, Εταιρεία.
2. Μελετητής, Όνομα υπεύθυνου.
3. Μελετητής, Διεύθυνση, τηλεφωνικός αριθμός και e-mail.

### **Στοιχεία κατασκευαστή**

Στις βασικές πληροφορίες του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνονται και τα στοιχεία που αφορούν τον κατασκευαστή της εγκατάστασης. Εφόσον περισσότερες της μίας εταιρείας ήταν υπεύθυνη για την κατασκευή, οι πληροφορίες θα πρέπει να αφορούν όλες τις εταιρείες και να περιγράφονται αναλυτικά οι ρόλοι τους στην κατασκευή και ποιο κατασκευαστικό μέρος του έργου είχαν αναλάβει. Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής:

1. Κατασκευαστής, Εταιρεία.
2. Κατασκευαστής, Όνομα υπεύθυνου.
3. Κατασκευαστής, Διεύθυνση, τηλεφωνικός αριθμός και e-mail.

### **5.1.3 Μονογραμμικό σχέδιο καλωδίωσης**

#### **Γενικά**

Εντός της τεκμηρίωσης θα πρέπει να περιλαμβάνεται το μονογραμμικό διάγραμμα καλωδίωσης. Στο διάγραμμα αυτό θα πρέπει να σημειώνονται οι πληροφορίες αναφέρονται στην συνέχεια, με την μορφή σημειώσεων. Σε περιπτώσεις όπου η εγκατάσταση είναι μεγάλου μεγέθους και ο διαθέσιμος χώρος επί του σχεδίου είναι περιορισμένος, οι πληροφορίες αυτές μπορούν να παρουσιαστούν σε μορφή πίνακα.

#### **Φωτοβολταϊκή συστοιχία – Γενικές προδιαγραφές**

Το μονογραμμικό διάγραμμα ή οι προδιαγραφές του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες της φωτοβολταϊκής γεννήτριας:

1. Τύπος των πλαισίων.
2. Συνολικός αριθμός των πλαισίων.
3. Πλήθος των στοιχειοσειρών.
4. Πλήθος πάνελ ανά στοιχειοσειρά.
5. Αντιστοίχιση στοιχειοσειρών με αντιστροφέα. Συγκεκριμένα πρέπει να υπάρχει αρίθμηση κάθε στοιχειοσειράς και αντίστοιχα αρίθμηση για κάθε αντιστροφέα – inverter.

Όπου η συστοιχία των πάνελ, είναι διαιρεμένη σε υποομάδες, το μονογραμμικό διάγραμμα θα πρέπει να εμφανίζει τις ομάδες και τις υποομάδες περιλαμβάνοντας αντίστοιχα και τις πληροφορίες που αναφέρθηκαν, για κάθε υποομάδα.

### **Πληροφορίες σχετικά με τις στοιχειοσειρές των πάνελ**

Το μονογραμμικό διάγραμμα ή οι προδιαγραφές του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες των στοιχειοσειρών των πάνελ:

1. Προδιαγραφές του καλωδίου των στοιχειοσειρών, μέγεθος και τύπος.
2. Προδιαγραφές των διατάξεων έναντι υπερέντασης όπου αυτές έχουν εγκατασταθεί – τύπος και ονομαστική τιμή τάσης και έντασης.
3. Τύπος διόδου αποκοπής (εφόσον είναι εγκατεστημένος).

### **Πληροφορίες ηλεκτρικών στοιχείων συστοιχίας**

Το μονογραμμικό διάγραμμα ή οι προδιαγραφές του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με τα ηλεκτρικά στοιχεία-εξαρτήματα, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στην φωτοβολταϊκή συστοιχία - γεννήτρια (εφόσον αυτά είναι εγκατεστημένα):

1. Τεχνικές προδιαγραφές του κυρίως καλωδίου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας – Μέγεθος και τύπος.
2. Πίνακες διακλαδώσεως συστοιχιών / συνδέσεων και σημεία εγκατάστασης αυτών.
3. Διακόπτες απομονώσεως DC, σημείο τοποθέτησης αυτών και ονομαστική τιμή (τάση και ρεύμα).
4. Άλλες προστατευτικές ηλεκτρονικές διατάξεις που έχουν χρησιμοποιηθεί (όπως για την ανίχνευση βραχυκυκλώματος), εφόσον έχουν εγκατασταθεί - τον τύπο , το σημείο τοποθέτησης και την ονομαστική τους τιμή.

### **Σύστημα AC**

Το μονογραμμικό διάγραμμα ή οι προδιαγραφές του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με το κύκλωμα AC.

1. Σημείο εγκατάστασης διακόπτη απομόνωσης AC, τύπος και προδιαγραφές, κλάση.
2. Σημείο εγκατάστασης διάταξης προστασίας από υπερένταση AC, τύπος και προδιαγραφές, κλάση.
3. Σημείο εγκατάστασης διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος, τύπος και προδιαγραφές (όπου είναι εγκατεστημένος).

## **Σύστημα γείωσης και προστασίας από υπέρταση**

Το μονογραμμικό διάγραμμα ή οι προδιαγραφές του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες σχετικά με το σύστημα γείωσης και τις διατάξεις προστασίας από υπέρταση.

1. Πληροφορίες όλως των στοιχείων που αποτελούν το σύστημα γείωσης, όπως αγωγοί, συνδετήρες, ηλεκτρόδια κλπ – αντίστοιχα μέγεθος και τύπος, περιλαμβάνοντας πληροφορίες για τις ισοδυναμικές συνδέσεις επί των πλαισίων των συστοιχιών όπου αυτές υπάρχουν.
2. Πληροφορίες για ενδεχόμενες συνδέσεις με το υπάρχον σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (εφόσον είναι εγκατεστημένο).
3. Πληροφορίες σχετικά με τους εγκατεστημένους απαγωγούς κρουστικών τάσεων SPDs (στο κύκλωμα AC και DC) συμπεριλαμβανομένου σημείου εγκατάστασης, τύπος και προδιαγραφές.

### **5.1.4 Διάταξη των στοιχειοσειρών**

Σε συστήματα όπου υπάρχουν τρεις ή και περισσότερες στοιχειοσειρές - string φωτοβολταϊκών πάνελ, θα πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο οποίο θα πρέπει να εμφανίζεται πως διαχωρίζεται η φωτοβολταϊκή γεννήτρια και πώς συνδέονται τα φ/β πάνελ σε στοιχειοσειρές - string.

Σημειώνεται ότι αυτό είναι βοηθητικό στην εύρεση σφαλμάτων σε μεγάλα συστήματα, καθώς και σε συστήματα εγκατεστημένα επί κτηρίων όπου η πρόσβαση στο πίσω μέρος των φ/β πάνελ είναι δύσκολη.

### **5.1.5 Τεχνικά φυλλάδια**

Ως ελάχιστο θα πρέπει να περιλαμβάνονται τα τεχνικά φυλλάδια των εξής εξαρτημάτων:

1. Τεχνικό φυλλάδιο όλων των τύπων των φωτοβολταϊκών πλαισίων που έχουν εγκατασταθεί στη μονάδα σύμφωνα με την προδιαγραφή IEC 61730-1.
2. Τεχνικό φυλλάδιο όλων των τύπων των αντιστροφέων - inverters που έχουν εγκατασταθεί στη μονάδα.

Τα τεχνικά φυλλάδια όλων των σημαντικών μερών/ στοιχείων/ εξαρτημάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί στη μονάδα θα πρέπει επίσης να συμπεριληφθούν.

### **5.1.6 Πληροφορίες των μηχανικών κατασκευών**

Το τεχνικό φυλλάδιο του συστήματος βάσεων των φ/β που χρησιμοποιήθηκε θα πρέπει να συμπεριληφθεί στον φάκελο. Αν το σύστημα βάσεων είναι ιδιοκατασκευή τότε θα πρέπει να περιληφθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες.

### **5.1.7 Συστήματα ασφαλείας**

Τα τεχνικά φυλλάδια και τα τεχνικά εγχειρίδια όλων των συστημάτων ασφαλείας που σχετίζονται με τη φ/β εγκατάσταση (σύστημα πυρανίχνευσης, σύστημα πυρόσβεσης κλπ) θα

πρέπει να συμπεριληφθούν. Οι πληροφορίες πρέπει να περιλαμβάνουν οδηγίες για τον χειρισμό και τη λειτουργία των συστημάτων καθώς και πληροφορίες σχεδιασμού και κατασκευής αυτών.

### **5.1.8 Πληροφορίες λειτουργίας και συντήρησης**

Πληροφορίες όσον αφορά στη λειτουργία και στη συντήρηση της μονάδας πρέπει να περιληφθούν και, ως ελάχιστο, θα πρέπει να περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

1. Διαδικασίες για την επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας της εγκατάστασης. Λίστα με την διαδικασία που ακολουθείται σε ενδεχόμενο σφάλματος.
2. Απενεργοποίηση μονάδας σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης/διαδικασία απομόνωσης.
3. Προτάσεις για τη συντήρηση και τον καθαρισμό (μηχανικών, ηλεκτρικών και στατικών/κτηριακών μερών) – όπου αυτό έχει εφαρμογή.
4. Πληροφορίες και υποδείξεις σχετικά με τη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί σε ενδεχόμενες μελλοντικές κτηριακές εργασίες που σχετίζονται με τη φ/β εγκατάσταση.
5. Εγγυήσεις των φ/β πάνελ και αντιστροφών-inverters που θα περιλαμβάνει την ημερομηνία αγοράς/εγκατάστασης και θέση σε λειτουργία καθώς και την περίοδο εγγύησης.
6. Τεκμηρίωση για οποιεσδήποτε εργασίες που έγιναν και εγγύηση στεγανότητας του κτηρίου.

### **5.1.9 Αποτελέσματα ελέγχων και θέσης σε λειτουργία**

Τα αντίγραφα όλων των ελέγχων και θέσης σε λειτουργία της εγκατάστασης πρέπει να περιλαμβάνονται. Ως ελάχιστο θα πρέπει να περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα των ελέγχων εξακρίβωσης που αναλύονται διεξοδικά στην παράγραφο 5.2.

## **5.2 Εξακρίβωση φ/β εγκαταστάσεων**

### **Γενικά**

Το τμήμα 5.2 παρέχει τις απαιτήσεις για την αρχική και περιοδική εξακρίβωση μιας διασυνδεδεμένης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Περιέχει αναφορές στο πρότυπο ΕΛΟΤ 60364-6, όπου αυτό είναι απαραίτητο και παρέχει πρόσθετες απαιτήσεις και υποδείξεις.

Η εξακρίβωση της φ/β εγκατάστασης αποτελείται από δύο μέρη:

A) Πρώτο μέρος: Επιθεώρηση της φ/β. Σύμφωνα με την διαδικασία επιθεώρησης ελέγχονται διεξοδικά όλα τα μέρη εκείνα που συνθέτουν την φ/β εγκατάσταση για το ορθό της σχεδίασης, τις προδιαγραφές των εξαρτημάτων καθώς και την ορθή κατασκευή του συστήματος.

B) Δεύτερο μέρος: Δοκιμές της φ/β εγκατάστασης. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει όλες τις δοκιμές εκείνες που έχουν οριστεί σύμφωνα με το πρότυπο για να ελεγχθεί η ορθή κατασκευή και κατάσταση της μονάδας. Οι δοκιμές διαιρούνται σε δύο κατηγορίες.



- Δοκιμές πρώτης κατηγορίας. Οι δοκιμές αποτελούν υποχρεωτικές δοκιμές τις οποίες πρέπει να εφαρμόζονται σε όλες τις φ/β μονάδες ανεξαρτήτου μεγέθους.
- Δοκιμές δεύτερης κατηγορίας. Οι δοκιμές αυτές της κατηγορίας εκτελούνται σε μεγάλο μέγεθος φ/β μονάδες, αλλά και σε μικρότερου μεγέθους χωρίς να είναι υποχρεωτικό.
- Πρόσθετες δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές αφορούν εγκαταστάσεις στις οποίες είναι εγκατεστημένα ειδικά συστήματα λειτουργίας ή προστασίας.

Οι κατηγορίες δοκιμών θα παρουσιαστούν αναλυτικά στις αντίστοιχες παραγράφους.

Σημειώνεται εδώ ότι μεγάλο μέρος της εξακρίβωσης ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος, πρέπει να γίνεται με αναφορά στο πρότυπο ΕΛΟΤ 60364-6, το οποίο παρέχει τις απαιτήσεις για την αρχική και περιοδική εξακρίβωση κάθε ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Κάθε εγκατάσταση υποσυστημάτων και εξαρτημάτων θα πρέπει να εξακριβωθεί κατά πόσο πληρεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 60364-6 κατά τη φάση της κατασκευής, εφόσον αυτό είναι πρακτικά εφικτό, και κατά την ολοκλήρωση, πρωτού τεθεί η εγκατάσταση σε λειτουργία από τον χρήστη. Η αρχική εξακρίβωση-έλεγχος της εγκατάστασης θα πρέπει να περιλαμβάνει σύγκριση των αποτελεσμάτων με συγκεκριμένα κριτήρια για να επιβεβαιωθεί ότι οι απαιτήσεις του ΕΛΟΤ 60364-6 έχουν επιτευχθεί.

Για μια επέκταση ή τροποποίηση μιας υπάρχουσας εγκατάστασης, θα πρέπει να εξακριβωθεί ότι η επέκταση ή τροποποίηση είναι σύμφωνη με το IEC 60362 και δεν βλάπτει την αρχική εγκατάσταση.

Η αρχική και περιοδική εξακρίβωση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί από κατάλληλο προσωπικό, με γνώση της διαδικασίας των εξακριβώσεων.

*Σημείωση:* Οι φόρμες που χρησιμοποιούνται κατά τον έλεγχο περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Α, Β, Γ.

Η αρχική εξακρίβωση της εγκατάστασης λαμβάνει χώρα κατά την ολοκλήρωση μιας νέας εγκατάστασης ή μιας επέκτασης ή μιας τροποποίησης μιας υπάρχουσας εγκατάστασης. Αντίστοιχα, η περιοδική εξακρίβωση προσδιορίζει εφόσον είναι πρακτικά εφικτό, αν η εγκατάσταση και όλος ο εξοπλισμός που περιλαμβάνει, παραμένει σε ικανοποιητικό επίπεδο λειτουργίας.

Για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα το χρονικό διάστημα μεταξύ των εξακριβώσεων, δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το χρονικό διάστημα εξακρίβωσης, που απαιτείται για το ηλεκτρικό σύστημα στο οποίο το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι εγκατεστημένο. Το χρονικό διάστημα το οποίο απαιτείται μεταξύ των επανελέγχων της εγκατάστασης καθορίζεται από την Εθνική νομοθεσία.

## 5.2.1 Επιθεώρηση διασυνδεδεμένων φ/β εγκαταστάσεων

### Γενικά

Η επιθεώρηση θα πρέπει να προηγείται των ελέγχων και πρέπει να λαμβάνει χώρα κανονικά πριν την ενεργοποίηση της εγκατάστασης. Η επιθεώρηση θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ 60364-6.

Σε περίπτωση όπου η καλωδίωση δεν θα είναι προσβάσιμη μετά την κατασκευή του συστήματος, τότε η επιθεώρηση της καλωδίωσης θα πρέπει να λάβει μέρος πριν ή κατά την διάρκεια της εγκατάστασης της.

Τα μέρη τα οποία επιθεωρούνται κατά την διαδικασία είναι τα εξής:

- **Κύκλωμα DC**
- **Κύκλωμα AC**
- **Σήμανση και αναγνώριση**

### Κύκλωμα DC – Γενικά

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι:

1. Το κύκλωμα DC έχει σχεδιαστεί, προδιαγραφθεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προτύπων ΕΛΟΤ 60364 και IEC TS 62548:2013.
2. Η μέγιστη τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι κατάλληλη για το σημείο όπου είναι εγκατεστημένη η φωτοβολταϊκή γεννήτρια (IEC TS 62548:2103 και σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία).
3. Όλα τα εξαρτήματα και οι κατασκευές στήριξης έχουν επιλεγεί και κατασκευαστεί για να αντέχουν του εξωτερικούς παράγοντες στο σημείο εγκατάστασης, όπως είναι ο αέρας, το χιόνι, η θερμοκρασία και η οξείδωση.
4. Μετά την εγκατάσταση των αγκυρίων και των βάσεων στην οροφή του κτηρίου, καθώς και το πέρασμα των καλωδιώσεων, το κτήριο παραμένει υδατοστεγανό (από όπου υπήρξε διέλευση και εγκατάσταση).

Ποιο συγκεκριμένα το κύκλωμα DC ελέγχεται διεξοδικά στους εξής τομείς:

- **Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας.**
- **Προστασία έναντι των συνεπειών σφαλμάτων μόνωσης.**
- **Προστασία έναντι υπερέντασης.**
- **Γειώσεις και συνδέσεις.**
- **Προστασία έναντι των συνεπειών της κεραυνοπληξίας και των υπερτάσεων.**
- **Επιλογή και κατασκευή του ηλεκτρικού εξοπλισμού.**

Ακολουθούν αναλυτικά τα σημεία που πρέπει να εξεταστούν με προσοχή κατά την επιθεώρηση.

## **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας**

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι έχουν ληφθεί μέτρα για προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας:

1. Προστατευτικά μέτρα έναντι πολύ χαμηλών τάσεων (SELV / PELV).
2. Προστασία με την χρησιμοποίηση μόνωσης κατηγορίας II ή αντίστοιχου επιπέδου κατηγορίας μόνωσης στην πλευρά DC.
3. Τα καλώδια των φωτοβολταϊκών στοιχειοσειρών επιλέχθηκαν και εγκαταστάθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ελάχιστος ο κίνδυνος σφαλμάτων και διαρροών ως προς γη καθώς και βραχυκυκλωμάτων. Τυπικά επιτυγχάνομενο με την χρησιμοποίηση καλωδίων διπλής μόνωσης.

## **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι των συνεπειών σφαλμάτων μόνωσης**

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει τα μέτρα τα οποία έχουν ληφθεί έναντι των συνεπειών που έχουν ως αίτιο τα σφάλματα μόνωσης, περιλαμβάνοντας τα εξής:

1. Γαλβανική απομόνωση εντός του inverter ή στην πλευρά AC.
2. Λειτουργική γείωση ενός εκ των αγωγών DC.

Η γνώση για τη γαλβανική απομόνωση και τη λειτουργική γείωση του αγωγού DC είναι απαραίτητη για να αποφασιστεί αν τα μέτρα έναντι των συνεπειών σφαλμάτων μόνωσης έχουν οριστεί ορθά

3. Αν είναι εγκατεστημένο σύστημα ελέγχου της αντίστασης μόνωσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων μαζί με σύστημα ειδοποίησης– σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62548:2013

Σημείωση 1 Συνήθως αυτό το σύστημα είναι εγκατεστημένο εντός του αντιστροφέα – inverter

4. Αν είναι εγκατεστημένο σύστημα ανίχνευσης διαφορικού ρεύματος μαζί με σύστημα ειδοποίησης– σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62548:2013

Σημείωση 2 Συνήθως αυτό το σύστημα είναι εγκατεστημένο εντός του αναστροφέα – inverter

## **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι υπερέντασης**

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει τα μέτρα που έχουν ληφθεί για την προστασία έναντι της υπερέντασης στα κυκλώματα DC:

1. Για συστήματα χωρίς προστατευτική διάταξη έναντι υπερέντασης πρέπει να εξακριβωθεί αν:

- $I_{MOD\_MAX\_OCPR}$  (Η μέγιστη ονομαστική τιμή της ασφάλειας ρεύματος των πλαισίων), είναι μεγαλύτερη από το μεγαλύτερο πιθανό ανάστροφο ρεύμα.
  - Τα καλώδια των πλαισίων είναι διαστασιολογημένα για το μέγιστο ρεύμα σφάλματος λαμβάνοντας υπόψη και το ρεύμα από παράλληλες στοιχειοσειρές.
2. Για συστήματα με προστατευτική διάταξη έναντι υπερέντασης εγκατεστημένα σε στοιχειοσειρές πρέπει να εξακριβωθεί αν:
- Η προστατευτική διάταξη έναντι υπερέντασης της στοιχειοσειράς είναι εγκατεστημένη σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.
  - Για συστήματα με προστατευτικές διατάξεις έναντι υπερέντασης εγκατεστημένες σε συστοιχίες / υπο-συστοιχίες πρέπει να εξακριβωθεί αν:
  - Οι προστατευτικές διατάξεις έναντι υπερέντασης είναι εγκατεστημένες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

Η πιθανότητα να τροφοδοτήσει ο αντιστροφέας του συστήματος ανάστροφο ρεύμα προς τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα πρέπει να εξακριβωθεί. Συγκεκριμένα θα πρέπει να εξακριβωθεί ότι σε κάθε περίπτωση το ανάστροφο ρεύμα θα είναι μικρότερο από την μέγιστη τιμή της ασφάλειας σειράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων και της ονομαστικής έντασης των καλωδιώσεων DC των στοιχειοσειρών.

### **Κύκλωμα DC - Γειώσεις και συνδέσεις**

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι:

1. Όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει γείωση λειτουργίας ενός εκ των αγωγών του DC, η γείωση λειτουργίας έχει προδιαγραφεί και εγκατασταθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.
2. Όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει άμεση σύνδεση με τη γη στην πλευρά του DC, υπάρχει εγκατεστημένος ένας διακόπτης για την απομόνωση του σφάλματος ως προς γη σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.
3. Οι συνδέσεις επί των πλαισίων έχουν καθοριστεί και εγκατασταθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.
4. Όπου υπάρχουν προστατευτικές γειώσεις ή ισοδυναμικές συνδέσεις, πρέπει να έχουν παράλληλες οδεύσεις και πιασμένα μαζί με τα καλώδια DC.

### **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι των συνεπειών της κεραυνοπληξίας και των υπερτάσεων**

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι:

1. Για την ελαχιστοποίηση των τάσεων που δημιουργούνται από κεραυνοπληξία, οι βρόχοι των καλωδίων είναι οι ελάχιστοι δυνατοί.

2. Έχουν ληφθεί μέτρα για να προστατευθούν τα μεγάλοι μήκους καλώδια (πχ εγκατάσταση SPDs κλπ).
3. Όπου έχουν εγκατασταθεί SPDs, αυτό έχει γίνει σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

### **Κύκλωμα DC – Επιλογή και κατασκευή του ηλεκτρικού εξοπλισμού**

Η επιθεώρηση του συστήματος DC θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι:

1. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι πιστοποιημένα για τη μέγιστη πιθανή τάση DC του φωτοβολταϊκού συστήματος.
2. Όλα τα εξαρτήματα είναι πιστοποιημένα για συνεχή λειτουργία σε DC και στη μέγιστη πιθανή τάση και ρεύμα DC του φωτοβολταϊκού συστήματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

Σημείωση: Η επιθεώρηση του συστήματος DC απαιτεί γνώση της μέγιστης τάσης και ρεύματος του συστήματος.

- Η μέγιστη τάση του συστήματος είναι εξαρτώμενη από τη στοιχειοσειρά/την σχεδίαση των συστοιχιών, την τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ) των πλαισίων και ενός πολλαπλασιαστή για να ληφθεί υπόψη η θερμοκρασία και οι συνθήκες ακτινοβολίας.
  - Το μέγιστο δυνατό ρεύμα σφάλματος είναι εξαρτώμενο από τη στοιχειοσειρά /την σχεδίαση των συστοιχιών, το ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ) των πλαισίων και ενός πολλαπλασιαστή για να ληφθεί υπόψη η θερμοκρασία και οι συνθήκες ακτινοβολίας.
3. Η καλωδίωση προδιαγράφηκε και κατασκευάστηκε για να αντέχει τις εξωτερικές συνθήκες όπως ο αέρας, η δημιουργία πάγου, η θερμοκρασία, η UV και η ηλιακή ακτινοβολία.
  4. Η απομόνωση και αποσύνδεση των φωτοβολταϊκών στοιχειοσειρών και συστοιχιών γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013
  5. Ένας DC διακόπτης αποσύνδεσης είναι εγκατεστημένος στην πλευρά DC του αναστροφέα – inverter όπως καθορίζεται στο πρότυπο IEC TS 62548:2013.

Σημείωση: IEC 60364-9-1 περιλαμβάνει τέσσερις διαφορετικούς τρόπους υλοποίησης του διακόπτη αποσύνδεσης. Η θέση και ο τύπος του διακόπτη αποσύνδεσης θα πρέπει να σημειώνεται στην έκθεση της επιθεώρησης.

6. Εφόσον έχουν εγκατασταθεί δίοδοι αποκοπής, η τάση αναστροφής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της τάσης ανοιχτού κυκλώματος της στοιχειοσειράς στην οποία είναι εγκατεστημένες ( $2 \times V_{oc (STC)}$ ).
7. Οι σύνδεσμοι που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του κυκλώματος θα πρέπει να είναι του ίδιου τύπου και κατασκευαστή και να είναι σύμφωνοι με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

## Κύκλωμα AC

Αντίστοιχα με την επιθεώρηση του συστήματος DC πρέπει να επιθεωρηθεί και το σύστημα AC της εγκατάστασης για να επιβεβαιωθεί ότι:

1. Υπάρχει διάταξη απομόνωσης του inverter από την πλευρά AC.
2. Όλες οι διατάξεις και διακόπτες απομόνωσης είναι συνδεδεμένες έτσι ώστε η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να είναι συνδεδεμένη στην πλευρά του φορτίου και το δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρείας στην πλευρά της πηγής.
3. Οι παράμετροι λειτουργίας του inverter είναι ρυθμισμένες σύμφωνα με τα εθνικά πρότυπα.
4. Όπου είναι εγκατεστημένο εξωτερικού τύπου RCD αυτό θα πρέπει να είναι επιλεγμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013

Σημείωση: Κάποιοι inverter απαιτούν RCD τύπου B

## Σήμανση και αναγνώριση

Για την εύκολη αναγνώριση των κυκλωμάτων, με σκοπό την διευκόλυνση εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης βλαβών, αλλά και για πρόληψη έναντι ατυχημάτων, απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλων σημάνσεων. Η επιθεώρηση του συστήματος θα πρέπει να επιβεβαιώνει ότι:

1. Όλα τα κυκλώματα, οι προστατευτικές διατάξεις, οι διακόπτες και οι ακροδέκτες είναι επαρκώς σημειωμένοι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 60364 και IEC TS 62548:2013.
2. Όλοι οι πίνακες διακλάδωσης DC (Πίνακας της Φωτοβολταϊκής γεννήτριας και πίνακες των φωτοβολταϊκών συστοιχιών) φέρουν προειδοποιητική σήμανση, ότι τα ενεργά τμήματα εντός των πινάκων τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και μπορεί να παραμένουν ενεργά ακόμα και μετά την απομόνωση του inverter από το δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρείας.
3. Η διάταξη απομόνωσης από την πλευρά AC είναι ξεκάθαρα σημειωμένη.
4. Διπλές σημάνσεις είναι τοποθετημένες στα σημεία των διακλαδώσεων.
5. Ένα μονογραμμικό σχέδιο της καλωδίωσης είναι αναρτημένο σε σημείο της εγκατάστασης.
6. Τα στοιχεία της εταιρείας κατασκευής ή του εγκαταστάτη είναι σημειωμένα και εμφανή στην εγκατάσταση.
7. Υπάρχει αναρτημένη η διαδικασία θέσης εκτός λειτουργίας της εγκατάστασης.
8. Υπάρχει αναρτημένη η διαδικασία που ακολουθείται σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (όπου απαιτείται).
9. Όλες οι ετικέτες και οι σημάνσεις είναι τοποθετημένες σε σταθερά σημεία και είναι κατασκευασμένες για να αντέξουν στον χρόνο.

Σημείωση: Οι Απαιτήσεις για σήμανση και ταμπέλες στη φωτοβολταϊκή μονάδα περιγράφονται στο πρότυπο IEC TS 62548:2013.

## 5.2.2 Δοκιμές

### Γενικά

Οι δοκιμές που θα πραγματοποιηθούν πρέπει να γίνουν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 60364-6. Τα όργανα δοκιμών, ο εξοπλισμός παρακολούθησης και όλες οι μέθοδοι θα πρέπει να επιλεγούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προτύπων IEC 61557 και IEC 61010. Εφόσον χρησιμοποιείται διαφορετικού τύπου εξοπλισμός, θα πρέπει να διαθέτει τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης και προστασίας. Η μεθοδολογία των δοκιμών που περιγράφεται στο πρότυπο παρουσιάζεται ως πρότυπη μέθοδος. Άλλες μέθοδοι δεν αποκλείονται αρκεί να μην παράγουν λιγότερο έγκυρα αποτελέσματα.

Κάθε δοκιμή πρέπει να εκτελείτε όπως αυτή περιγράφεται στο τμήμα 6.

Όλες οι δοκιμές πρέπει να εκτελούνται όπου έχουν χρησιμότητα και με την σειρά που αναφέρεται.

Στο ενδεχόμενο όπου εντοπιστεί σφάλμα κατά την πραγματοποίηση μίας δοκιμής, τότε μετά την αποκατάσταση του σφάλματος, όλες οι δοκιμές που προηγήθηκαν θα πρέπει να επαναληφθούν από την αρχή, για να αποκλειστεί το ενδεχόμενο, το σφάλμα να είχε επηρεάσει τα αποτελέσματα των προηγούμενων δοκιμών.

Στο ενδεχόμενο όπου κατά την πραγματοποίηση μίας δοκιμής, υπάρχει αποτυχία συμμόρφωσης με το πρότυπο, υποδεικνύοντας πιθανό σφάλμα, η δοκιμή καθώς και προηγούμενες δοκιμές που πιθανόν να έχουν επηρεαστεί από το σφάλμα αυτό, θα πρέπει να επαναληφθούν.

### Κατηγορίες δοκιμών και συμπληρωματικές δοκιμές

Οι δοκιμές οι οποίες έχουν εφαρμογή σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών πρέπει να είναι αντίστοιχες του μεγέθους, του σημείου εγκατάστασης και της πολυπλοκότητας του υπό έλεγχο συστήματος.

Το πρότυπο αυτό καθορίζει δύο κατηγορίες δοκιμών, μαζί με έναν αριθμό συμπληρωματικών δοκιμών οι οποίες μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών του προτύπου

- **Πρώτη κατηγορία δοκιμών** – Η ελάχιστη απαίτηση – Ένας στάνταρ αριθμός δοκιμών οι οποίες έχουν εφαρμογή σε όλα τα φωτοβολταϊκά συστήματα.
- **Δεύτερη κατηγορία δοκιμών** – Μια εκτεταμένη σειρά από δοκιμές οι οποίες πραγματοποιούνται μετά την πραγματοποίηση των δοκιμών της κατηγορίας 1
- **Συμπληρωματικές δοκιμές** – Άλλες δοκιμές οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν υπό κάποιες συνθήκες.

### Κατηγορίες δοκιμών για συστήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές μονάδες

Για συστήματα που έχουν κατασκευαστεί με την χρησιμοποίηση μονάδων AC, βελτιστοποιητών – power optimizers ή όποιο άλλο τύπο ηλεκτρονικής μονάδας, ο πίνακας 5.2 πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να επιλεγεί ποιο είναι το σωστό καθεστώς δοκιμών.

Σύστημα	Τροποποίηση στο καθεστώς δοκιμών
Μονάδες AC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν απαιτείται δοκιμή ή έλεγχος του τμήματος DC</li> </ul>
Micro inverter Δεν έχει χρησιμοποιηθεί πρόσθετη καλωδίωση (το σύστημα αποτελείται από την ίδια καλωδίωση των πλαισίων και των micro inverter)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Δεν απαιτείται έλεγχος του κυκλώματος DC</li> <li>Απαιτείται επιθεώρηση των κατασκευών στο τμήμα DC</li> </ul>
Micro inverter Έχει χρησιμοποιηθεί πρόσθετη καλωδίωση	<ul style="list-style-type: none"> <li>Απαιτείται έλεγχος του κυκλώματος DC</li> <li>Απαιτείται επιθεώρηση των κατασκευών στο τμήμα DC</li> </ul>
Ενσωματωμένες ηλεκτρονικές μονάδες επί των Φ/Β πλαισίων	<ul style="list-style-type: none"> <li>Όπου είναι εφικτό να ακολουθείται το στάνταρ καθεστώς των μετρήσεων</li> <li>Ο κατασκευαστής των μηχανημάτων να μας συμβουλέψει για να διαπιστωθούν αν υπάρχουν τυχόν δοκιμές οι οποίες δεν πρέπει να πραγματοποιηθούν (τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή – επικοινωνία με κατασκευαστή).</li> <li>Ο κατασκευαστής των μηχανημάτων να μας συμβουλέψει για τις αποδεκτές τιμές των αποτελεσμάτων των δοκιμών (τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή – επικοινωνία με κατασκευαστή).</li> </ul>

Πίνακας 5.2: Πίνακας τροποποίησης των δοκιμών για συστήματα με ηλεκτρονικά εγκατεστημένα στο "επίπεδο" του πλαισίου

Δεδομένων των ποικίλων ειδών και διαφορετικών τύπων ηλεκτρονικών τα οποία είναι διαθέσιμα, δεν είναι δυνατόν να επισημανθεί το είδος των δοκιμών που μπορούν να πραγματοποιηθούν με ασφάλεια ή να περιγραφούν τα αποτελέσματα των αποδεκτών αποτελεσμάτων τους. Σε όλες τις περιπτώσεις των ηλεκτρονικών μονάδων όπως είναι οι βελτιστοποιητές – power optimizers, πρέπει να γνωμοδοτήσει ο κατασκευαστής πριν τη διαδικασία των ελέγχων.

### Πρώτη κατηγορία δοκιμών – Αφορά όλα τα συστήματα

Η πρώτη κατηγορία δοκιμών αποτελεί την ελάχιστη σειρά δοκιμών η οποία απαιτείται και έχει εφαρμογή σε όλα τα συστήματα ανεξαρτήτως μεγέθους, τύπου, τοποθεσίας και πολυπλοκότητας.



Οι δοκιμές του συστήματος αφορούν την πλευρά AC και DC του φωτοβολταϊκού συστήματος. Γενικά, οι δοκιμές που αφορούν το AC κύκλωμα πρέπει να ολοκληρωθούν πριν την έναρξη των δοκιμών DC.

Σε μερικές περιπτώσεις οι δοκιμές της πλευράς AC, μπορεί να έχουν πρακτική σημασία σε μετέπειτα στάδιο σε ένα έργο και μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιηθούν μετά τον έλεγχο του κυκλώματος DC. Όπου κρίνεται απαραίτητο, ορισμένες λειτουργικές δοκιμές του τμήματος DC (π.χ. διασφάλιση ορθής λειτουργίας του αναστροφέα) θα χρειαστεί να πραγματοποιηθούν μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών του κυκλώματος AC.

## **Πλευρά AC**

Δοκιμές σε όλα τα κυκλώματα AC σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-6.

## **Πλευρά DC**

Οι ακόλουθες δοκιμές πρέπει να γίνουν στο κύκλωμα DC που συνθέτει την φωτοβολταϊκή συστοιχία.

1. Ηλεκτρική συνέχεια των αγωγών προστασίας και των ισοδυναμικών συνδέσεων
2. Δοκιμή πολικότητας
3. Δοκιμή πίνακα διακλάδωσης
4. Δοκιμή ανοιχτού κυκλώματος στοιχειοσειράς
5. Δοκιμή ρεύματος στοιχειοσειράς (ρεύματος βραχυκύκλωσης ή λειτουργίας)
6. Δοκιμές λειτουργίας
7. Αντίσταση μόνωσης σε όλα τα κυκλώματα DC

Για λόγους ασφαλείας και για αποφυγή ζημιών στον συνδεδεμένο εξοπλισμό, η δοκιμή πολικότητας και η δοκιμή του πίνακα διακλάδωσης πρέπει να γίνεται πριν συνδεθούν οι στοιχειοσειρές σε αυτά.

Η δοκιμή καμπύλης I-V αποτελεί δοκιμή της δεύτερης κατηγορίας η οποία θα αναφερθεί σε επόμενη παράγραφο. Αποτελεί όμως αποδεκτή εναλλακτική μέθοδος για τη μέτρηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ) και ρεύματος βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ). Όπου έχει πραγματοποιηθεί δοκιμή καμπύλης I-V τότε δεν είναι απαραίτητες ξεχωριστές δοκιμές  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$ , δεδομένου ότι η δοκιμή καμπύλης I-V πραγματοποιήθηκε με τη σωστή σειρά δοκιμών της κατηγορίας 1.

## **Δεύτερη κατηγορία δοκιμών**

Η δεύτερη κατηγορία δοκιμών περιλαμβάνει όλες τις συμπληρωματικές δοκιμές που έχουν εφαρμογή σε μεγαλύτερα και πιο σύνθετα συστήματα. Παρόλα αυτά μπορούν να εφαρμοστούν και σε μικρότερα συστήματα εφόσον ο πελάτης το επιθυμεί.

Συμπληρωματικά των δοκιμών της κατηγορίας 1, οι ακόλουθες δοκιμές πρέπει να πραγματοποιηθούν:

1. Δοκιμή καμπύλης I-V στοιχειοσειράς.
2. Επιθεώρηση IR - θερμογραφία.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, όπου έχει πραγματοποιηθεί δοκιμή καμπύλης I-V τότε δεν απαιτούνται ξεχωριστές δοκιμές στην 1<sup>η</sup> κατηγορία δοκιμών,  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$  αρκεί να έχει πραγματοποιηθεί με την σωστή σειρά.

Σημείωση 1: Σε κάποιες περιπτώσεις μόνο ένα στοιχείο ή μέρος των δοκιμών της κατηγορίας 2 μπορεί να επιλεγεί προς υλοποίηση. Ως παράδειγμα μπορεί να είναι ένας πελάτης ο οποίος επιθυμεί να υπάρξει εκτίμηση της απόδοσης, μέσω της δοκιμής καμπύλης I-V συμπληρωματικά των δοκιμών της κατηγορίας 1.

Σημείωση 2: Σε κάποιες περιπτώσεις οι δοκιμές της κατηγορίας 2 μπορούν να εφαρμοστούν δειγματοληπτικά στην εγκατάσταση. Ως παράδειγμα μπορεί να είναι ένας πελάτης ο οποίος επιθυμεί να πραγματοποιηθεί η δοκιμή καμπύλης I-V ή δοκιμή IR σε ένα ποσοστό των στοιχειοσειρών της εγκατάστασης.

### Πρόσθετες δοκιμές

Ως πρόσθετες δοκιμές της προκαθορισμένης σειράς δοκιμών των κατηγοριών 1 και 2, υπάρχουν άλλες δοκιμές οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Αυτές οι δοκιμές είναι πιθανόν να υλοποιηθούν ύστερα από απαίτηση του πελάτη, υπό τη μορφή εύρεσης σφαλμάτων της εγκατάστασης, όπου άλλη σειρά δοκιμών ή οι λειτουργικές ενδείξεις του συστήματος έχουν υποδείξει την ύπαρξη σφάλματος, το οποίο δεν έχει προσδιοριστεί με τις προδιαγεγραμμένες δοκιμές.

1. **Τάση ως προς γη:** Αυτή η δοκιμή χρησιμοποιείται για να γίνει αξιολόγηση συστημάτων τα οποία χρησιμοποιούν υψηλή αντίσταση σύνδεσης ως προς γη.
2. **Δοκιμή διόδων αποκοπής:** Οι δίοδοι αποκοπής μπορούν να εμφανίσουν προβλήματα στην κατάσταση όπου άγουν αλλά και στην κατάσταση όπου δεν άγουν. Αυτή η δοκιμή είναι σημαντική να γίνεται όπου οι δίοδοι αυτοί είναι εγκατεστημένοι.
3. **Δοκιμή αντίστασης μόνωσης υπό συνθήκες υγρασίας:** Η δοκιμή αντίστασης μόνωσης υπό συνθήκες υγρασίας χρησιμοποιείται αρχικά ως μέρος εύρεσης σφαλμάτων, εκεί όπου η στάνταρ δοκιμή μόνωσης (κανονικά υπό στεγνές συνθήκες) είναι υπό αμφισβήτηση ή όταν υπάρχει υπόνοια για σφάλματα μόνωσης λόγω εγκατάστασης ή κατασκευαστικών ελαττωμάτων.
4. **Εκτίμηση σκιάσεων:** Όταν επιθεωρούμε μια νέα φωτοβολταϊκή μονάδα, η εκτίμηση των σκιάσεων επί της κατασκευασμένης μονάδας μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο στοιχείο. Όπως και οι ηλεκτρικές μετρήσεις που περιγράφονται σε αυτό το πρότυπο, έτσι και η εκτίμηση των σκιάσεων αποτελεί μία βάση για μελλοντικές συγκρίσεις καθώς το περιβάλλον και οι σκιάσεις επί της φωτοβολταϊκής μονάδας μπορεί να αλλάξουν. Ένα αρχείο με τις σκιάσεις μπορεί να είναι επίσης χρήσιμο για να βεβαιώσει, ότι οι εκτιμήσεις για τις σκιάσεις που υπήρξαν κατά την σχεδίαση του συστήματος αντικατοπτρίζουν στην πραγματικότητα στο σύστημα που κατασκευάστηκε. Το αρχείο σκιάσεων είναι σημαντικό στις περιπτώσεις όπου οι αποδόσεις του έργου υπόκεινται σε εγγυήσεις ή άλλου τύπου συμβόλαια με εγγυημένες αποδόσεις.

## 5.3 Διαδικασίες δοκιμών – Πρώτη Κατηγορία

### 5.3.1 Ηλεκτρική συνέχεια των αγωγών προστασίας και των ισοδυναμικών συνδέσεων

Όπου υπάρχει σύστημα γείωσης προστασίας και ισοδυναμικές συνδέσεις στην πλευρά DC, όπως είναι η σύνδεση με τα πλαίσια των πάνελ, πρέπει να πραγματοποιηθεί δοκιμή συνέχειας σε όλες αυτές τις συνδέσεις. Η σύνδεση με το κεντρικό σύστημα γείωσης πρέπει επίσης να επιβεβαιωθεί.

### 5.3.2 Δοκιμή πολικότητας

Η πολικότητα όλων των καλωδίων DC θα πρέπει να εξακριβωθεί, χρησιμοποιώντας κατάλληλο εξοπλισμό μέτρησης. Μόλις η πολικότητα επιβεβαιωθεί, θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι τα καλώδια έχουν σημειωθεί κατάλληλα και έχουν συνδεθεί σωστά στις συσκευές και στα εξαρτήματα της εγκατάστασης όπως είναι οι διακόπτες απομόνωσης και οι inverters.

Σημείωση: Για λόγους ασφαλείας και πρόληψης σφαλμάτων σε μηχανήματα και εξοπλισμό, είναι ιδιαίτερα σημαντικό η δοκιμή πολικότητας να προηγείται των υπόλοιπων ελέγχων και πριν την ενεργοποίηση των κυκλωμάτων με το κλείσιμο των διακοπών, ή την τοποθέτηση των ασφαλειών εντός των ασφαλειοδιακοπών. Αν ο έλεγχος πραγματοποιείται σε ένα ήδη συνδεδεμένο κύκλωμα, στο οποίο κατά τον έλεγχο βρεθεί ότι υπάρχει αναστροφή πολικότητας, τότε είναι αναγκαίο να ελεγχθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ και οι δίοδοι παράκαμψης (bypass diodes) για διερεύνηση πιθανής βλάβης η οποία δημιουργήθηκε από αυτό το λάθος.

### 5.3.3 Δοκιμή πίνακα διακλάδωσης

Η εύρεση μιας στοιχειοσειράς συνδεδεμένης με ανάποδη πολικότητα στον πίνακα διακλάδωσης, είναι πιθανό να μην εντοπιστεί. Οι επιπτώσεις από την ανάποδη σύνδεση μιας στοιχειοσειράς, σε μεγάλα συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν πολυάριθμους πίνακες και κουτιά διακλάδωσης, μπορεί να είναι σημαντικές. Ο στόχος της δοκιμής είναι να διασφαλίσει ότι όλες οι συνδεδεμένες στοιχειοσειρές είναι συνδεδεμένες σωστά.

Καθώς είναι πιθανό ο έλεγχος πολικότητας να πραγματοποιηθεί με ένα ψηφιακό πολύμετρο, όταν ελέγχουμε ένα μεγάλο αριθμό κυκλωμάτων, η ένδειξη «-» είναι πολύ εύκολο να αγνοηθεί. Ως εναλλακτική, η ακόλουθη διαδικασία ελέγχου μπορεί να εντοπίσει πιθανό σφάλμα σύνδεσης μέσω μιας σημαντικά διαφορετικής ένδειξης τάσης.

Η διαδικασία ελέγχου είναι όπως περιγράφεται ακολούθως και πρέπει να εκτελείται πριν τοποθετηθούν οι ασφάλειες, εντός των ασφαλειοδιακοπών ή κλείσουν οι διακόπτες ενεργοποίησης των κυκλωμάτων για πρώτη φορά.

- Επιλέξτε ένα βολτόμετρο με εύρος μέτρησης τουλάχιστον το διπλάσιο της μέγιστης τιμής της τάσης των κυκλωμάτων.
- Τοποθετήστε όλες τις ασφάλειες των αρνητικών ακροδεκτών έτσι ώστε όλες οι στοιχειοσειρές να έχουν κοινό αρνητικό κόμβο.
- Μην τοποθετήστε τις ασφάλειες των θετικών ακροδεκτών.

- Μετρήστε την τάση ανοιχτού κυκλώματος της πρώτης στοιχειοσειράς, μεταξύ του θετικού και του αρνητικού και βεβαιωθείτε ότι είναι η αναμενόμενη τιμή.
- Έχοντας τον ακροδέκτη του οργάνου στο θετικό άκρο της πρώτης μετρούμενης στοιχειοσειράς, τοποθετήστε τον δεύτερο ακροδέκτη του οργάνου στο θετικό άκρο της επόμενης στοιχειοσειράς. Επειδή οι δυο στοιχειοσειρές έχουν κοινό αρνητικό σημείο, η μετρούμενη τάση θα πρέπει να είναι κοντά στο μηδέν, με ένα επιτρεπτό εύρος κοντά στα  $\pm 15V$ .
- Συνεχίστε επαναλαμβάνοντας την ίδια μέτρηση στις επόμενες στοιχειοσειρές και κρατήστε ως σημείο αναφοράς τον πρώτο ακροδέκτη του οργάνου στο θετικό άκρο της πρώτης μετρούμενης στοιχειοσειράς.
- Ως ένδειξη ότι υπάρχει συνδεδεμένη στοιχειοσειρά με ανάποδη πολικότητα θα είναι ότι η μετρούμενη τάση, είναι διπλάσια της τάσης ανοιχτού κυκλώματος στοιχειοσειράς που μετρήθηκε στο αρχικό στάδιο.

### 5.3.4 Στοιχειοσειρά - Δοκιμή ανοιχτού κυκλώματος στοιχειοσειράς

Ο σκοπός της μέτρησης της τάσης ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ), που εντάσσεται στην πρώτη κατηγορία δοκιμών, είναι για να ελεγχθεί αν τα πλαίσια εντός της στοιχειοσειράς έχουν συνδεθεί με τον σωστό τρόπο και, συγκεκριμένα, αν έχουν συνδεθεί σε σειρά ο σωστός αριθμός φωτοβολταϊκών πάνελ. Ξεχασμένες συνδέσεις ή η σύνδεση λάθους αριθμού πάνελ σε μία στοιχειοσειρά είναι ένα συνηθισμένο λάθος σε μεγάλου μεγέθους συστήματα. Η μέτρηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος θα βρει άμεσα τέτοια λάθη.

Σημείωση: Μετρούμενες τάσεις με τιμές σημαντικά μικρότερες από τις αναμενόμενες, μπορεί να υποδεικνύουν ότι ένα ή και περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν συνδεθεί με ανάποδη πολικότητα, μία ή και περισσότερες διόδους παράκαμψης (bypass diodes) έχουν βραχυκύκλωμα, υπάρχει πρόβλημα λόγω σφάλματος μόνωσης, κάποιο σφάλμα λόγω ζημιάς ή εισροής νερού σε συνδέσεις ή σε κουτιά διακλάδωσης. Μεγάλες τάσεις από την άλλη πλευρά είναι συνήθως αποτέλεσμα σφαλμάτων στην καλωδίωση.

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος κάθε στοιχειοσειράς φωτοβολταϊκών θα πρέπει να μετρηθεί χρησιμοποιώντας κατάλληλη συσκευή. Αυτό θα πρέπει να γίνει πριν κλείσουν οι όποιοι διακόπτες ή τοποθετηθούν οι ασφάλειες των κυκλωμάτων.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της τάσης ανοιχτού κυκλώματος πρέπει να αξιολογηθούν για να βεβαιωθεί ότι είναι αντίστοιχα των αναμενόμενων υπολογισμένων τιμών (με εύρος 5%) με έναν από τους επόμενους τρόπους:

1. Σύγκριση με τις αναμενόμενες τιμές που ελήφθησαν από το τεχνικό φυλλάδιο του κατασκευαστή ή από ένα φωτοβολταϊκό μοντέλο το οποίο λαμβάνει υπόψη τον τύπο του πλαισίου, τον αριθμό των πλαισίων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά και την θερμοκρασία του πάνελ.
2. Μέτρηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος σε ένα πάνελ και χρησιμοποίηση αυτής της τάσης για τον υπολογισμό της αναμενόμενης τιμής όλης της στοιχειοσειράς ( για μετρήσεις με σταθερές συνθήκες έντασης ηλιοφάνειας).
3. Σε συστήματα με πολλαπλές όμοιες στοιχειοσειρές, όπου επικρατούν σταθερές συνθήκες έντασης ηλιοφάνειας, οι τιμές μεταξύ των στοιχειοσειρών μπορούν να συγκριθούν.

4. Σε συστήματα με πολλαπλές όμοιες στοιχειοσειρές, όπου δεν επικρατούν σταθερές συνθήκες έντασης ηλιοφάνειας, οι μετρούμενες τιμές μπορούν να συγκριθούν χρησιμοποιώντας πολλαπλούς μετρητές και έναν επιπλέον μετρητή τη στοιχειοσειρά αναφοράς.

### 5.3.5 Στοιχειοσειρά – Μέτρηση ρεύματος

#### Γενικά

Ο σκοπός της μέτρησης του ρεύματος της στοιχειοσειράς είναι για να διασφαλιστούν τα ορθά λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος και να επαληθευτεί ότι δεν υπάρχουν σοβαρά σφάλματα στην καλωδίωση της στοιχειοσειράς των πάνελ. Αυτές οι μετρήσεις δεν έχουν ως στόχο την αξιολόγηση της απόδοσης των πάνελ ή της στοιχειοσειράς.

Δύο μέθοδοι δοκιμών είναι δυνατές (δοκιμή βραχυκύκλωσης και δοκιμή λειτουργίας) οι οποίες μπορούν να δώσουν στοιχεία για την σωστή λειτουργία της στοιχειοσειράς των πλαισίων. Όπου είναι δυνατό η δοκιμή βραχυκύκλωσης, είναι προτιμότερη, καθώς αποφεύγεται η όποια επιρροή από την λειτουργία του inverter.

Σημείωση: Η μέτρηση καμπύλης I-V είναι επίσης ανεξάρτητη από τον inverter και παρέχει μια καλή εναλλακτική στην πραγματοποίηση αυτής της δοκιμής

#### Στοιχειοσειρά – Δοκιμή βραχυκύκλωσης

#### Γενικά

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης κάθε στοιχειοσειράς φωτοβολταϊκών θα πρέπει να μετρηθεί χρησιμοποιώντας κατάλληλη συσκευή. Η δημιουργία/αποκοπή του ρεύματος βραχυκύκλωσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι δυνητικά επικίνδυνη και η κατάλληλη διαδικασία μέτρησης, όπως αυτή περιγράφεται παρακάτω, πρέπει να ακολουθηθεί.

Οι μετρούμενες τιμές πρέπει να συγκριθούν με τις αναμενόμενες τιμές. Για συστήματα με πολλαπλές όμοιες στοιχειοσειρές και όπου υπάρχουν σταθερές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, οι τιμές μέτρησης των στοιχειοσειρών θα πρέπει να συγκριθούν. Οι τιμές αυτές πρέπει να είναι όμοιες (με απόκλιση 5% από τον μέσο όρο της μετρούμενης τιμής ρεύματος, υπό σταθερές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας).

Για μη σταθερές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, οι ακόλουθοι μέθοδοι θα πρέπει να εφαρμοστούν:

- Οι μετρήσεις μπορεί να μετατεθούν.
- Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας πολλαπλούς μετρητές με έναν μετρητή στη στοιχειοσειρά αναφοράς.
- Ένας μετρητής μέτρησης ακτινοβολίας ή οπτική εκτίμηση για τις συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί η εγκυρότητα των μετρήσεων.

Σημείωση: Η χρήση μετρητή ή η οπτική εκτίμηση για τις συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας εμπεριέχεται μόνο για να προσδιοριστεί αν η μέτρηση του ρεύματος είναι στο επιθυμητό εύρος.

Όπως σημειώθηκε και στην εισαγωγή αυτού του μέρους, η μέτρηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης έχει ως σκοπό να ανιχνεύσει πιθανά σφάλματα και όχι για να κάνει εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος. Οι μετρήσεις για την απόδοση του συστήματος περιλαμβάνονται στην δεύτερη κατηγορία μετρήσεων και επιτυγχάνονται κυρίως με την μέτρηση της καμπύλης I-V.

### **Διαδικασία μέτρησης ρεύματος βραχυκύκλωσης**

Κατά την διαδικασία μέτρησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης όλοι οι διακόπτες και οι ακροδέκτες απομόνωσης θα πρέπει να είναι ανοιχτοί και όλες οι στοιχειοσειρές πάνελ απομονωμένες η μία από την άλλη.

Ένα προσωρινό βραχυκύκλωμα θα γίνει σε κάθε στοιχειοσειρά υπό εξέταση. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία από τις ακόλουθες διαδικασίες:

1. Με την χρήση ενός οργάνου ελέγχου το οποίο θα περιλαμβάνει λειτουργία μέτρησης ρεύματος βραχυκύκλωσης (πχ. ένα εξειδικευμένο όργανο μέτρησης φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων).
2. Ένα καλώδιο βραχυκύκλωσης τοποθετείται προσωρινά στο άκρο ενός διακόπτη απομόνωσης ο οποίος υπάρχει στο κύκλωμα-εγκατάστασης.
3. Έσω της χρήσης ενός "κουτιού δοκιμής βραχυκύκλωσης" – ένα κατάλληλο φορτίο μπορεί να παρεμβληθεί προσωρινά στο κύκλωμα για να δημιουργήσει το βραχυκύκλωμα

Το όργανο μέτρησης θα πρέπει να έχει αντοχή μεγαλύτερη από το ρεύμα βραχυκύκλωσης, καθώς και από την τάση ανοιχτού κυκλώματος του συστήματος. Όπου χρησιμοποιείται διακόπτης για τη δημιουργία του βραχυκυκλώματος, αυτός θα πρέπει να αντέχει μεγαλύτερες εντάσεις από το ρεύμα βραχυκύκλωσης, καθώς και από την τάση ανοιχτού κυκλώματος του συστήματος.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης τότε μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας μία κατάλληλα επιλεγμένη αμπεροτσιμπίδα, ή ένα αμπερόμετρο σειράς με λειτουργία μέτρησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα πρέπει τότε να διακοπεί χρησιμοποιώντας έναν διακόπτη φορτίου, ενώ το ρεύμα θα πρέπει να έχει μηδενιστεί πριν αφαιρεθούν οι ακροδέκτες.

Σημείωση: Το "κουτί δοκιμής βραχυκύκλωσης" είναι μια συσκευή δοκιμής η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση της δοκιμής βραχυκύκλωσης καθώς και για την μέτρηση της δοκιμής μόνωσης.

### **5.3.6 Δοκιμές λειτουργίας**

Με την ολοκλήρωση των προηγούμενων δοκιμών σειρά έχουν οι ακόλουθες δοκιμές λειτουργίας:

1. Οι διακόπτες και όλος ο εξοπλισμός χειρισμού πρέπει να δοκιμαστεί ότι λειτουργεί σωστά και είναι σωστά εγκατεστημένος και συνδεδεμένος.

2. Όλοι οι inverters πρέπει να ελεγχθούν για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία τους. Η διαδικασία ελέγχου θα πρέπει να είναι σύμφωνη με την διαδικασία του κατασκευαστή.

Οι έλεγχοι λειτουργίας που απαιτούν της παρουσία AC τάσης (π.χ. Δοκιμές inverter ) πρέπει να γίνουν μόνο όταν έχει ελεγχθεί το κύκλωμα AC της εγκατάστασης.

### 5.3.7 Δοκιμή αντίστασης μόνωσης στοιχειοσειράς

#### Γενικά

Το κύκλωμα DC των φωτοβολταϊκών συστοιχιών είναι ενεργό κατά τη διάρκεια της ημέρας, και δεν μπορεί να απομονωθεί όπως ένα κλασσικό κύκλωμα AC πριν τη διενέργεια αυτής της δοκιμής.

Η διενέργεια αυτής της δοκιμής εμπεριέχει κίνδυνο ηλεκτροπληξίας και για αυτό είναι σημαντικό να έχει πλήρως κατανοηθεί η διαδικασία δοκιμής πριν την έναρξη οποιας ενέργειας. Τα ακόλουθα βασικά μέτρα ασφάλειας πρέπει να ακολουθηθούν:

- Η πρόσβαση στην περιοχή εργασίας πρέπει να περιοριστεί.
- Δεν πρέπει να υπάρχει επαφή με μεταλλικά αντικείμενα και λάβετε μέτρα ώστε να εμποδιστούν άτομα να ακουμπήσουν μεταλλικές επιφάνειες, κατά την διενέργεια της δοκιμής αντίστασης μόνωσης.
- Δεν πρέπει να υπάρχει επαφή με το πίσω μέρος των φ/β πάνελ ή ακροδέκτες τους και λάβετε μέτρα ώστε να εμποδιστούν όποια άτομα να τα ακουμπήσουν κατά τη διενέργεια της δοκιμής αντίστασης μόνωσης.
- Όταν η συσκευή διενέργειας της δοκιμής αντίστασης μόνωσης ενεργοποιείται, υπάρχει τάση στην περιοχή δοκιμών. Ο εξοπλισμός θα πρέπει να έχει δυνατότητα αυτόματης αποφόρτισης.
- Κατάλληλα ατομικά μέσα προστασίας ένδυση/εξοπλισμός, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται από το προσωπικό που διενεργεί τη δοκιμή καθ' όλη τη διάρκεια της.

Όπου τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι αμφίβολα, ή υπάρχει υπόνοια για σφάλματα μόνωσης λόγω εγκατάστασης ή κατασκευαστικών προβλημάτων, μια δοκιμή αντίστασης μόνωσης με καταιονισμό μπορεί να είναι ο ενδεδειγμένος τρόπος για τον εντοπισμό του προβλήματος. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται στην συνέχεια.

Όπου υπάρχουν εγκατεστημένα SPDs ή εξοπλισμός που μπορεί να επηρεάσει την εγκυρότητα των μετρήσεων ή μπορεί να καταστραφεί, θα πρέπει να αφαιρεθούν προσωρινά πριν την διενέργεια της δοκιμής.

#### Δοκιμή αντίστασης μόνωσης στοιχειοσειράς – Μεθοδολογία

Η δοκιμή αυτή πρέπει να επαναλαμβάνεται ως ελάχιστο κάθε συστοιχία και υποομάδα Φωτοβολταϊκών. Είναι επίσης δυνατό να ελεγχθούν και ξεχωριστές στοιχειοσειρές εφόσον απαιτείται.

**Πρώτη Μεθοδολογία** – Δοκιμή μεταξύ του αρνητικού ακροδέκτη και της γης ακολουθούμενη από δοκιμή μεταξύ του θετικού ακροδέκτη και της γης.

**Δεύτερη Μεθοδολογία** – Δοκιμή μεταξύ γης και των 2 βραχυκυκλωμένων άκρων της στοιχειοσειράς.

Όπου υπάρχει σύνδεση της κατασκευής των βάσεων με τη γη, η σύνδεση αυτή μπορεί να γίνει σε όποιο βολικό σημείο της κατασκευής ή στα φωτοβολταϊκά πλαίσια ( όπου χρησιμοποιείται το πλαίσιο των Φωτοβολταϊκών, αφού πρώτα γίνει έλεγχος καλής επαφή και συνέχειας της σύνδεσης με όλο το μεταλλικό πλαίσιο).

Για συστήματα όπου τα πλαίσια των Φωτοβολταϊκών δεν είναι συνδεδεμένα με την γη ( πχ όπου η εγκατάσταση είναι κλάσης II, ο μηχανικός της δοκιμής μπορεί να επιλέξει να κάνει δύο δοκιμές i) μεταξύ των ακροδεκτών της συστοιχίας και της γης ii) μεταξύ των ακροδεκτών της συστοιχίας και του πλαισίου των φωτοβολταϊκών και της γης.

Για συστοιχίες οι οποίες δεν έχουν προσβάσιμα αγωγίμα μέρη (πχ Φωτοβολταϊκά κεραμίδια) η μέτρηση μπορεί να γίνει μεταξύ των ακροδεκτών της συστοιχίας και της γείωσης του κτηρίου.

Όπου επιλεγθεί η δεύτερη μέθοδος, για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας από βολταϊκό τόξο, το θετικό και αρνητικό καλώδιο θα πρέπει να βραχυκυκλωθούν με ασφαλή τρόπο. Τυπικά αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας κατάλληλο “κουτί δοκιμής βραχυκύκλωσης”. Αυτή η συσκευή περιέχει έναν κατάλληλα επιλεγμένο ασφαλειοδιακόπτη DC ο οποίος μπορεί με ασφάλεια να διακόψει το ρεύμα βραχυκύκλωσης μετά τη σύνδεση των ακροδεκτών στη συσκευή.

Η διαδικασία δοκιμών θα πρέπει να τέτοια, έτσι ώστε να διασφαλιστεί, ότι η τάση κορυφής να μην ξεπεράσει τις ονομαστικές τάσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των διακοπών και των υπόλοιπων στοιχείων του κυκλώματος.

### **Δοκιμή αντίστασης μόνωσης στοιχειοσειράς – Διαδικασία δοκιμής**

#### **Γενικά**

Πριν ξεκινήσει η δοκιμή:

- Η πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό θα πρέπει να περιοριστεί.
- Η φωτοβολταϊκή συστοιχία θα πρέπει να απομονωθεί από τον inverter (τυπικά μέσω του διακόπτη απομόνωσης του Φωτοβολταϊκού).
- Όποιος εξοπλισμός θα μπορούσε να έχει επίδραση στην μέτρηση της αντίστασης μόνωσης (π.χ. προστασία από υπέρταση) στα κουτιά διακλάδωσης, πίνακες κλπ θα πρέπει να αποσυνδεθεί.

Όπου χρησιμοποιείται “κουτί δοκιμής βραχυκύκλωσης” για τη δεύτερη μεθοδολογία, τα καλώδια της συστοιχίας θα πρέπει να συνδεθούν με ασφαλή τρόπο μέσα στη συσκευή πριν την ενεργοποίηση του διακόπτη βραχυκύκλωσης της συσκευής.

Το όργανο μέτρησης της αντίστασης μόνωσης πρέπει να συνδεθεί μεταξύ της γης και των καλωδίων της συστοιχίας αναλόγως της μεθόδου που θα επιλεγεί για υλοποίηση. Οι ακροδέκτες του οργάνου δοκιμής θα πρέπει να τοποθετηθούν σωστά και να ασφαλιστούν πριν τη δοκιμή.

Αναλόγως της τάσης του συστήματος η τάση δοκιμής θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τον πίνακα 5.2 και οι ενδείξεις είναι σε ΜΩ.



## Μέτρηση Αντίσταση μόνωσης – Φωτοβολταϊκές συστοιχίες έως 10kWp

Σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες ισχύος έως 10kWp η αντίσταση μόνωσης θα πρέπει να μετριέται με την τάση δοκιμής που σημειώνεται στον πίνακα 5.2. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι αποδεκτό εφόσον κάθε κύκλωμα έχει αντίσταση μόνωσης όχι μικρότερη από τις τιμές που αναφέρονται στον πίνακα.

Τάση συστήματος ( $V_{OC} (stc) \times 1,25$ ) (V)	Τάση δοκιμής (V)	Ελάχιστη αντίσταση μόνωσης (MΩ)
<120	250	0.5
120 to 500	500	1
>500	1000	1

Πίνακας 5.2: Ελάχιστες τιμές αντίστασης μόνωσης σε φ/β συστοιχίες έως 10Kwp

## Αντίσταση μόνωσης – Φωτοβολταϊκές συστοιχίες μεγαλύτερης ισχύος από 10kWp

Σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες μεγαλύτερης ισχύος από 10kWp, μια από τις δύο ακόλουθες μεθόδους πρέπει να ακολουθηθεί.

### Πρώτη Μεθοδολογία

Εκτελέστε την μέθοδο αντίστασης μόνωσης σε:

- Ανεξάρτητες στοιχειοσειρές.
- Συνδυαζόμενες στοιχειοσειρές, όπου η συνδυαζόμενη ισχύ είναι μικρότερη από 10kWp.

Η αντίσταση μόνωσης πρέπει να μετριέται στην τάση που σημειώνεται στον πίνακα 5.2. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι αποδεκτό εφόσον κάθε κύκλωμα έχει αντίσταση μόνωσης όχι μικρότερη από τις τιμές που αναφέρονται στον πίνακα.

### Δεύτερη Μεθοδολογία

Η δεύτερη μέθοδος είναι μία εναλλακτική η οποία επιτρέπει τη δοκιμή ολόκληρης της συστοιχίας ακόμη και αν αυτή έχει ισχύ μεγαλύτερη από 10kWp. Οι συστοιχίες με ισχύ μεγαλύτερη των 10kWp μπορούν να περάσουν τις απαιτήσεις της δοκιμής (πίνακας 5.2). Στις περιπτώσεις όπου οι μετρούμενες τιμές δεν είναι οι επιθυμητές, θα πρέπει να μετρηθούν ανεξάρτητα οι ομάδες και υποομάδες σύμφωνα με την πρώτη μέθοδο.

Η αντίσταση μόνωσης πρέπει να μετριέται στην τάση που σημειώνεται στον πίνακα 5.2. Το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι αποδεκτό εφόσον κάθε κύκλωμα έχει αντίσταση μόνωσης όχι μικρότερη από τις τιμές που αναφέρονται στον πίνακα 5.2.

Εφόσον οι τιμές των μετρήσεων βρεθούν μικρότερες των επιθυμητών που αναφέρονται στον πίνακα 5.2, το σύστημα πρέπει να επανελεγχθεί χρησιμοποιώντας λιγότερες στοιχειοσειρές στο υπό έλεγχο κύκλωμα.

## 5.4 Διαδικασία δοκιμών – Δεύτερη κατηγορία

### Γενικά

Οι δοκιμές της δεύτερης κατηγορίας μπορούν να υλοποιηθούν σε όλο το τμήμα της εγκατάστασης ή σε ένα δείγμα αυτής.

Σημείωση: Είναι σύνηθες, κυρίως σε μεγάλα συστήματα, να εκτελούνται δειγματοληπτικά κάποιες δοκιμές της δεύτερης κατηγορίας ( ένα συγκεκριμένο ποσοστό στοιχειοσειρών / πλαισίων). Αυτή η επιλεκτική προσέγγιση και ποσοστό επί του συνόλου θα πρέπει να έχει από κοινού συμφωνηθεί με τον πελάτη πριν τις δοκιμές.

### 5.4.1 Καμπύλη I-V στοιχειοσειράς

#### Γενικά

Η δοκιμή καμπύλης I-V στοιχειοσειράς μπορεί να δώσει τις παρακάτω πληροφορίες:

- Μετρήσεις ανοιχτού κυκλώματος στοιχειοσειράς ( $V_{oc}$ ) και ρεύματος βραχυκύκλωσης στοιχειοσειράς ( $I_{sc}$ ).
- Μέτρηση της μέγιστης τάσης ( $V_{mpp}$ ) μέγιστου ρεύματος ( $I_{mpp}$ ) και μέγιστης ισχύος ( $P_{max}$ )
- Μέτρηση της απόδοσης της συστοιχίας.
- Μέτρηση του Fill factor του πάνελ ή της στοιχειοσειράς – ποιοτική τιμή.
- Αναγνώριση πλαισίων ή συστοιχίας με πρόβλημα ή με σκιάσεις.

Πριν την πραγματοποίηση της δοκιμής καμπύλης I-V, η συσκευή μέτρησης θα πρέπει να ελεγχθεί, για να διασφαλιστεί ότι είναι κατάλληλη για την τάση και το ρεύμα του υπό μέτρηση κυκλώματος.

#### Καμπύλη I-V, Μέτρηση των $V_{oc}$ και $I_{sc}$

Η δοκιμή καμπύλης I-V είναι μια αποδεκτή εναλλακτική μέθοδος για την εξαγωγή των τιμών της τάσης ανοιχτού κυκλώματος της στοιχειοσειράς και του ρεύματος βραχυκύκλωσης . Όπου η δοκιμή καμπύλης I-V πραγματοποιείται, δεν απαιτούνται ξεχωριστές δοκιμές  $V_{oc}$  και  $I_{oc}$  εφόσον η δοκιμή γίνει στο κατάλληλο σημείο της ακολουθίας των μετρήσεων της κατηγορίας 1.

Η υπό μέτρηση στοιχειοσειρά θα πρέπει να απομονωθεί και να συνδεθεί στην συσκευή μέτρησης της καμπύλης I-V. Αν ο σκοπός της δοκιμής καμπύλης I-V είναι αποκλειστικά η μέτρηση των  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$  δεν υπάρχει απαίτηση για μέτρηση της ακτινοβολίας (ή της θερμοκρασίας της κυψέλης)

#### Καμπύλη I-V, Απόδοση συστοιχίας

Με κατάλληλες συνθήκες ακτινοβολίας, η δοκιμή I-V παρέχει έναν τρόπο να μετρηθεί η απόδοση μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας και να συγκριθεί με την αναφερόμενη ονομαστική.

Οι μετρήσεις απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών και στοιχειοσειρών θα πρέπει να γίνονται υπό σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας, κατ' ελάχιστο  $400\text{W/m}^2$ , μετρούμενες στο επίπεδο των συστοιχιών.

Σημείωση 1: Μη αξιόπιστες μετρήσεις μπορούν να υπάρξουν εφόσον η δοκιμή πραγματοποιηθεί υπό χαμηλές συνθήκες ακτινοβολίας.

Σημείωση 2: Η μέγιστη ισχύς, ρεύμα και τάση μιας στοιχειοσειράς φωτοβολταϊκών είναι άμεσα επηρεαζόμενα από την ακτινοβολία και τη θερμοκρασία. Σε γενικές γραμμές η μορφή της καμπύλης I-V επηρεάζεται ελαφρά από την ακτινοβολία αλλά κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο η μορφή της αλλάζει δραματικά. Η αλλαγή στην καμπύλη εξαρτάται από την τεχνολογία του φωτοβολταϊκού πλαισίου αλλά και από το στοιχείο εκείνο της απόδοσης του πλαισίου του οποίου έχει μειωθεί η απόδοση με το πέρασμα του χρόνου. Αλλαγές στη μορφή της καμπύλης μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος μετρήσεις και σε εκτιμήσεις όσον αφορά στην απόδοση της συστοιχίας και των πλαισίων, ανεξάρτητα της μεθόδου που επιλέχθηκε για την εκτίμηση της απόδοσης για να εκτιμηθεί η απόδοση της στοιχειοσειράς (Μέσω καμπύλης I-V ή ανεξάρτητων μετρήσεων ρεύματος και τάσης).

**Η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής καμπύλης I-V είναι η ακόλουθη:**

- Το σύστημα θα πρέπει να είναι εκτός λειτουργίας και να μην υπάρχει ροή ρεύματος.
- Η στοιχειοσειρά υπό δοκιμή θα πρέπει να είναι απομονωμένη και συνδεδεμένη στη συσκευή μέτρησης καμπύλης I-V.
- Η συσκευή μέτρησης της ακτινοβολίας που σχετίζεται με την συσκευή μέτρησης της καμπύλης I-V πρέπει να είναι τοποθετημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθεί την κλίση και τον προσανατολισμό της συστοιχίας και να ελεγχθεί ότι δεν επηρεάζεται από κάποια τοπική σκιά ή ανάκλαση.
- Όπου η συσκευή χρησιμοποιεί μέτρηση της θερμοκρασίας κυψέλης, αυτό θα πρέπει να είναι σε στενή επαφή με το πίσω μέρος του πλαισίου και τοποθετημένο κοντά στο κέντρο αυτού. Όπου η συσκευή δοκιμής πραγματοποιεί διορθώσεις στις μετρήσεις λόγω θερμοκρασίας, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος για να διασφαλιστεί ότι έχουν χρησιμοποιηθεί οι σωστές τιμές των χαρακτηριστικών του πλαισίου, ως είσοδος στο όργανο δοκιμής και ότι η τιμή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος είναι εντός του εύρους μέτρησης του οργάνου.

Σημείωση 3: Ο έλεγχος της τάσης ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  πραγματοποιείται για να διασφαλιστεί ότι δεν λείπει κάποιο πάνελ από τη στοιχειοσειρά και, στο μέτρο του δυνατού, ότι δε υπάρχει κάποια βραχυκυκλωμένη διάδος παράκαμψης. Οποιαδήποτε από αυτές τις καταστάσεις θα προκαλέσουν σφάλμα στον υπολογισμό της θερμοκρασίας από την μετρούμενη τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$ .

- Πλησιάζοντας την έναρξη της μέτρησης, το επίπεδο της ακτινοβολίας θα πρέπει να ξαναμετρηθεί, για να βεβαιωθεί ότι είναι μεγαλύτερο του  $400\text{W/m}^2$  στον προσανατολισμό των  $\phi/\beta$  πλαισίων της συστοιχίας.

Με την ολοκλήρωση της δοκιμής, η μετρούμενη μέγιστη τιμή ισχύος θα πρέπει να συγκριθεί με την ονομαστική ισχύ που δηλώνει ο κατασκευαστής των πλαισίων της συστοιχίας υπό

δοκιμή. Η μετρούμενη τιμή θα πρέπει να κυμαίνεται μέσα στο εύρος διακύμανσης των πλαισίων υπό δοκιμή (Λαμβάνοντας υπόψη και την ακρίβεια του οργάνου μέτρησης).

### **Καμπύλη I-V, Αναγνώριση των προβληματικών πλαισίων ή σκιάσεων**

Η μορφή της καμπύλης I-V μπορεί να δώσει πολύτιμες πληροφορίες για την υπο έλεγχο συστοιχία φωτοβολταϊκών. Ελαττώματα τα οποία μπορούν να εντοπιστούν μέσω της μέτρησης είναι τα εξής:

- Πλαίσια / κυψέλες με ζημιά
- Βραχυκυκλωμένες δίοδοι παράκαμψης
- Τοπικές σκιάσεις
- Ανόμοια πάνελ
- Η παρουσία βραχυκυκλώματος στις κυψέλες / πλαίσια / συστοιχία
- Υπερβολική αντίσταση σειράς

Εάν ο στόχος της μέτρησης της καμπύλης I-V είναι να βεβαιώσει ότι δεν υπάρχουν “σκαλοπάτια” ή “εγκοπές” τα οποία έχουν προκληθεί από τη σύνδεση ανόμοιων πάνελ , η μέτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε μικρότερα επίπεδα φωτεινής ακτινοβολίας και με κλίσεις μέτρησης από εκείνη που απαιτείται για τη μέτρηση κατά την εκτίμηση απόδοσης των πλαισίων.

Για τις περισσότερες μετρήσεις μορφής της καμπύλης, η φωτεινή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των  $100\text{W}/\text{m}^2$ . Παρόλα αυτά, χρήσιμα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν και σε μικρότερο επίπεδο ακτινοβολίας. Όπου εντοπιστούν ενδείξεις για σκίαση σε επίπεδα ακτινοβολίας μικρότερα των  $100\text{W}/\text{m}^2$ , ενώ θα πρέπει να διερευνηθεί αν υφίσταται το αναφερόμενο πρόβλημα, η μέτρηση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε μια χρονική στιγμή όπου η ακτινοβολία θα έχει τιμή μεγαλύτερη των  $100\text{W}/\text{m}^2$ .

Κατά την καταγραφή της καμπύλης I-V, η μορφή θα πρέπει να μελετηθεί για τυχόν απόκλιση από την αναμενόμενη καμπύλη. Αποκλίσεις στις καμπύλες I-V απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή καθώς μπορούν να δείξουν σημαντικά προβλήματα τα οποία υπάρχουν στην στοιχειοσειρά. Πληροφορίες για την ερμηνεία των διαφοροποιήσεων μιας καμπύλης I-V περιέχονται στο παράρτημα Δ.

Για συστήματα με πολλαπλές όμοιες στοιχειοσειρές και όπου υπάρχουν σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας, οι καμπύλες τους θα πρέπει να συγκριθούν (με αλληλοεπικάλυψη). Οι καμπύλες θα πρέπει να είναι όμοιες (τυπικά με μια απόκλιση της τάξης του 5% για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας).

Εάν οι συνθήκες ακτινοβολίας δεν είναι σταθερές, μία οπτική σύγκριση μπορεί να βοηθήσει για την αναγωγή των καμπύλων σε κοινό επίπεδο ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ( π.χ. σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής, STC) πριν την σύγκριση με αλληλοεπικάλυψη των καμπυλών.

#### **5.4.2 Επιθεώρηση IR - θερμογραφία**

##### **Γενικά**

Σκοπός της επιθεώρησης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με κάμερα υπέρυθρων, είναι να εντοπίζει ασυνήθιστες διακυμάνσεις θερμοκρασιών στα φωτοβολταϊκά πάνελ, εντός της

εγκατάστασης. Αυτές οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας μπορεί να υποδεικνύουν πρόβλημα στα πλαίσια ή στη συστοιχία, όπως είναι κυψέλες με ανάστροφη πόλωση, σφάλμα διόδων παράκαμψης, σφάλματα σε κολλήσεις, κακές συνδέσεις και άλλες καταστάσεις οι οποίες οδηγούν σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας.

Σημείωση: Εκτός της χρήσης της μέτρησης ως μέρος της αρχικής ή περιοδικής διαδικασίας επιθεώρησης, ο έλεγχος με κάμερα υπερύθρων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση πιθανών προβλημάτων σε πλαίσια, στοιχειοσειρές ή συστοιχίες.

### **Διαδικασία μέτρησης με κάμερα υπερύθρων**

Για την πραγματοποίηση επιθεώρησης με κάμερα υπερύθρων, η συστοιχία θα πρέπει να είναι σε κανονική λειτουργία (οι inverters θα πρέπει να είναι σε λειτουργία MPP). Η φωτεινή ακτινοβολία στη συστοιχία (κλίση – προσανατολισμός) πρέπει να είναι μεγαλύτερη των  $400\text{W/m}^2$  με σταθερές συνθήκες (π.χ. χωρίς παροδικές νεφώσεις). Ιδανικά η ακτινοβολία θα πρέπει να είναι σχετικά σταθερή και μεγαλύτερη από  $600\text{W/m}^2$  στη συστοιχία, για να διασφαλιστεί ότι θα υπάρχει αρκετή ροή ρεύματος στα φωτοβολταϊκά το οποίο θα κάνει ευδιάκριτες όποιες θερμοκρασιακές διαφορές.

Αναλόγως κατασκευής των πλαισίων και της διάταξης των βάσεων, θα πρέπει να διαπιστωθεί ποια μεριά των πλαισίων έχει την πιο ευδιάκριτη θερμική εικόνα, (η διαδικασία αυτή μπορεί να χρειαστεί να επαναληφθεί). Ενδεχομένως η οπίσθια πλευρά των πλαισίων να είναι καλύτερη για την διεξαγωγή της θερμογράφησης σε κάποιες περιπτώσεις.

Κάθε πλαίσιο στη συστοιχία ή υποομάδα υπό έλεγχο, θα πρέπει να σαρωθεί, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις διόδους αποκοπής, στα κουτιά διακλάδωσης, ηλεκτρικές συνδέσεις ή όποιο σημείο εμφανίζει διαφορά θερμοκρασίας από τον μέσο όρο θερμοκρασίας των διπλανών πλαισίων κλπ.

Προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την σάρωση της μπροστινής πλευράς μιας συστοιχίας, κατά την οποία ο χειριστής της κάμερας δεν πρέπει να δημιουργεί σκιές στην υπό εξέταση περιοχή.

Σημείωση: Εξετάζοντας τη συστοιχία από την πίσω πλευρά ελαχιστοποιείται η επίδραση από τις ανακλάσεις πάνω στο τζάμι των πλαισίων, αλλά εξετάζοντας τη συστοιχία από την μπροστινή πλευρά έχουμε συνήθως ευδιάκριτες θερμικές εικόνες λόγω της θερμικής αγωγιμότητας του γυαλιού.

### **Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης με κάμερα υπερύθρων IR**

#### **Γενικά**

Ο έλεγχος αυτός ψάχνει αρχικά για ανωμαλίες στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στην συστοιχία. Οι φυσιολογικές θερμοκρασιακές διαφορές λόγω των σημείων πρόσδεσης, αυτοκόλλητων και άλλων αντικειμένων θα πρέπει να αναγνωριστούν για να αποφευχθεί η καταγραφή τους μη φυσιολογικές θερμοκρασιακές ανωμαλίες.

Σε καθημερινή βάση, η μέση θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μπορεί να έχει σημαντικές διακυμάνσεις, με αποτέλεσμα, η εύρεση μιας μέσης θερμοκρασίας ως σημείο

αναφοράς για εύρεση θερμοκρασιακών ανωμαλιών, να μην είναι πρακτικά εφικτή. Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ των hot spots και της κανονικής λειτουργίας της συστοιχίας είναι η πιο σημαντική. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία της συστοιχίας είναι αποτέλεσμα της ακτινοβολίας, της ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, τα οποία μπορεί να έχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Οι περιοχές των φ/β πάνελ όπου βρέθηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες πρέπει να σημειωθούν ή επάνω στα πάνελ ή στο σχέδιο της κάτοψης της μονάδας. Στην συνέχεια πρέπει να εξεταστεί κάθε θερμική ανωμαλία για να διερευνηθεί ο λόγος δημιουργίας της. Για να μπορέσει να γίνει αυτό θα πρέπει να πραγματοποιηθεί οπτικός και ηλεκτρολογικός (Στοιχειοσειράς και πλαισίου) έλεγχος. Η εκτέλεση δοκιμής καμπύλης I-V σε ένα ή περισσότερα πλαίσια στα οποία εντοπίστηκε θερμοκρασιακή ανωμαλία θα αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για διερεύνηση και πρόσθετη τεκμηρίωση.

Με μια κάμερα IR ευρυγώνιου φακού, είναι εφικτό να εντοπιστούν πάνελ ή στοιχειοσειρές τα οποία δεν παράγουν ή δεν είναι συνδεδεμένα, καθώς η συνολική τους θερμοκρασία θα είναι σημαντικά μικρότερη αυτών των γειτονικών τα οποία είναι υπό λειτουργία.

Σε κάποιες περιπτώσεις η επανάλυση της σάρωσης σε ένα τμήμα της συστοιχίας το οποίο είναι ανοιχτοκυκλωμένο μπορεί να δώσει αρκετές πληροφορίες. Για τον σκοπό αυτό θα πρέπει το κύκλωμα να παραμείνει για τουλάχιστον 15 λεπτά ανοιχτό με σκοπό την θερμοκρασιακή επαναφορά του. Εφόσον η θερμοκρασία των πλαισίων δεν αλλάξει, αυτό υποδεικνύει ότι ενδέχεται να μην παράγουν ενέργεια όταν ήταν συνδεδεμένα και συνεπώς είτε δεν είναι συνδεδεμένα, είτε έχουν βλάβη.

#### **Αποτελέσματα δοκιμής IR – Hot spot πλαισίων**

Η θερμοκρασία των πλαισίων θα πρέπει να είναι σχετικά όμοια, χωρίς περιοχές με σημαντικά διαφορετικές θερμοκρασίες. Παρόλα αυτά, στην περιοχή όπου είναι τοποθετημένο το κουτί διακλάδωσης, η περιοχή θα είναι θερμότερη, συγκριτικά με το υπόλοιπο πλαίσιο καθώς η θερμοκρασία δε απάγεται με τον ίδιο τρόπο στο περιβάλλον σε εκείνο το σημείο. Είναι επίσης φυσιολογικό να υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά στα άκρα των φ/β πλαισίων, στις ετικέτες που υπάρχουν κολλημένες, στα περιφερειακά καθώς και στις συνδέσεις.

Ένα σημείο με υψηλή θερμοκρασία (Hot spot) σε άλλο οποιαδήποτε άλλο σημείο του πλαισίου από αυτά που αναφέρθηκαν, υποδεικνύει ηλεκτρικό πρόβλημα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να διερευνηθεί η απόδοση του πλαισίου το οποίο εμφανίζει σημεία με υψηλές θερμοκρασίες. Ο οπτικός έλεγχος μπορεί να δείξει σημάδια υπερθέρμανσης, όπως καφέ στίγματα ή αποχρωματισμένες περιοχές.

#### **Αποτελέσματα δοκιμής IR – Δίοδοι παράκαμψης**

Αν κάποιες από τις διόδους παράκαμψης είναι ζεστές (ενεργοποιημένες), πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος της συστοιχίας για προφανείς αιτίες οι οποίες μπορεί να προκάλεσαν την ενεργοποίηση των διόδων, όπως είναι η σκίαση, η σκόνη, κλπ. επάνω στο πλαίσιο του οποίου έχει ενεργοποιηθεί η δίοδος. Αν δεν υπάρχει προφανής λόγος, υπάρχει πιθανότητα το πλαίσιο να είναι προβληματικό.

## **Αποτελέσματα δοκιμής IR – Συνδέσεις καλωδιώσεων**

Οι συνδέσεις των καλωδίων μεταξύ των πλαισίων θα πρέπει να μην είναι σημαντικά θερμότερες από το ίδιο το καλώδιο. Αν οι συνδέσεις έχουν υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή του καλωδίου θα πρέπει να γίνει έλεγχος για χαλαρές συνδέσεις ή οξειδωμένες συνδέσεις, οι οποίες θα πρέπει να αντικατασταθούν.

### **5.5 Διαδικασίες δοκιμών – Πρόσθετες δοκιμές**

Οι πρόσθετες δοκιμές δεν αποτελούν υποχρεωτικές δοκιμές κατά το πρότυπο. Εφαρμόζονται μόνο κατά περίπτωση εφόσον υπάρχει πεδίο εφαρμογής και σκοπιμότητα για την εφαρμογή αυτών.

#### **5.5.1 Δυναμικό ως προς γη – Συστήματα με αντίσταση προς γη**

Αυτή η δοκιμή χρησιμοποιείται για να εκτιμηθούν τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν σύνδεση υψηλής αντίστασης προς γη. Συγκεκριμένες μεθοδολογίες δοκιμών είναι διαθέσιμες από τους κατασκευαστές των πλαισίων, οι οποίοι χρησιμοποιούν συστήματα υψηλής αντίστασης για τη λειτουργία των πλαισίων τους.

Οι δοκιμές αυτές θα πρέπει να πραγματοποιηθούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών των πλαισίων, για να επιβεβαιωθεί ότι η αντίσταση που υπάρχει, έχει την κατάλληλη τιμή και διατηρεί το κύκλωμα DC σε ικανοποιητικές τιμές τάσης ως προς γη ή εντός συγκεκριμένου εύρους για το ρεύμα διαρροής. Οι αποδεκτές αυτές τιμές δυναμικού ως προς γη θα πρέπει να δοθούν από τους κατασκευαστές των πλαισίων.

#### **5.5.2 Δοκιμή διόδου αποκοπής**

Οι διόδοι αποκοπής μπορεί να χαλάσουν και στις δύο καταστάσεις, είτε ανοιχτές, είτε κλειστές. Αυτή η δοκιμή είναι σημαντική για εγκαταστάσεις όπου έχουν εγκατασταθεί διόδοι αποκοπής.

Όλες οι διόδοι θα πρέπει να επιθεωρηθούν για να διασφαλιστεί ότι είναι σωστά συνδεδεμένες (ορθή πολικότητα) και ότι δεν υπάρχει ένδειξη υπερθέρμανσης ή ανθρακοποίησης.

Σε κανονική λειτουργία, η τάση στα άκρα της διόδου αποκοπής ( $V_{BD}$ ) θα πρέπει να μετρηθεί. Κριτήριο για την καλή κατάσταση της διόδου είναι η τάση να είναι μεταξύ 0,5V και 1,65V. Όπου η τάση είναι εκτός του συγκεκριμένου εύρους, το σύστημα θα πρέπει να επιθεωρηθεί περαιτέρω για να διερευνηθεί αν η χαλασμένη διάδος είναι μεμονωμένο γεγονός ή το αποτέλεσμα ενός άλλου σφάλματος.

#### **5.5.3 Φωτοβολταϊκή συστοιχία – Δοκιμή αντίστασης μόνωσης με καταιονισμό**

##### **Γενικά**

Η δοκιμή μόνωσης με καταιονισμό χρησιμοποιείται κυρίως για την εύρεση σφαλμάτων. Μέσω της συγκεκριμένης δοκιμής έχουμε αξιολόγηση της μόνωσης της φωτοβολταϊκής

συστοιχίας υπο υγρές-βρόχινες συνθήκες λειτουργίας. Η δοκιμή αυτή προσομοιώνει την βροχή ή την πάχνη επάνω στην συστοιχία και την καλωδίωση και επιβεβαιώνει ότι η υγρασία δεν θα εισέλθει σε ενεργά μέρη της ηλεκτρικής καλωδίωσης της συστοιχίας, ενισχύοντας την οξείδωση, δημιουργώντας σφάλματα ως προς γη, ή να προκαλώντας ηλεκτρικό σφάλμα, το οποίο θα εκθέσει σε κίνδυνο το προσωπικό ή την εγκατάσταση.

Η δοκιμή αυτή είναι αποτελεσματική στο να βρει σφάλματα στο επίγειο τμήμα της εγκατάστασης, όπως φθορές στην καλωδίωση, ανεπαρκώς σφραγισμένα καλύμματα κουτιών διακλάδωσης και άλλα παρόμοια προβλήματα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίσει κατασκευαστικές ή σχεδιαστικές ατέλειες, συμπεριλαμβάνοντας τρύπες στα υποστρώματα των πολυμερών, ρωγμές σε κουτιά διακλάδωσης, ανεπαρκώς σφραγισμένες θήκες διόδων, και ακατάλληλους συνδέσμους (κατασκευασμένους για χρήση εντός στεγασμένων χώρων).

Η δοκιμή αντίστασης μόνωσης με καταιονισμό υλοποιείται τυπικά όταν τα αποτελέσματα της κανονικής δοκιμής αντίστασης μόνωσης είναι υπό αμφισβήτηση, ή όταν υπάρχουν σφάλματα μόνωσης και υπάρχει υποψία ότι προέρχονται από την εγκατάσταση ή λόγω κατασκευαστικών ελαττωμάτων.

Η δοκιμή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλη τη συστοιχία ή σε μεγάλα συστήματα σε συγκεκριμένα τμήματα της εγκατάστασης (συγκεκριμένα εξαρτήματα ή υποομάδες της συστοιχίας). Όταν ελέγχονται μόνο τμήματα της εγκατάστασης, αυτά τυπικά επιλέγονται λόγω γνώσης ή υπόνοιας προβλήματος το οποίο έχει εντοπιστεί μέσω άλλων δοκιμών ή ελέγχων. Σε κάποιες περιπτώσεις, η δοκιμή αντίστασης μόνωσης με καταιονισμό μπορεί να πραγματοποιηθεί δειγματοληπτικά σε τμήματα της εγκατάστασης.

### **Διαδικασία δοκιμής αντίστασης μόνωσης με καταιονισμό**

Η διαδικασία που ακολουθείται πρέπει να είναι όπως περιγράφεται στην κανονική δοκιμή αντίστασης μόνωσης, αλλά με ένα πρόσθετο αρχικό μέρος καταιονισμού της συστοιχίας.

Πριν τη δοκιμή, το τμήμα της συστοιχίας που θα ελεγχθεί θα πρέπει να βραχεί διεξοδικά με ένα μείγμα νερού και καθαριστικού. Το μείγμα θα πρέπει να ψεκαστεί επάνω στα μέρη της συστοιχίας που θα ελεγχθεί. Πριν τη δοκιμή το τμήμα της συστοιχίας που θα εξεταστεί, θα πρέπει να ελεγχθεί για να επιβεβαιωθεί ότι τα μέρη εκείνα έχουν βραχεί επαρκώς, περιλαμβάνοντας το μπροστινό και πίσω μέρος των πλαισίων, μαζί με τα κουτιά διακλάδωσης και την καλωδίωση.

Η εκτέλεση αυτής της δοκιμής ενέχει κίνδυνο ηλεκτροπληξίας και οι προφυλάξεις που περιγράφονται στην κανονική δοκιμή αντίστασης δοκιμής θα πρέπει να ακολουθούνται. Για την επιλογή των ατομικών μέσω προστασίας που θα χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να έχουν ληφθεί υπόψη οι υγρές συνθήκες που θα επικρατούν κατά τη δοκιμή.

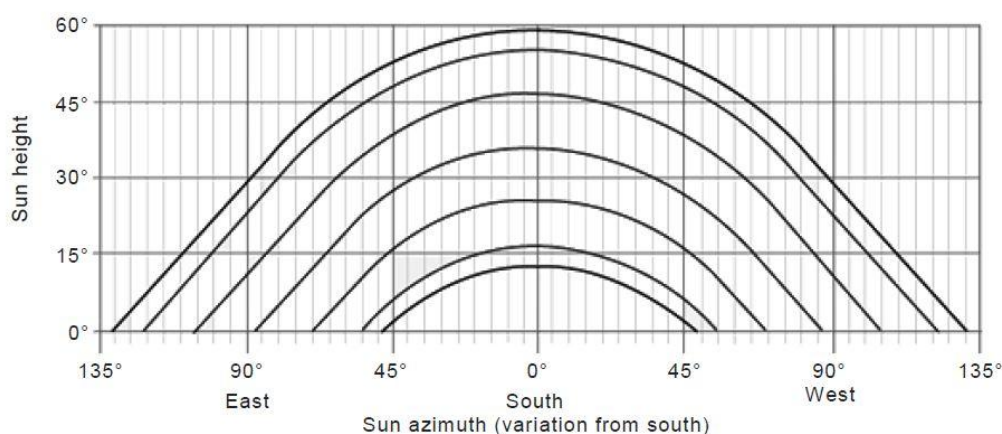
Προτείνεται η δοκιμή αυτή να εκτελείται κατ' ελάχιστο από δύο άτομα (καθώς η υγρασία και το νερό εξατμίζεται γρήγορα οδηγώντας σε διακυμάνσεις των αποτελεσμάτων). Ένα άτομο θα πρέπει να εκτελεί τις μετρήσεις, αφού ένα δεύτερο άτομο έχει ολοκληρώσει το βρέξιμο της υπό έλεγχο περιοχής και έχει δώσει έγκριση για την έναρξη της δοκιμής.



### 5.5.4 Εκτίμηση σκιάσεων

Ο σκοπός της εκτίμησης σκιάσεων είναι για να καταγραφούν οι σκιάσεις και ο ορίζοντας την χρονική στιγμή των δοκιμών – ώστε να δημιουργηθεί μια βάση αναφοράς για μελλοντική χρήση.

Για μικρά συστήματα, η καταγραφή των σκιάσεων θα πρέπει να γίνει όσο κεντρικά γίνεται στη συστοιχία. Για μεγαλύτερα συστήματα, ή για συστήματα με πολλαπλές υποομάδες ή με πολλαπλές σκιάσεις, μία σειρά από μετρήσεις σκιάσεων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την καταγραφή των σκιάσεων. Μια κατάλληλη μέθοδος είναι η καταγραφή των σκιάσεων στην τροχιά του ήλιου όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.1.



Διάγραμμα 5.1: Παράδειγμα – Διάγραμμα της διαδρομής του ήλιου

Σημείωση: Αυτό είναι ένα παράδειγμα της διαδρομής του ήλιου μόνο. ( Η διαδρομή του ήλιου διαφέρει από το γεωγραφικό πλάτος του σημείου εγκατάστασης της μονάδας)

Σε όλες τις περιπτώσεις το αρχείο καταγραφής των σκιάσεων θα πρέπει:

- Να καταγράφει το σημείο από το οποίο έγιναν οι καταγραφές των σκιάσεων.
- Υπόδειξη του Βορρά ή Νότου (ανάλογα με την περίπτωση).
- Οι καταγραφές να είναι σε κλίμακα έτσι ώστε να φαίνεται το μέγεθος του αντικειμένου που δημιουργεί τη σκιά.

Σημείωση: Μια περιγραφή όσον αφορά στα στοιχεία που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα σκιάσεων στο μέλλον μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη ως καταγραφή. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει κατασκευές υπό ανέγερση, προγραμματισμένες για κατασκευή, αύξηση της βλάστησης σε σημείο όπου θα δημιουργεί πρόβλημα σκιάσεων στην συστοιχία.

### 5.6 Εκθέσεις αξιολόγησης

#### Γενικά

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αξιολόγησης, θα πρέπει να εκδοθεί μία έκθεση η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Περίληψη περιγραφής του συστήματος (όνομα, διεύθυνση, κλπ).
- Μία λίστα με τα κυκλώματα που επιθεωρήθηκαν και ελέγχθηκαν.
- Αντίγραφο της επιθεώρησης.
- Αντίγραφο των μετρήσεων για κάθε κύκλωμα που ελέγχθηκε.
- Χρονικό διάστημα μέχρι την επόμενη επιθεώρηση.
- Υπογραφή του ατόμου-ατόμων που έκαναν την επιθεώρηση.

### **5.6.1 Αρχική αξιολόγηση**

Η αξιολόγηση μιας νέας εγκατάστασης πρέπει να λάβει χώρα σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που έχουν αναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους 5.2 έως 5.5 του προτύπου. Η αρχική έκθεση αξιολόγησης θα πρέπει να περιλαμβάνει πληροφορίες αναφορικά με το άτομο-α υπεύθυνα για την σχεδίαση, κατασκευή και αξιολόγηση του συστήματος και την έκταση των αρμοδιοτήτων τους.

Η αρχική έκθεση αξιολόγησης θα πρέπει να κάνει προτάσεις για την χρονική περίοδο μεταξύ των περιοδικών επιθεωρήσεων. Αυτό θα αποφασιστεί λαμβάνοντας υπόψη τον τύπο της εγκατάστασης και του εξοπλισμού, την χρήση και την λειτουργία του, την συχνότητα και την ποιότητα της συντήρησης και τις εξωτερικές επιδράσεις που μπορεί να την επηρεάζουν.

### **5.6.2 Περιοδική αξιολόγηση**

Η περιοδική αξιολόγηση μιας υπάρχουσας μονάδας θα πρέπει να λάβει χώρα σύμφωνα με τις απαιτήσεις των παραγράφων 5.2 έως 5.5 του προτύπου. Όπου είναι εφικτό, τα αποτελέσματα και οι προτάσεις προηγούμενων περιοδικών αξιολογήσεων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Η έκθεση της περιοδικής αξιολόγησης θα πρέπει να παραδίδεται στον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης. Η έκθεση θα πρέπει να περιλαμβάνει λίστα με τα πιθανά ευρήματα όπως και προτάσεις για επεμβάσεις ή βελτιώσεις ( για να είναι σύμφωνη με τα ισχύοντα πρότυπα).

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η παρουσίαση του προτύπου IEC 62446-1:2016. Στα παραρτήματα Α,Β,Γ,Δ περιέχεται αντίστοιχα υπόδειγμα πιστοποιητικού επιθεώρησης, υπόδειγμα έκθεσης επιθεώρησης, υπόδειγμα έκθεσης δοκιμών φ/β συστοιχίας και πληροφορίες για την ερμηνεία των μορφών των καμπυλών – χαρακτηριστικών I-V.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν ευρήματα από επιθεωρήσεις που πραγματοποιήσαμε, στα πλαίσια της εταιρείας energy4free, σε φ/β εγκαταστάσεις τα τελευταία χρόνια.

# Κεφάλαιο 6

## **6 Επιθεωρήσεις φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων στο πεδίο με το πρότυπο IEC 62446-1:2016**

### Γενικά

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μια σειρά από επιθεωρήσεις σε είκοσι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μικρής ισχύος (εώς 10kWp), μέσω της εταιρείας energy4free. Για την πραγματοποίηση των επιθεωρήσεων χρησιμοποιήθηκε μια λίστα από όργανα μετρήσεων. Ενδεικτικά αναφέρονται μια σειρά οργάνων τα οποία θα πρέπει να έχει ο τεχνικός ή επιθεωρητής της εγκατάστασης για να φέρει εις πέρας τις δοκιμές της πρώτης και δεύτερης κατηγορίας.

### 6.1 Όργανα επιθεωρήσεων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την επιθεώρηση των φ/β εγκαταστάσεων μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες. Αυτές είναι οι δύο κατηγορίες ελέγχων - μετρήσεων. Συγκεκριμένα στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται τα εξής όργανα μετρήσεων:

- Πολύμετρο

Το πολύμετρο είναι το βασικό όργανο μέτρησης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το όργανο να είναι διακριβωμένο για μέτρηση σε τάσεις και ρεύματα του επιπέδου της φ/β μονάδας και να μετράει σε RMS. Για τη συγκεκριμένη επιθεώρηση θα πρέπει να είναι ικανό να μετράει τάση και ρεύμα σε συνεχές (DC) και εναλλασσόμενο (AC). Στη συνεχή τάση θα πρέπει να μπορεί να μετρήσει τάση μεγαλύτερη των 1000VDC η οποία είναι και η μέγιστη τάση στα Ευρωπαϊκά συστήματα μέχρι στιγμής (υπάρχει περίπτωση η τάση αυτή να φτάσει από τα 1000VDC στα 1500VDC στο άμεσο μέλλον). Εφόσον χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο πολικότητας, με τη χρήση της δεύτερης μεθοδολογίας που έχει περιγραφεί στη μεθοδολογία της δοκιμής πολικότητας, τότε θα πρέπει να μπορεί να μετρήσει τάση μεγαλύτερη της διπλάσιας τάσης  $V_{oc}$  της υπό έλεγχο στοιχειοσειράς.

- Αμπεροτσιμπίδα DC/AC

Η αμπεροτσιμπίδα είναι και αυτή ένα βασικό εργαλείο για τον έλεγχο των τάσεων και των ρευμάτων, των υπό λειτουργία συστημάτων, και είναι πολύ βοηθητική για την ταυτοποίηση των ενδείξεων που εμφανίζουν οι αντιστροφείς κατά τη λειτουργία τους. Π.χ. ένταση του ρεύματος DC της στοιχειοσειράς νούμερο 1 ή ρεύμα φάσεων στην έξοδο του αντιστροφέα.

- Γειωσόμετρο

Το γειωσόμετρο δεν εντάσσεται στα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις δοκιμές της κατηγορίας 1 ή 2. Αποτελεί συμπληρωματικό όργανο το οποίο πρέπει να χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της τιμής της αντίστασης και κατά πόσο αυτή είναι εντός προδιαγραφών. Ο έλεγχος αυτός θα πρέπει να γίνεται πριν την έναρξη λειτουργίας της εγκατάστασης, αλλά και κατά τον τακτικό έλεγχο της. Η μέτρηση αυτή εντάσσεται στον έλεγχο του συστήματος γείωσης.

- Όργανο μέτρησης αντίστασης μόνωσης

Το όργανο μέτρησης αντίστασης γείωσης χρησιμοποιείται στην αντίστοιχη δοκιμή. Θα πρέπει να είναι διακριβωμένο και να έχει τη δυνατότητα επιλογής της τάσης δοκιμής η οποία θα πρέπει να είναι αντίστοιχη της τάσης λειτουργίας του συστήματος.

- Όργανο ελέγχου ηλεκτρικών εγκαταστάσεων κατά HD 384

Το συγκεκριμένο όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο καλής λειτουργίας των RCD εφόσον αυτά είναι εγκατεστημένα στο πίνακα AC της εγκατάστασης. Επιπλέον ενδέχεται να περιλαμβάνουν μέτρηση αντίστασης μόνωσης, μέτρηση αντίστασης γείωσης, να περιέχουν αμπεροτσιμπίδες AC κλπ και συνεπώς να μην είναι απαραίτητη η χρήση ξεχωριστών οργάνων.

- Εξειδικευμένο όργανο εκτέλεσης μετρήσεων επιθεώρησης φ/β πρώτης κατηγορίας

Λόγω της ανάγκης εκτέλεσης διαφορετικών ελέγχων επί των φ/β εγκαταστάσεων, τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί όργανα τα οποία περιλαμβάνουν τις μετρήσεις της πρώτης κατηγορίας δοκιμών τα οποία πραγματοποιούν μετρήσεις σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62446-1:2016.

Με τη χρήση αυτών των οργάνων γίνεται εύκολα και με ασφάλεια για τον χρήστη ο έλεγχος της φ/β μονάδας. Συγκεκριμένα, μπορούν να πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις της πρώτης κατηγορίας, δηλαδή έλεγχος πολικότητας, τάση ανοιχτού κυκλώματος, ρεύμα βραχυκύκλωσης και αντίσταση μόνωσης. Ορισμένα όργανα έχουν και ενσωματωμένο φωτόμετρο για να μπορεί να γίνεται ταυτόχρονη καταγραφή της φωτεινής ακτινοβολίας κατά την μέτρηση. Η καταγραφή αυτή της φωτεινής ακτινοβολίας θα βοηθήσει για σύγκριση τιμών σε επόμενες επιθεωρήσεις.

### **Όργανα για πραγματοποίηση των δοκιμών της δεύτερης κατηγορίας**

Τα όργανα μετρήσεων της δεύτερης κατηγορίας ελέγχων είναι τα εξής:

- Φωτόμετρο

Το φωτόμετρο αποτελεί όργανο το οποίο χρησιμοποιείται στη δεύτερη κατηγορία μετρήσεων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της φωτεινής ακτινοβολίας που δέχονται τα πάνελ  $W/m^2$ . Αυτό γίνεται για να αποφασιστεί αν θα γίνει η μέτρηση ή όχι της

καμπύλης I-V και να εκτιμηθεί αν υπάρχουν σταθερές συνθήκες για την πραγματοποίηση της μέτρησης. Παρόλα αυτά προτείνεται ανεπιφύλακτα η χρησιμοποίηση του φωτόμετρου και στην πρώτη κατηγορία δοκιμών, καθώς οι τιμές  $V_{OC}$  και  $I_{SC}$  επηρεάζονται από τη φωτεινή ακτινοβολία (Η τάση  $V_{oc}$  επηρεάζεται σε μικρό ενώ το ρεύμα  $I_{sc}$  σε μεγάλο βαθμό). Η μέτρηση της φωτεινής ακτινοβολίας, κατά την γνώμη του γράφοντος, θα πρέπει να καταγράφεται με σκοπό τη σύγκριση καθώς και για μελλοντική χρήση.

Σε μερικές περιπτώσεις τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της καμπύλης I-V περιλαμβάνουν φωτόμετρο για την αναγωγή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων κατά STC.

- Όργανο μέτρησης καμπύλης I-V

Το όργανο μέτρησης καμπύλης I-V δημιουργήθηκε από την ανάγκη ελέγχου της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα όργανα αυτά ήταν αρχικά όργανα «πάγκου», αλλά λόγω της ανάγκης για ελέγχους στο πεδίο, δημιουργήθηκαν τα τελευταία χρόνια όργανα τα οποία είναι φορητά και ευέλικτα στη χρήση τους. Συνήθως περιλαμβάνουν μέτρηση φωτεινότητας και θερμοκρασίας πάνελ για να είναι εφικτή η αναγωγή των μετρήσεων. Συνήθως υπάρχει η δυνατότητα συνδεσιμότητας με H/Y και καταγραφή των μετρήσεων σε μνήμη, για τη δημιουργία αναφορών με το πέρας των ελέγχων ή για τον περαιτέρω έλεγχο των αποτελεσμάτων στο γραφείο. Υπάρχουν διάφορες υλοποιήσεις αναλόγως κατασκευαστή. Η μέτρηση της καμπύλης I-V είναι κατά τη γνώμη του γράφοντος, η πλέον αποδοτική μέθοδος μέτρησης στο πεδίο. Παρόλα αυτά είναι μια δοκιμή η οποία είναι χρονοβόρα, καθώς υπάρχει η ανάγκη προετοιμασίας των αισθητήρων αλλά και εύρεσης των καλωδιώσεων στους πίνακες διακλάδωσης.

- Θερμογραφική κάμερα IR

Η θερμογραφική κάμερα IR για την μέτρηση της θερμοκρασίας των Φωτοβολταϊκών πάνελ θα πρέπει να έχει αισθητήρα με πολύ καλή ανάλυση καθώς και ευρυγώνιο φακό για να μπορεί να φαίνεται η συνολική επιφάνεια του πάνελ. Έχοντας την συνολική εικόνα του πάνελ στην οθόνη της κάμερας μπορούν να εντοπιστούν οι τυχόν διακυμάνσεις θερμοκρασιών όπου αυτές υπάρχουν.

Σημείωση: Η χρήση της Θερμογραφικής κάμερας μπορεί να επεκταθεί στον έλεγχο των ηλεκτρολογικών πινάκων, στον έλεγχο των καλωδιώσεων, στον έλεγχο της θερμοκρασίας του Μ/Σ Μ.Τ. κλπ.

## 6.2 Επιθεωρήσεις Φ/Β εγκαταστάσεων

Σε αυτή τη παράγραφο θα παρουσιαστούν τα ευρήματα από τις επιθεωρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Οι επιθεωρήσεις αυτές αφορούν κυρίως φ/β συστήματα έως 10kWp τα οποία είναι εγκατεστημένα σε στέγες και δώματα.

### 6.2.1 Τεκμηρίωση φωτοβολταϊκής μονάδας

Η πλειοψηφία των φωτοβολταϊκών μονάδων διέθετε “φάκελο εγκατάστασης”. Ο αναφερόμενος ως “φάκελος εγκατάστασης” εννιά στις δέκα φορές δεν αποτελούταν από τα

έγγραφα τα οποία αναφέρει το πρότυπο ότι πρέπει να περιέχει. Σε αυτές τις εννιά εγκαταστάσεις αυτό που περιείχε ο φάκελος ήταν:

- Η αρχική προσφορά της εταιρείας που ανέλαβε την υλοποίηση της εγκατάστασης.
- Οικονομοτεχνική μελέτη της εταιρείας που ανέλαβε την υλοποίηση της εγκατάστασης.
- Σύμβαση συμψηφισμού με ΔΕΗ.
- Διαφημιστικά φυλλάδια του inverter ή και των φ/β πλαισίων.
- Ασφαλιστήριο συμβόλαιο ή χαρτιά του δανείου του τραπεζικού ιδρύματος που χρηματοδότησε την επένδυση.

Σε μία από τις δέκα εγκαταστάσεις υπήρχαν τα σημαντικότερα έγγραφα τα οποία αναφέρει το πρότυπο, όπως είναι τα στοιχεία του συστήματος, τα στοιχεία του μελετητή, τα στοιχεία του κατασκευαστή κλπ. Παρόλα αυτά υπήρχαν ελλείψεις οι οποίες ήταν οι εξής:

- Η χωροθέτηση των πάνελ της εγκατάστασης χωρίς όμως το μονογραμμικό διάγραμμα της καλωδίωσης της εγκατάστασης.
- Υπήρχαν τα τεχνικά φυλλάδια του inverter και των πλαισίων αλλά όχι όλων των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση όπως είναι:
  - οι βάσεις στήριξης.
  - τα υλικά των πινάκων.
  - των SPDs.
  - των καλωδιώσεων DC.
  - των καλωδιώσεων AC.
  - των βυσμάτων φ/β.
  - των πινάκων.
  - των υλικών όπως σπирάλ όδευσης καλωδίων κ.λ.π.
- Έλλειψη φύλλου ελέγχου δοκιμών πριν την ενεργοποίηση της εγκατάστασης.
- Έλλειψη φύλλου ελέγχου μετά την ενεργοποίηση της εγκατάστασης.
- Έλλειψη οδηγιών λειτουργίας και συντήρησης της μονάδος.

### 6.2.2 Επιθεώρηση

Κατά την επιθεώρηση διαπιστώθηκαν διάφορες περιπτώσεις αστοχιών. Κάποιες από αυτές δεν άπτονται της σωστής εγκατάστασης αλλά της κακής σχεδίασης, με αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση του συστήματος. Συγκεκριμένα διαπιστώθηκαν οι εξής περιπτώσεις στις υπό έλεγχο εγκαταστάσεις:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα με μηδενική κλίση.



Φωτογραφία 6.1: Πάνελ τοποθετημένα με μηδενική κλίση.

- Πάνελ τοποθετημένα με βόρειο προσανατολισμό.
- Πάνελ τα οποία ανήκουν ηλεκτρικά στην ίδια στοιχειοσειρά αλλά έχουν διαφορετικό προσανατολισμό ή κλίση.



Φωτογραφία 6.2: Φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία ανοίκουν στην ίδια στοιχειοσειρά εγκατεστημένα με 3 διαφορετικές κλίσεις.

- Πάνελ τοποθετημένα σε σημείο με συνεχή σκίαση σε μεγάλες περιόδους του έτους.



Φωτογραφία 6.3 :Φωτοβολταϊκά πάνελ εγκατεστημένα σε σημείο με μόνιμη σκίαση.

- Απουσία γειώσεων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και βάσεις.
- Οξειδωμένες βάσεις στήριξης.



Φωτογραφία 6.4 :Οξειδωμένη βάση στήριξης αλουμινίου.

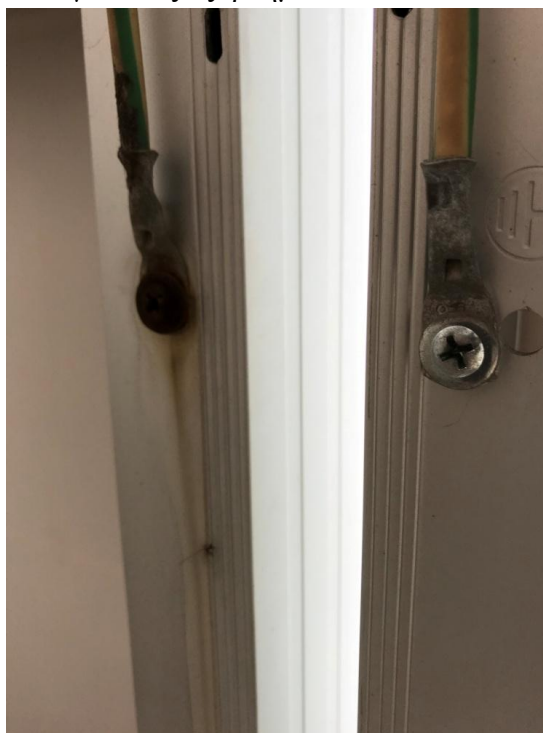


- Βάσεις στήριξης πλαισίων οι οποίες δεν είχαν αγκυρώσεις σε όλα τα σημεία πρόσδεσης με το κτήριο.



Φωτογραφία 6.5 :Βάση στήριξης χωρίς την προβλεπόμενη από τον κατασκευαστή αγκύρωση

- Οξειδωμένα εξαρτήματα σε γειώσεις εξαρτημάτων



Φωτογραφία 6.6 :Οξειδωμένες τρυπανόβιδες στις συνδέσεις των αγωγών γείωσης

- Λάθη σε συνδέσεις αγωγών γείωσης.



Φωτογραφία 6.7 : Αγωγοί γείωσης τοποθετημένοι σε Φ/Β βάσεις στήριξης χωρίς τους κατάλληλους συνδέσμους σύνδεσης.

- Οξειδώσεις σε εξοπλισμό.



Φωτογραφία 6.8: Οξειδωμένο περίβλημα Power optimizer.

- Πολυμερισμένα πλαστικά πινάκων και μηχανημάτων.



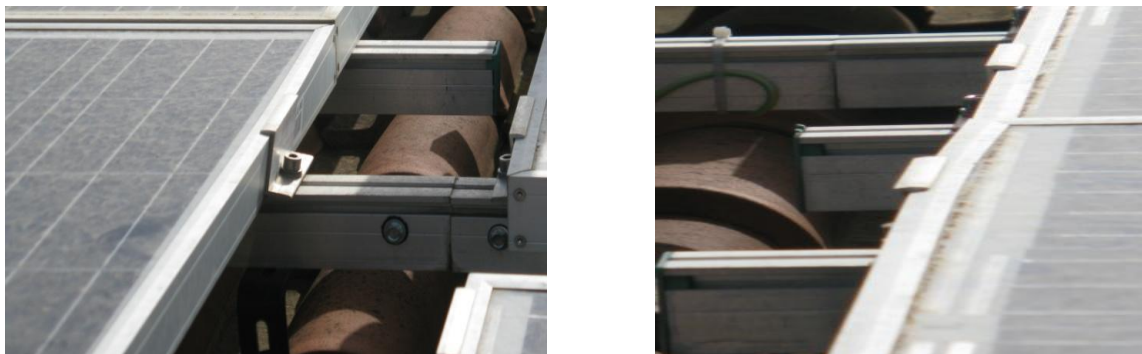
Φωτογραφία 6.9: Πολυμερισμένο καπάκι οθόνης inverter

- Κακές συσφίξεις εξαρτημάτων όπως διακόπτες, ασφαλειοαποξεύκτες κλπ



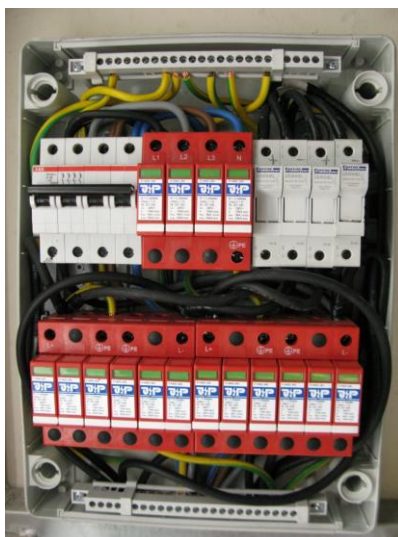
Φωτογραφία 6.10 : Κακές συσφίξεις καλωδίων οι οποίες οδήγησαν σε καταστροφή εξαρτημάτων και βλάβες.

- Κακή σύσφιξη των φωτοβολταϊκών πάνελ επάνω σε βάσεις (χρήση ηλεκτρικού εργαλείου χωρίς δυναμόκλειδο) που οδήγησε σε στρέβλωση του πλαισίου του Φωτοβολταϊκού.



Φωτογραφία 6.11 : Κάμψη του σασί Φ/Β πλαισίων λόγω υπερβολικής σύσφιξης επι των βάσεων

- Απουσία σημάνσεων καλωδίων.



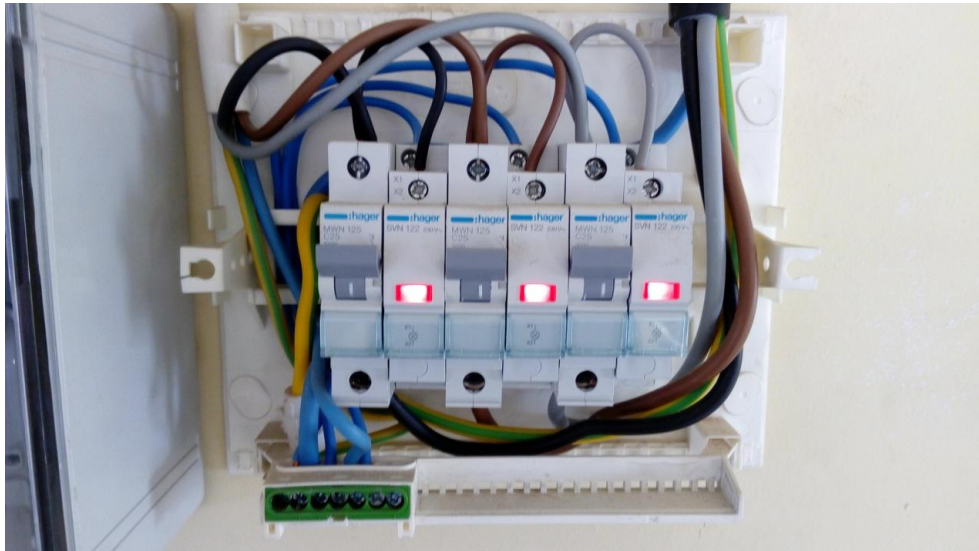
Φωτογραφία 6.12 :Απουσία σημάνσεων σε καλωδιώσεις

- Απουσία σημάνσεων πινάκων.



Φωτογραφία 6.13 :Πίνακες με απουσία σημάνσεων

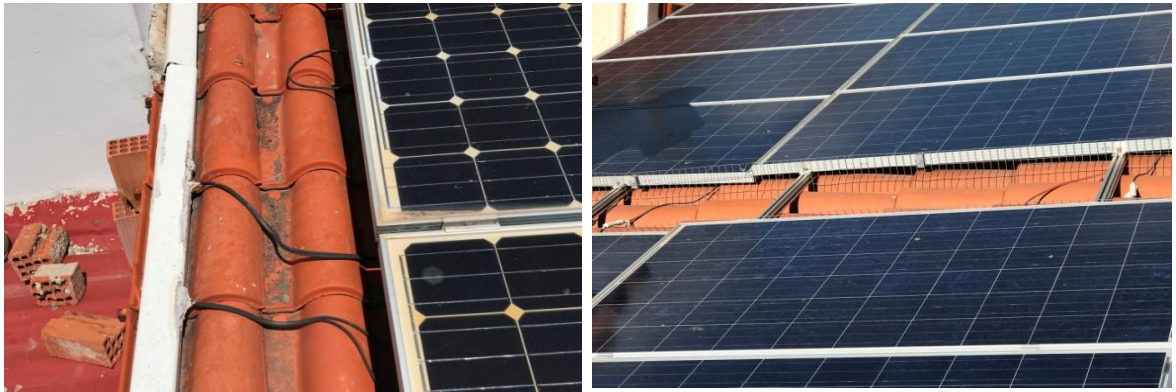
- Ακατάλληλα ηλεκτρολογικά και λοιπά εξαρτήματα.



Φωτογραφία 6.14 : Λάθος επιλογή ραγουλικού σε 3Φ πίνακα AC

- Λάθη στην επιλογή των εξαρτημάτων.
- Εκτεθειμένες καλωδιώσεις σε κρούση και UV ακτινοβολία.





Φωτογραφία 6.15: Εκτεθειμένες καλωδιώσεις σε κρούση και UV ακτινοβολία

- Εγκαταστάσεις εκτός λειτουργίας.



Φωτογραφία 6.16 : Inverter εκτός λειτουργίας λόγω βλαβών

- Λάθη σε συνδέσεις στοιχειοσειρών σε αντικεραυνικά SPDs και πίνακες.



Φωτογραφία 6.17:

Πίνακας DC με 3 ανεξάρτητες στοιχειοσειρές και ένα αντικεραυνικό (παράλληλίζει λανθασμένα τις στοιχειοσειρές στο αντικεραυνικό, πριν αυτές καταλήξουν στον inverter ο οποίος διαθέτει 3 ανεξάρτητες εισόδους MPPT)

- Λάθη σε επιλογή υλικών όπως κατηγορίας SPDs (T1,T2 κλπ).
- Απουσία ασφαλιστικών διατάξεων, απουσία πινάκων DC.



Φωτογραφία 6.18 :Πίνακας DC με 3 ανεξάρτητες στοιχειοσειρές ο οποίος δεν έχει αντικεραυνική προστασία SPDs.

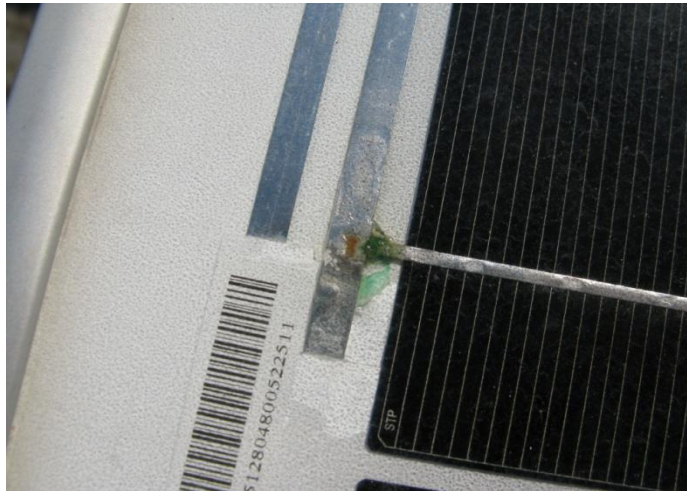
- Λάθος επιλογή διατομών καλωδιώσεων.
- Προβλήματα υδατοστεγάνωσης λόγω της πλημμελούς τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών βάσεων στήριξης.





Φωτογραφία 6.19: Προβλήματα υγραμόνωσης σε στέγες μετά την εγκατάσταση φ/β.

- Οξειδώσεις σε ταινιόδρους Φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Φωτογραφία 6.20: Οξείδωση στη σύνδεση ταινιόδρου φ/β πάνελ.

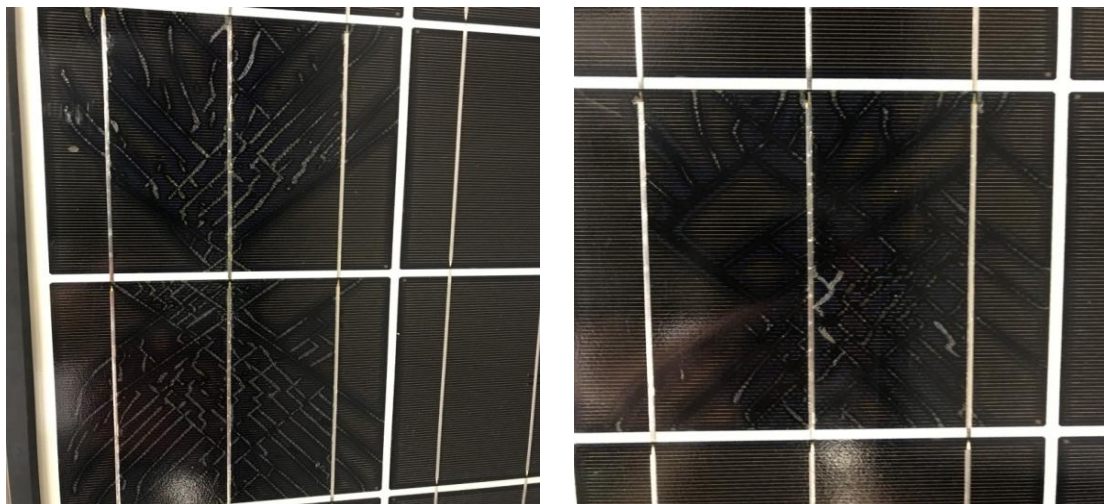
- Κακές κολλήσεις και υπερθερμάνσεις σε ταινιόδρους Φωτοβολταϊκών πλαισίων.



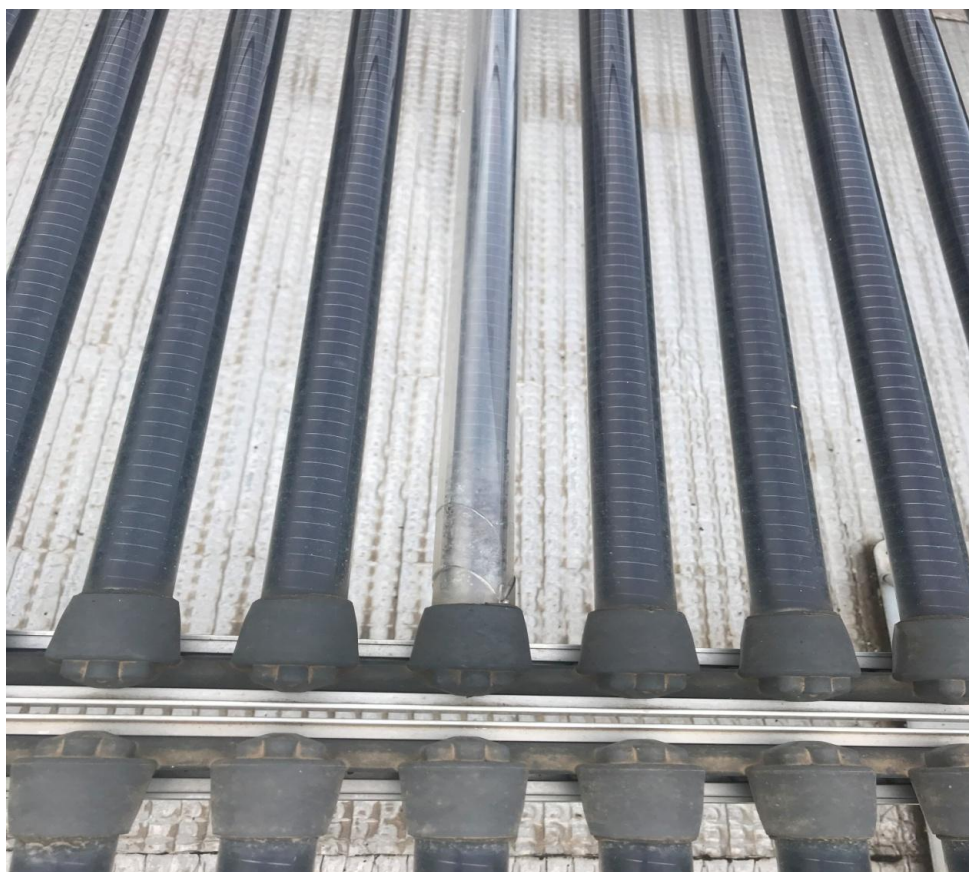
Φωτογραφία 6.21: Κακές κολλήσεις σε ταινιόδρομο φ/β πάνελ που οδήγησαν σε τοπικές υπερθερμάνσεις.



- Σπασμένες κυψέλες Φωτοβολταϊκών πλαισίων.

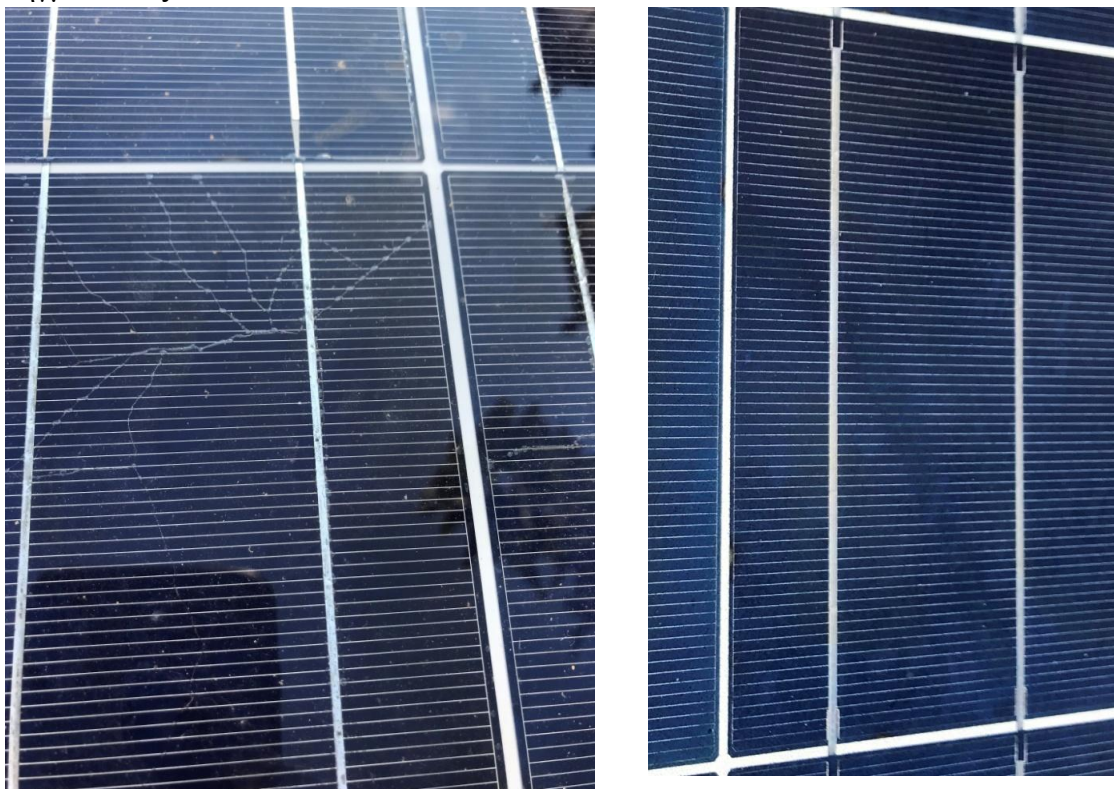


Φωτογραφία 6.22: Σπασμένες κυψέλες φ/β πλαισίων.



Φωτογραφία 6.23 : Σπασμένος φ/β σωλήνας Solyndra.

- Ρηγματώσεις – snail trails.



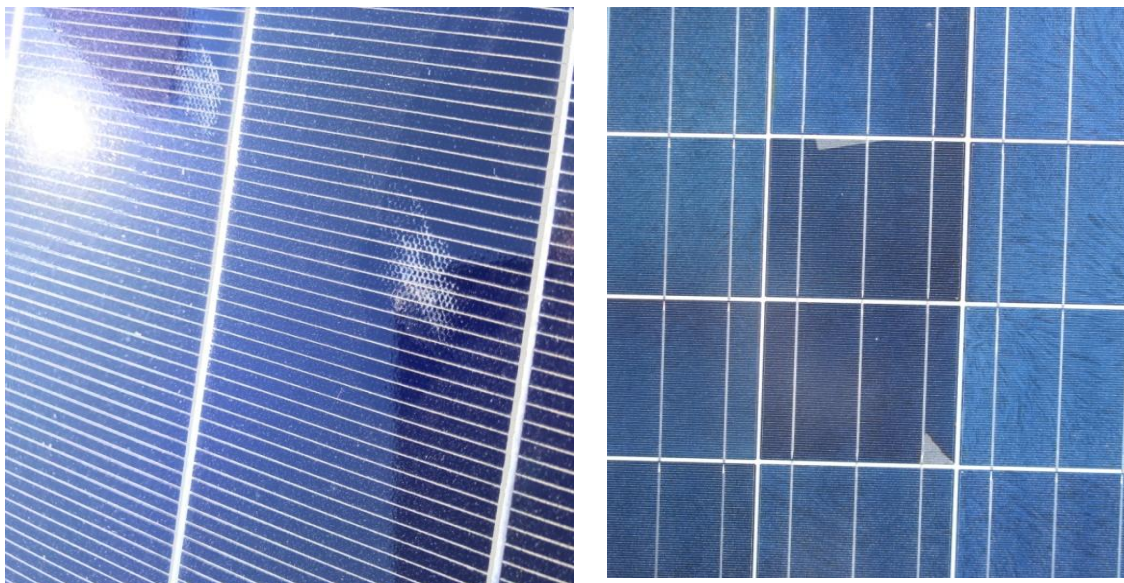
Φωτογραφία: 6.24 Snail trails – ριματώσεις φ/β πλαισίων

- Αλλοιώσεις και αποχρωματισμοί μεμβράνης σφράγισης.



Φωτογραφία 6.25: Αλλοιώσεις μεμβράνης σφράγισης φ/β πλαισίου.

- Delamination – Αποκόλληση Φ/Β κυψέλης.



Φωτογραφία 6.26 : Αποκόλληση κυψέλης φ/β πλαισίων.

- Hot Spots και σημεία υπερθέρμανσης.





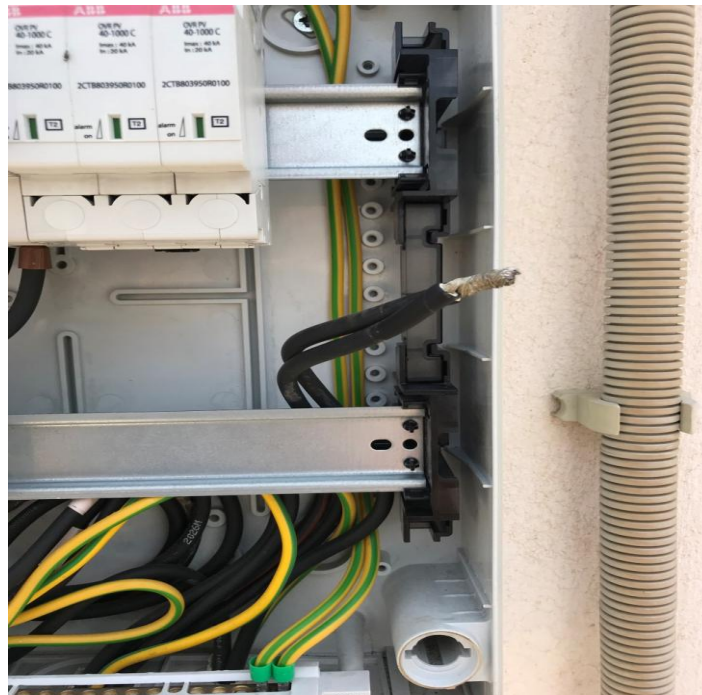
Φωτογραφία 6.27: Υπερθερμάνσεις φ/β κυψελών και hot spots

- Λάθη στην τοποθέτηση των inverter με αποτέλεσμα αυτοί να υπολειτουργούν λόγω κακής ψύξης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.



Φωτογραφία 6.28: Λάθος σημείο τοποθέτησης inverter με αποτέλεσμα την αναποτελεσματική ψύξη αυτού και ενεργοποίησης λειτουργίας derating

- Λάθη σε συνδέσεις καλωδιώσεων.

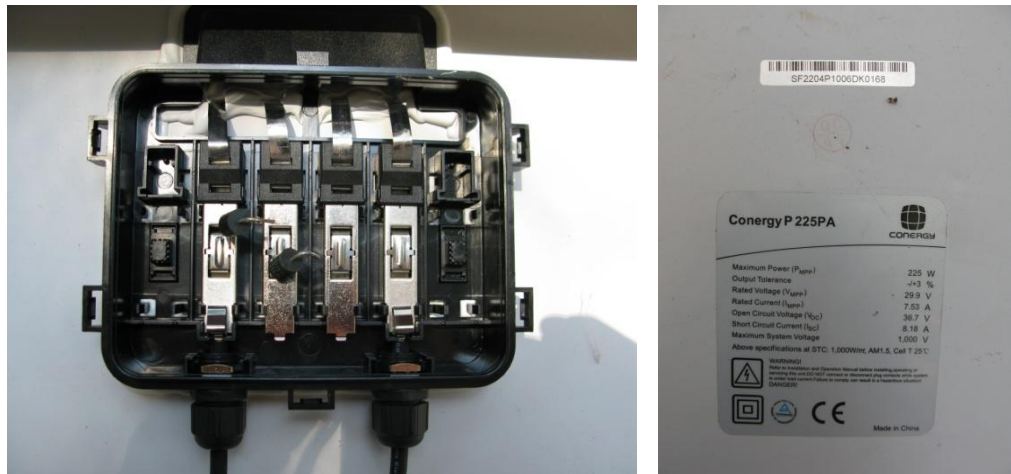


Φωτογραφία 6.29: Λάθη σε συνδέσεις καλωδίων

### 6.2.3 Δοκιμές πρώτης κατηγορίας

Από τις δοκιμές της πρώτης κατηγορίας βρέθηκαν τα εξής:

- Ηλεκτρική συνέχεια των αγωγών προστασίας και των ισοδυναμικών συνδέσεων.  
Ηλεκτρική ασυνέχεια στις συνδέσεις των αγωγών προστασίας με τα φ/β πάνελ. Ενώ υπήρχαν τοποθετημένοι αγωγοί γείωσης από πάνελ σε πάνελ οι οποίοι κατέληγαν στον κεντρικό αγωγό της γείωσης μετά από έλεγχο διαπιστώθηκε ότι υπήρχε ασυνέχεια. Συγκεκριμένα είχαν χρησιμοποιηθεί γαλβανιζέ βίδες για την σύνδεση με τα πάνελ ενώ σε άλλες περιπτώσεις απλές “μαύρες” βίδες οι οποίες είχαν οξειδωθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα να έχει διακοπεί η συνέχεια του κυκλώματος λόγω κακών επαφών. (σε άλλες περιπτώσεις τα πάνελ δεν ήταν συνδεδεμένα με το σύστημα γείωσης).
- Δοκιμή τάσης ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$ .
  - Ενώ ο αντιστροφέας έδειχνε να είναι εντός δικτύου και εν λειτουργία κατά τη δοκιμή τάσης ανοιχτού κυκλώματος βρέθηκε ότι η μία στοιχειοσειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων ήταν εν λειτουργία. Οι δύο από τις τρεις στοιχειοσειρές ήταν εκτός λειτουργίας λόγω καμένων ασφαλειών.
  - Σε άλλη αντίστοιχη περίπτωση, το σφάλμα εντοπίστηκε σε βύσματα τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί και τα οποία, ήταν διαφορετικού κατασκευαστή, με αποτέλεσμα να μην έχουν καλή εφαρμογή και να δημιουργούνται μικροί συνεχείς σπινθηρισμοί οι οποίοι αλλοίωσαν τις επαφές των βυσμάτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, ενώ φαινομενικά το βύσμα είχε κλείσει - συνδεθεί να μην υπάρχει ηλεκτρική συνέχεια, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη στοιχειοσειρά να είναι εκτός λειτουργίας.
  - Σε μέτρηση φωτοβολταϊκού πάνελ η μέτρηση έδινε άλλοτε την ονομαστική τιμή τάσης ανοιχτού κυκλώματος και άλλοτε μηδενική τιμή. Από έλεγχο του πάνελ διαπιστώθηκε ότι υπήρχε διακοπή του ταινιόδρομου προς το κουτί διακλάδωσης στο πίσω μέρος του πάνελ. Με πίεση επάνω στο πάνελ άλλοτε έδινε τάση και άλλοτε όχι.
- Δοκιμή ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$ 
  - Από τις μετρήσεις  $I_{SC}$  βρέθηκε ότι μια στοιχειοσειρά είχε το μισό ρεύμα σε σύγκριση με όμοια στοιχειοσειρά ίδιου προσανατολισμού και κλίσης. Μετά από έλεγχο για σκιάσεις διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχαν σκιάσεις τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή που θα επηρέαζαν ενδεχομένως τη μέτρηση. Από ενδελεχή έρευνα διαπιστώθηκε ότι υπήρχε πάνελ με σπασμένη κυψέλη με αποτέλεσμα να έχουμε αυτήν τη σημαντική διαφορά στο ρεύμα όλης της στοιχειοσειράς.
  - Μετά από επιτυχή μέτρηση τάσης ανοιχτού κυκλώματος έγινε μέτρηση ρεύματος βραχυκύκλωσης. Κατά τη μέτρηση διαπιστώθηκε πρόβλημα στο πάνελ. Συγκεκριμένα είχαν χαλάσει οι δίοδοι παράκαμψης εντός του κουτιού συνδέσεων του πάνελ.



Φωτογραφία 6.30: Κατεστραμμένες δίοδοι bypass

- Δοκιμή αντίστασης μόνωσης
  - Σε εγκατάσταση στην οποία ο inverter του συστήματος εμφάνισε ένδειξη βλάβης και συγκεκριμένα χαμηλή αντίσταση μόνωσης στοιχειοσειράς. Μετά από μετρήσεις αντίστασης μόνωσης και έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στην εγκατάσταση, βρέθηκε ότι περιττώματα πουλιών κάτω από τα πάνελ είχαν καλύψει βύσματα MC4. Το νερό της βροχής είχε απορροφηθεί από τα περιττώματα δημιουργώντας ένα υγρό μείγμα το οποίο επέτρεπε τη διαρροή προς γη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η αντίσταση μόνωσης ήταν μερικά Ohm δηλαδή πολύ κάτω από ελάχιστο όριο του 1MΩ το οποίο ήταν το κάτω όριο αντίστασης μόνωσης για την έναρξη λειτουργίας του συγκεκριμένου inverter. Μετά από καθαρισμό και προστασία των βυσμάτων οι τιμές αποκαταστάθηκαν και έγινε έναρξη λειτουργίας του inverter.



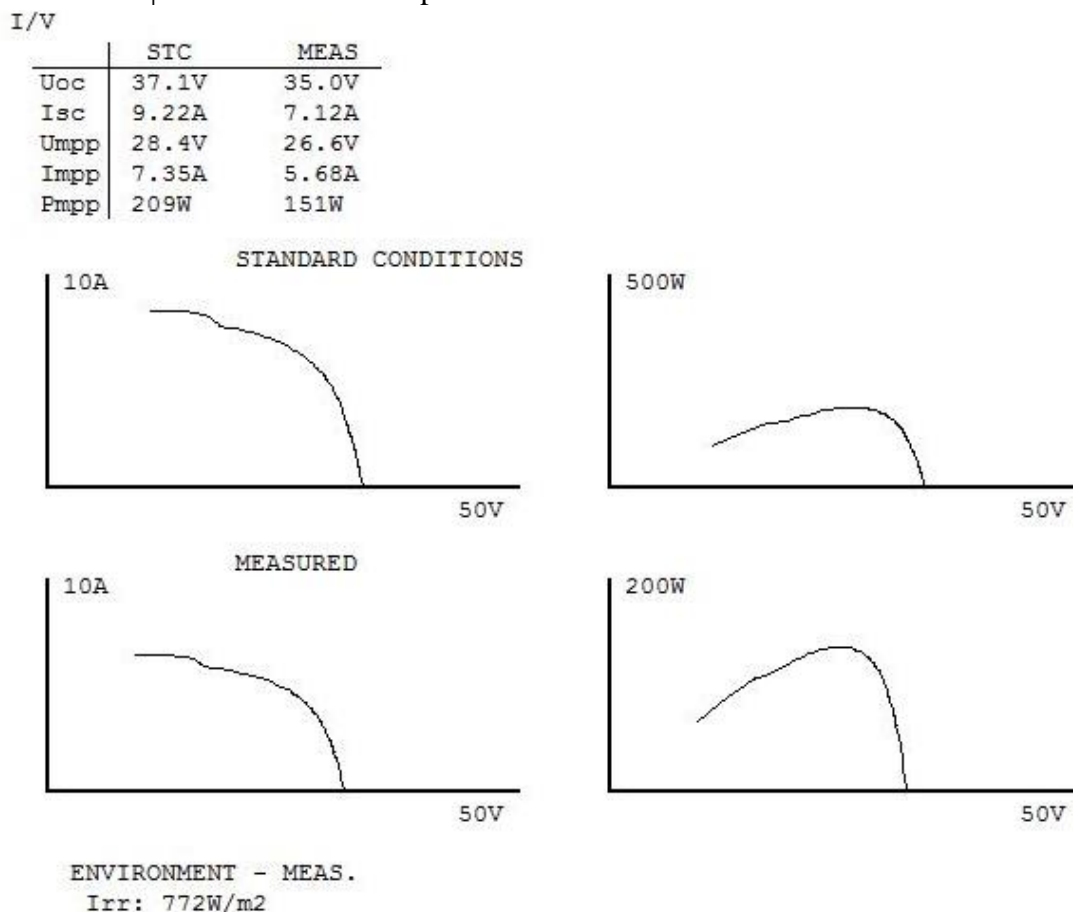
Φωτογραφία 6.31: Περιττώματα πουλιών δημιούργησαν πρόβλημα αντίστασης μόνωσης στην καλωδίωση θέτοντας την εγκατάσταση εκτός λειτουργίας

- Σε εγκατάσταση παρατηρήθηκε ότι υπήρχε σφάλμα αντίστασης μόνωσης κατά τις πρωινές ώρες καθώς και σε ημέρες με βροχή. Μετά από έλεγχο με καταιονισμό σε πρωινή ώρα, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε σωλήνας προστασίας καλωδίων ο οποίος, όταν έβρεχε συγκέντρωνε νερό εντός. Για τον λόγο αυτό αντικαταστάθηκε η καλωδίωση έτσι ώστε να μην υπάρχει βύσμα εντός του συγκεκριμένου σωλήνα. Επιπλέον προστατεύθηκαν οι δίοδοι του σωλήνα για να αποφευχθεί η είσοδος νερού ή υγρασίας.

#### 6.2.4 Δοκιμές δεύτερης κατηγορίας

Από τις δοκιμές της δεύτερης κατηγορίας βρέθηκαν τα εξής:

- Δοκιμή καμπύλης I-V.
  - Πραγματοποιήθηκε η δοκιμή Καμπύλης I-V στο πάνελ το οποίο είχε την σπασμένη κυψέλη για να επιβεβαιωθεί η λειτουργία του οργάνου. Η καμπύλη I-V λόγω της σπασμένης κυψέλης έχει την όψη του διαγράμματος 6.1. Το συγκεκριμένο πλαίσιο ήταν κατασκευαστικά 255Wp. Λόγω των σπασμένων κυψελών απέδιδε 209Wp.

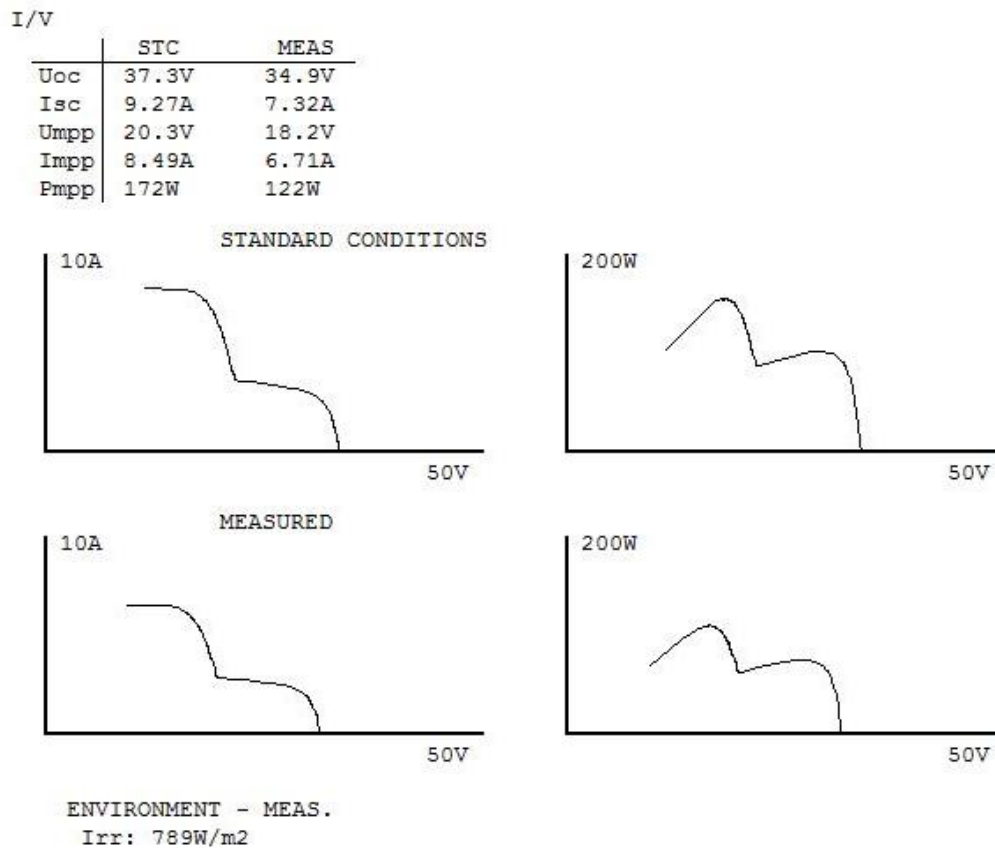


Διάγραμμα 6.1: Καμπύλη I-V φ/β πλαισίου με σπασμένη κυψέλη.

- Σε εγκατάσταση στην οποία υπήρχε μερική σκίαση η οποία επηρέαζε σημαντικά την απόδοση της στοιχειοσειράς έγινε μέτρηση καμπύλης I-V. Τα αποτελέσματα που φαίνονται στο διάγραμμα 6.2, έδειξαν σημαντική μείωση στην απόδοση του

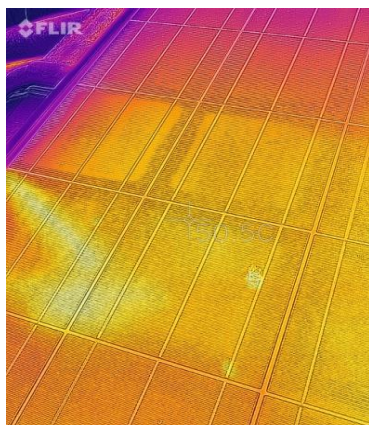


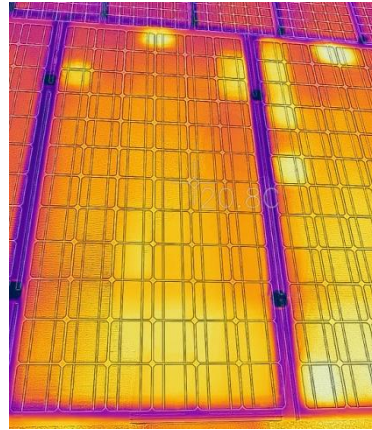
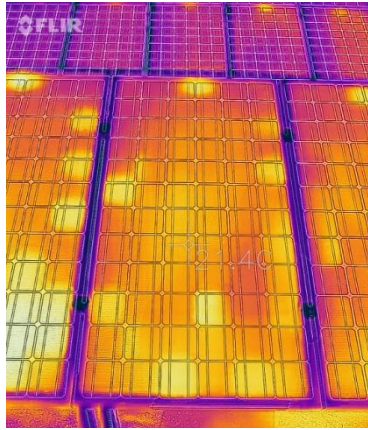
πάνελ. Η μείωση αυτή στην απόδοση ήταν ο λόγος που όλη η στοιχειοσειρά υπολειπορούσε. Η ισχύς του συγκριμένου πάνελ ήταν 255Wp σύμφωνα με τον κατασκευαστή.



Διάγραμμα 6.2: Καμπύλη I-V φ/β πλαισίου με μερική σκίαση.

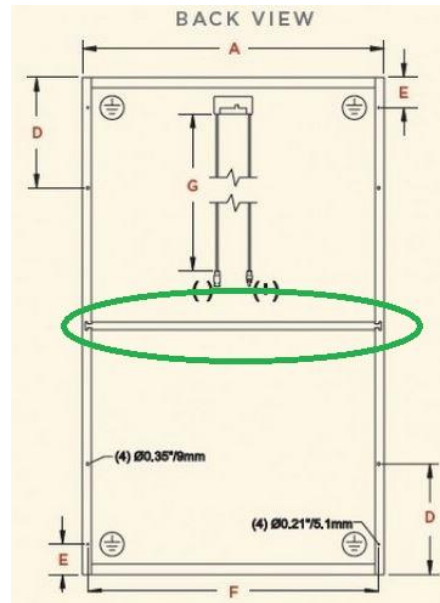
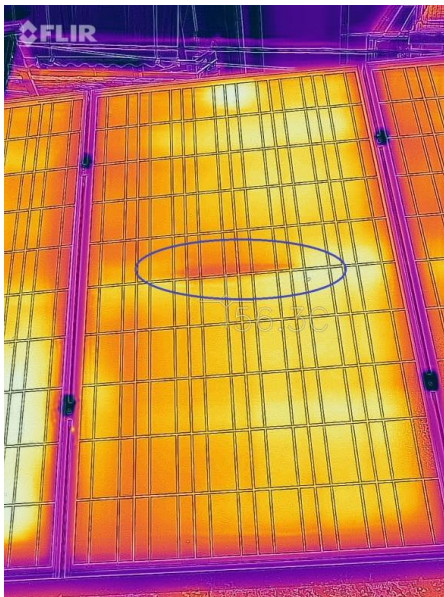
- Δοκιμή με θερμοκάμερα IR
  - Πραγματοποιήθηκε μία σειρά από ελέγχους σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Σε μία από αυτές, βρέθηκε πάνελ το οποίο εμφάνιζε πρόβλημα με Hot Spot. Αυτό όμως ήταν εμφανές και οπτικά λόγω του έντονου καφέ χρώματος που υπήρχε στην κυψέλη. Σε άλλη εγκατάσταση εντοπίστηκαν έντονες θερμοκρασιακές ανωμαλίες εντός φ/β πλαισίων κάτι που επηρέαζε σημαντικά την απόδοση της στοιχειοσειράς.





Φωτογραφία 6.32: Εύρεση Hot spot – και θερμοκρασικών ανωμαλιών σε φ/β πλαίσια κατά την επιθεώρηση με κάμερα IR

- ο Στην παρακάτω θερμογράφιση αρχικά διαπιστώθηκε μια οριζόντια περιοχή στο μέσο του πάνελ στο οποίο υπήρχε χαμηλότερη θερμοκρασία. Μετά από έλεγχο όμως στην πίσω πλευρά του πάνελ διαπιστώθηκε ότι αυτή η φαινομενική ανωμαλία οφειλόταν στην οριζόντια ενίσχυση του πλαισίου του Φ/Β πάνελ Sharp ND-240R1J από τον κατασκευαστή.



Φωτογραφία 6.33: Θερμοκρασιακή ανωμαλία λόγω οριζόντιας δοκίδος στο πίσω μέρος του πάνελ

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η παρουσίαση των ευρημάτων των επιθεωρήσεων σύμφωνα με το πρότυπο IEC62446-1. Τα ευρήματα τα οποία επιλέξαμε να παρουσιάσουμε επιλέχθηκαν με σκοπό την πληρέστερη κάλυψη των βλαβών που μπορούν να παρουσιαστούν στο πεδίο. Στο επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει επισκόπηση των ελέγχων και θα γίνουν προτάσεις για βελτίωση του προτύπου.

# Κεφάλαιο 7

## 7 Επισκόπηση – Προτάσεις – Επίλογος

### 7.1 Επισκόπηση ελέγχων Φ/Β εγκαταστάσεων

Μέσω της μελέτης και εφαρμογής του προτύπου IEC 62446-1 και της επιθεώρησης φωτοβολταϊκών μονάδων με την χρήση του προτύπου που πραγματοποιήθηκε, είναι δυνατός ο σχηματισμός μιας πολύ καλής εικόνας για τις Φωτοβολταϊκές μονάδες στην Ελλάδα, αλλά και για τα προβλήματα που αυτές εμφανίζουν γενικότερα.

Όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, στις περισσότερες μονάδες υπήρχαν ελλείψεις και προβλήματα, άλλοτε σε μικρό και άλλοτε σε μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά, υπήρχαν περιπτώσεις όπου έπρεπε να γίνει ολική ανακατασκευή στη μονάδα. Αυτό ίσχυε διότι ήταν επικίνδυνη για το προσωπικό που περνούσε κοντά και δυνητικά θα μπορούσε να έρθει σε επαφή με κάποια εκτεθειμένη καλωδίωση.

Σε άλλες περιπτώσεις τα λάθη αφορούσαν τη σχεδίαση-χωροθέτηση της μονάδας. Η υπάρχουσα χωροθέτηση είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση, η οποία ήταν πολύ μικρότερη από την επιθυμητή και την οποία, η εταιρεία κατασκευής, είχε υποσχεθεί στον πελάτη-ιδιοκτήτη της εγκατάστασης. Το πρότυπο δε δίνει βάση στις αποδόσεις της φ/β μονάδας παρά μόνο στην ορθή τεχνική υλοποίηση, ασφάλεια, δοκιμές κλπ. Παρόλα αυτά είναι σημαντικός ο ρόλος του μηχανικού που έχει μεταβεί για έλεγχο της μονάδας, να προτείνει λύσεις για αύξηση της απόδοσης της.

Οι περισσότερες μονάδες δεν είχαν ελεγχθεί-συντηρηθεί από την ημερομηνία ενεργοποίησης τους, καθώς ο όρος συντήρησης για τους ιδιοκτήτες είναι συνυφασμένος με τον καθαρισμό των πάνελ. Σε αυτό, μεγάλο μερίδιο ευθύνης έχουν οι εταιρείες κατασκευής των μονάδων οι οποίες, με σκοπό την ωραιοποίηση των καταστάσεων για την πώληση, ανέφεραν στους δυνητικούς και μελλοντικούς τους πελάτες ότι η φ/β εγκατάσταση δεν απαιτεί συντήρηση αλλά μόνο καθαρισμό.

Σε κάποιες περιπτώσεις ενημερωθήκαμε για βλάβες στις οποίες υπήρξε επέμβαση από μη καταρτισμένο προσωπικό επί των φ/β εγκαταστάσεων, με κίνδυνο για την σωματική τους ακεραιότητα αλλά και την ασφάλεια της εγκατάστασης.

Ένα ακόμα σημείο το οποίο θέλουμε να σημειωθεί, είναι το γεγονός ότι ένας ελάχιστος αριθμός φ/β εγκαταστάσεων είχαν εγκατεστημένο σύστημα τηλεμετρίας, ενώ μόνο δύο από αυτές παρακολουθούνταν από τους ιδιοκτήτες τους για τις αποδόσεις και την εν γένει λειτουργία τους.

### 7.2 Επισκόπηση της διαδικασίας δοκιμών

Ανεξάρτητα κατηγορίας δοκιμών, είναι σημαντικό κατά την πραγματοποίηση των ελέγχων, τα φ/β πάνελ να είναι καθαρά από σκόνη κλπ και η φωτεινότητα να είναι σταθερή. Για τη δοκιμή καμπύλης I-V θα πρέπει η ακτινοβολία να είναι πάνω από  $400\text{W/m}^2$ .

Στις μικρές εγκαταστάσεις, κυρίως αυτές όπου τα πάνελ είναι εγκατεστημένα σε στέγες οι σκιάσεις είναι έντονες και συνεπώς χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για τη μονάδα.

Ένας από τους ελέγχους πρώτης κατηγορίας, ο οποίος είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί σε εγκαταστάσεις με τα φ/β εγκατεστημένα στη στέγη, είναι ο έλεγχος συνέχειας του αγωγού προστασίας στα πλαίσια των φ/β πάνελ, διότι δεν υπάρχει πρόσβαση στο πίσω μέρος τους, αλλά και πρόσβαση σε όλα τα πάνελ λόγω χωροθέτησης αυτών. Σε αυτές, επίσης, τις εγκαταστάσεις οι ηλεκτρικοί πίνακες συνήθως είναι σε απομακρυσμένο σημείο, κάτι το οποίο δυσχεραίνει τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ομάδα ελέγχου πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον δύο άτομα.

### **Όσον αφορά τις κατηγορίες δοκιμών σημειώνονται τα εξής:**

Οι δοκιμές της πρώτης κατηγορίας είναι οι πλέον σημαντικές, οι οποίες πρέπει να πραγματοποιούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Οι δοκιμές της δεύτερης κατηγορίας είναι σημαντικό να γίνονται και στις μικρές εγκαταστάσεις, αλλά εκεί υπάρχει δυσκολία πρόσβασης όταν οι πίνακες είναι σε άλλο σημείο από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Δεν υπάρχει πρόσβαση στο πίσω μέρος των πάνελ όταν αυτά είναι τοποθετημένα σε στέγη ή η καλωδίωση δεν είναι προσβάσιμη.

Η άποψη του γράφοντος είναι ότι, η πλέον ενδεδειγμένη δοκιμή της δεύτερης κατηγορίας είναι η μέτρηση καμπύλης I-V διότι με αυτή αποκτάται μια πλήρης μετρήσιμη εικόνα της απόδοσης των πάνελ. Αυτό ισχύει ειδικότερα όταν το όργανο μέτρησης κάνει αναγωγή σε συνθήκες STC. Όμως, ακόμα και εδώ, υπάρχει μία σχετική δυσκολία. Για την αναγωγή των μετρούμενων τιμών σε τιμές STC πρέπει να εισαχθούν στο όργανο, πριν τη μέτρηση τιμές οι οποίες σε μερικές περιπτώσεις δεν δίνονται από τους κατασκευαστές των πλαισίων. Συνεπώς ορισμένες αναγωγές μπορεί να μην είναι απόλυτα ακριβείς. Παρόλα αυτά, το σχήμα της χαρακτηριστικής είναι σημαντικό και δίνει απάντηση σε σημαντικά θέματα των πλαισίων όπως είναι οι σπασμένες κυψέλες και το φαινόμενο PID. Εξήγηση των μορφών των καμπυλών I-V δίνεται στο σχήμα Δ1 του παραρτήματος Δ της διπλωματικής.

Μία ακόμα δυσκολία στην εκτέλεση δοκιμής καμπύλης I-V στις μικρές εγκαταστάσεις στέγης είναι, όπως έχει αναφερθεί ξανά, ότι η καλωδίωση δεν είναι εύκολα προσβάσιμη, ενώ οι πίνακες DC είναι συχνά όχι στην στέγη αλλά στο ισόγειο κλπ. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει όργανο με ασύρματους αισθητήρες οι οποίοι να συγχρονίζονται και να μπορούν να μετρούν τη φωτεινότητα, αλλά και τη θερμοκρασία πάνελ, για να μπορεί να γίνει η αναγωγή, άρα η κύρια μονάδα να μετρά τάση και ρεύμα και στη συνέχεια να υπάρχει επικοινωνία με τους αισθητήρες για να μπορεί να γίνει η αναγωγή σε STC.

Ένα «μειονέκτημα» της δοκιμής καμπύλης I-V είναι ότι θέλει αρκετή προετοιμασία για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η δοκιμή επιτυχώς. Στον αντίποδα είναι η δοκιμή με κάμερα IR η οποία πιο γρήγορη χρονικά και λαμβάνει χώρα χωρίς χρονοβόρα προετοιμασία, αλλά τα αποτελέσματα της πρώτης είναι ασφαλέστερα και μετρήσιμα. Εδώ όμως πρέπει να σημειωθεί, ότι δεν μπορούμε να έχουμε πάντα εύκολα πρόσβαση στην Φωτοβολταϊκή συστοιχία πχ σε μια Βιομηχανική στέγη για την διεξαγωγή επιθεώρησης με κάμερα IR (για τον σκοπό αυτό έχουν εμφανιστεί drone με την χρήση των οποίων μπορεί να γίνει εύκολη και αποδοτική η θερμογραφία σε δυσπρόσιτα σημεία).

Κλείνοντας αυτή την παράγραφο, πρέπει να σημειωθεί ότι υπήρξαν περιπτώσεις όπου τα snail trails δεν μπόρεσαν να εντοπιστούν εύκολα από τη δοκιμή της καμπύλης I-V. Αυτό έγινε σε πάνελ με αρχικό στάδιο ριγματώσεων. Σε αυτήν την περίπτωση θα χρειαζόταν να εφαρμοστεί ταυτόχρονη πίεση στην επιφάνεια του πλαισίου.

### **7.3 Προτάσεις για τον σχεδιασμό των Φ/Β εγκαταστάσεων**

Σημαντικό είναι κατά την αρχική φάση μελέτης της εγκατάστασης και χωροθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ, ο μελετητής να κάνει πρόβλεψη για διαδρόμους επίσκεψης των πάνελ για καθαρισμό, επιθεώρηση και συντήρηση της εγκατάστασης.

Είναι σύνηθες οι εγκαταστάσεις που γίνονται σε στέγες να μην έχουν καμία πρόσβαση όπως αναφέραμε. Αυτό είναι μεγάλο πρόβλημα κατά την λειτουργία της εγκατάστασης καθώς είναι δύσκολος ο καθαρισμός, η επιθεώρηση και συντήρηση της (έλεγχος συσφίξεων κλπ). Σε ενδεχόμενο π.χ. πρόβλημα το οποίο εντοπίζεται σε πάνελ το οποίο είναι π.χ. στο μέσο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα πρέπει να αποσυναρμολογηθεί μεγάλο μέρος της φωτοβολταϊκής γεννήτριας για να αποκτηθεί πρόσβαση σε αυτό. Άλλη εναλλακτική είναι να δημιουργηθεί ικρίωμα ή να γίνει χρήση γερανού με καλάθι. Και στις τρεις περιπτώσεις το κόστος θα είναι σημαντικό με την λύση της αποσυναρμολόγησης, επισκευής και αποκατάστασης να είναι σημαντικά χρονοβόρο, έχοντας ταυτόχρονα την εγκατάσταση εκτός λειτουργίας.

Η δημιουργία διαδρόμων επίσκεψης θα μειώσει τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ της φωτοβολταϊκής μονάδας, αλλά σε βάθος χρόνου το κέρδος θα είναι μεγαλύτερο.

### **7.4 Προτάσεις για τις φ/β μονάδες (υφιστάμενες αλλά και προς κατασκευή)**

Οι προτάσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σχετικά με τις εν λειτουργία φ/β εγκαταστάσεις είναι οι εξής: ( αλλά και για τις μελλοντικές)

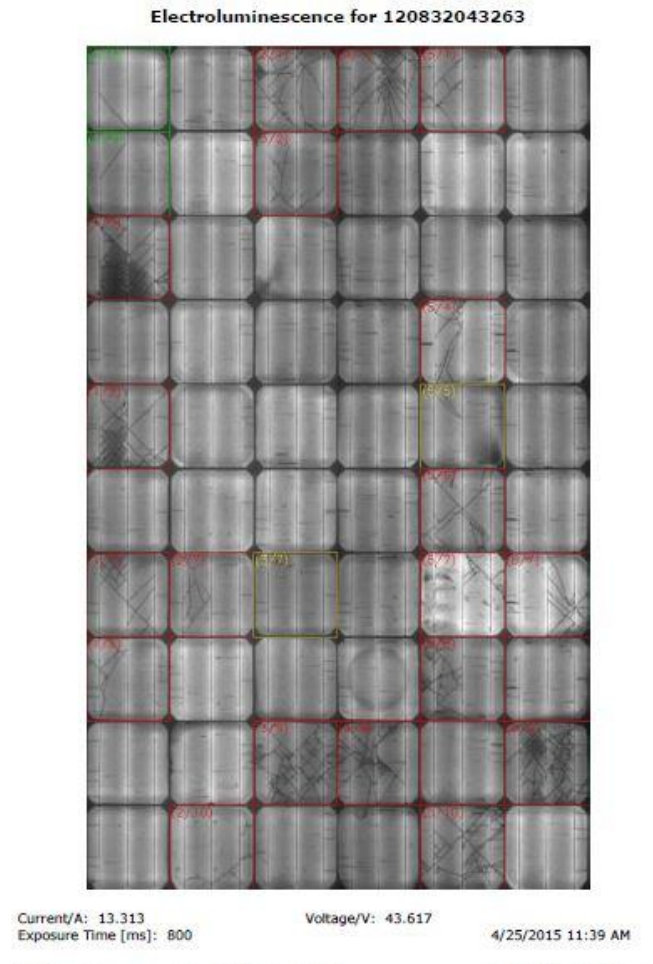
- Δημιουργία φακέλου εγκατάστασης. Όπως ισχύει και με τα ακίνητα όπου κάθε ένα έχει τον φάκελο του στην πολεοδομία, έτσι και κάθε φ/β εγκατάσταση θα πρέπει να έχει τον φάκελο της. Αν λείπει τότε θα πρέπει να γίνει επανασύσταση του.
- Επιδιόρθωση της μονάδας στα σημεία που αυτό απαιτείται (σημάνσεις, αποζεύκτες SPDs κλπ) έτσι ώστε να είναι σύμφωνη με το ισχύον πρότυπο.
- Ενεργοποίηση ή εγκατάσταση συστήματος τηλεμετρίας έτσι ώστε να είναι εφικτή η παρακολούθηση της εγκατάστασης από τον ιδιοκτήτη ή από την εταιρεία διαχείρισης. Η καταγραφή των αποδόσεων, το ιστορικό συμβάντων κλπ είναι υψίστης σημασίας για τον έλεγχο της μονάδας, την ιχνηλασιμότητα σε ενδεχόμενη ανάγκη αλλά και την έγκαιρη ειδοποίηση σε ενδεχόμενο σφάλμα.
- Πραγματοποίηση τακτικού ελέγχου της μονάδας από εξειδικευμένο προσωπικό σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62446-1:2016.

### **7.5 Προτάσεις για το πρότυπο**

Το πρότυπο θα πρέπει να εμπλουτίζεται διαρκώς έτσι ώστε να καλύπτει επαρκώς τα νέα συστήματα τα οποία παρουσιάζονται, αλλά και τα προβλήματα που θα εμφανιστούν με το πέρασμα των ετών και τη γήρανση των υπαρχουσών εγκαταστάσεων.

Υπάρχει μια δοκιμή η οποία μπορεί να βοηθήσει στον εύκολο εντοπισμό των ρηγματώσεων των φ/β πάνελ. Αυτή είναι η δοκιμή της φωτοδιαύγειας. Η συγκεκριμένη δοκιμή δεν αναφέρεται στο

πρότυπο. Ίσως διότι μέχρι πρότινος ήταν εφικτή μόνο σε εργαστήριο. Πλέον όμως μπορεί να πραγματοποιηθεί και από κινητό εργαστήριο. Το μειονέκτημα της είναι ότι το πάνελ θα πρέπει να αφαιρεθεί από τις βάσεις και να μπει στον θάλαμο του εργαστηρίου. Συνεπώς το κόστος αυτής είναι ιδιαίτερα αυξημένο συνυπολογίζοντας το κόστος αποσυναρμολόγησης και συναρμολόγησης. Στη φωτογραφία 7.1 φαίνεται η δοκιμή φωτοδιαύγειας σε ένα φ/β πάνελ[19].



Φωτογραφία 7.1: Έλεγχος Φωτοδιαύγειας σε φ/β πάνελ [19]

Ένα ακόμα σημείο στο οποίο θέλουμε να σταθούμε είναι στο γεγονός ότι το πρότυπο εστιάζει στο κομμάτι του κυκλώματος AC μεταξύ του inverter και του δικτύου. Συγκεκριμένα στην καλωδίωση, την σωστή απομόνωση, στην σωστή ρύθμιση του σύμφωνα με τα εθνικά πρότυπα κλπ. Για χάρην πληρότητας θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε μια μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους φ/β εγκατάσταση ο μηχανικός θα πρέπει να έχει γνώσεις και μετρήσεων και ελέγχων σε λοιπό εξοπλισμό Χ.Τ. αλλά και Μ.Τ.. Σε μια τέτοια εγκατάσταση ισχύος μεγαλύτερης των 100kWp η ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο μέσω Μ/Σ ανύψωσης 400V/20kV. Συνεπώς οι απαιτήσεις σε γνώσεις και εξοπλισμό επεκτείνονται πέραν του συγκεκριμένου προτύπου, και θα πρέπει να υπάρχει σχετική αναφορά.

## 7.6 Επίλογος

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι εγκαταστάσεις οι οποίες θα συνεχίσουν να έχουν όλο και μεγαλύτερη διείσδυση στην καθημερινότητα μας. Όπως είδαμε διακρίνονται σε αρκετές κατηγορίες όσον αφορά στην αδειοδότηση τους, αλλά και αναλόγως του εξοπλισμού από τον οποίο αποτελούνται.

Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν ανάγκη από έλεγχο και επίβλεψη της λειτουργίας τους. Σε καμία περίπτωση δεν είναι maintenance free systems. Η ανάγκη συντήρησης τους είναι μικρή, ενώ αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους της εγκατάστασης. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις της κατηγορίας MW είναι επιτακτική η καθημερινή εποπτεία της εγκατάστασης για έλεγχο της λειτουργίας, την πρόληψη βλαβών, την άμεση αποκατάσταση βλαβών αλλά και την συντήρηση της. Όταν αναφερόμαστε σε συντήρηση, εννοούμε κατά κύριο λόγο, την ηλεκτρομηχανολογική συντήρηση της εγκατάστασης σύμφωνα με το πρότυπο και τα εγχειρίδια των κατασκευαστών του εξοπλισμού. Ο καθαρισμός είναι ένα είδος «συντήρησης» ο οποίος βοηθά στην απόδοση του συστήματος.

Είναι σημαντικό να γίνουν όλα σύμφωνα με τις κατευθύνσεις του προτύπου αλλά και σύμφωνα με την τέχνη και επιστήμη. Το πρότυπο IEC 62446-1:2016 είναι πολύ αναλυτικό όσον αφορά στους ελέγχους που πρέπει να πραγματοποιούνται στις διασυνδεδεμένες φ/β εγκαταστάσεις. Αυτό το καθιστά ένα πολύ καλό εργαλείο για την χρήση από μηχανικούς, σχεδιαστές, κατασκευαστές και συντηρητές φ/β εγκαταστάσεων. Απαραίτητη για την εφαρμογή του, είναι η χρήση του κατάλληλου πιστοποιημένου εξοπλισμού δοκιμών έτσι ώστε οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες και η διαδικασία μετρήσεων να είναι ασφαλή για το προσωπικό που εκτελεί τις μετρήσεις. Σημειώνουμε ότι είναι απαραίτητο το προσωπικό να φέρει τα ατομικά μέσα προστασίας.

Αν ακολουθηθούν αυτές οι κατευθύνσεις στην κατασκευή και λειτουργία της μονάδας, τότε η φ/β εγκατάσταση είναι σίγουρο ότι θα έχει τις καλύτερες δυνατές αποδόσεις, ενώ το κόστος συντήρησης θα είναι ελάχιστο.

## Παράρτημα Α [18] (Πληροφοριακό)

### Υπόδειγμα πιστοποιητικού επιθεώρησης

Πιστοποιητικό επιθεώρησης Φ/Β συστήματος	Αρχικός έλεγχος  Περιοδικός έλεγχος
--	---

Πελάτης		Περιγραφή της εγκατάστασης	
Διεύθυνση εγκατάστασης		Ισχύς εγκατάστασης - kW DC	
Ημ/νία ελέγχου		Σημείο εγκατάστασης	
		Κυκλώματα που ελέγχθηκαν	

Όνομα και διεύθυνση κατασκευαστή		IEC 60364-6 Αριθμ έκθεσης επιθεώρησης	
		IEC 60364-6 Αριθμ. έκθεσης δοκιμών	
		Αριθμ. Έκθεσης επιθεώρησης Φ/Β γεννήτριας	
		Αριθμ. Έκθεσης δοκιμών Φ/Β γεννήτριας	

ΣΧΕΔΙΑΣΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ, ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ		
Είμαι/ είμαστε το υπεύθυνο προσωπικό για την σχεδίαση, κατασκευή επιθεώρηση και έλεγχο της ηλεκτρικής εγκατάστασης (όπως υπογράφεται παρακάτω).Οι συμμετέχοντες που αναφέρονται διαθέτουν γνώση, εμπειρία, δεξιότητα και υπέδειξαν προσοχή όταν πραγματοποίησαν την σχεδίαση, κατασκευή, επιθεώρηση και έλεγχο. Βεβαιώνουμε ότι οι εργασίες στις οποίες αναφερόμαστε και για τις οποίες είμαι/είμαστε υπεύθυνοι είναι σύμφωνα με την γνώση και πιστεύω μου/μας σύμφωνη με το .....		
Υπογραφή(ές):  Όνομα(τα):  Ημερομηνία:  (Η ισχύς των υπογραφών περιορίζονται μόνο στις εργασίες που αναφέρονται άνωθεν)	Η επόμενη επιθεώρηση προτείνεται να πραγματοποιηθεί όχι μετέπειτα από:	
ΣΧΟΛΙΑ:		



## Παράρτημα Β [18]

(πληροφοριακό)

### Υπόδειγμα έκθεσης επιθεώρησης

Έκθεση επιθεώρησης Φ/Β συστήματος	Αρχικός έλεγχος
	Περιοδικός έλεγχος

Διεύθυνση εγκατάστασης:	Αναφορά:
	Ημερομηνία:
Κυκλώματα που επιθεωρήθηκαν:	Επιθεωρητής:

#### Γενικά

Το σύνολο του συστήματος επιθεωρήθηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις του IEC 60364-6 και επισυνάπτεται μια έκθεση επιθεώρησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 60364-6.

#### Σύστημα DC – Γενικά

Το σύστημα DC έχει σχεδιαστεί, προδιαγραφεί, σχεδιαστεί και κατασκευαστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του IEC 60364 και IEC TS 62548:2013 – Ναι / Όχι

Η μέγιστη τάση της Φ/Β γεννήτριας είναι σύμφωνη με το σημείο εγκατάστασης – Ναι / Όχι

Όλα τα μέρη του συστήματος και οι κατασκευές στήριξης έχουν επιλεγεί και εγκατασταθεί να αντέχουν τις αναμενόμενες ακραίες εξωτερικές συνθήκες όπως είναι ο άνεμος, το χιόνι, την θερμοκρασία και την διάβρωση – Ναι / Όχι

Τα αγκύρια στην οροφή του κτηρίου και το πέρασμα των καλωδιώσεων δεν έχουν επηρεάσει την οροφή η οποία είναι υδατοστεγανή μετά της επεμβάσεις – Ναι / Όχι

#### Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας

Προστατευτικά μέτρα έναντι πολύ χαμηλών τάσεων (SELV / PELV) – Ναι / Όχι

Προστασία με την χρησιμοποίηση μόνωσης κατηγορίας II ή αντίστοιχου επιπέδου κατηγορίας

μόνωσης στην πλευρά DC - Ναι / Όχι

Τα καλώδια των φωτοβολταϊκών στοιχειοσειρών string επιλέχθηκαν και εγκαταστάθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ελάχιστος ο κίνδυνος σφαλμάτων και διαρροών ως προς γη, καθώς και βραχυκυκλωμάτων.

Τυπικά επιτυγχανόμενο με την χρήση καλωδίων διπλής μόνωσης - Ναι / Όχι

### **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι των συνεπειών σφαλμάτων μόνωσης**

Γαλβανική απομόνωση εντός του inverter ή στην πλευρά AC - Ναι / Όχι

Λειτουργική γείωση ενός από τους αγωγούς DC - Ναι / Όχι

Είναι εγκατεστημένο σύστημα ελέγχου της αντίστασης μόνωσης των Φωτοβολταϊκών πλαισίων μαζί με σύστημα ειδοποίησης– σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62548:2013- Ναι / Όχι

Είναι εγκατεστημένο σύστημα ανίχνευσης διαφορικού ρεύματος μαζί με σύστημα ειδοποίησης– σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62548:2013 - Ναι / Όχι

### **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι υπερέντασης**

Για συστήματα χωρίς προστατευτική διάταξη έναντι υπερέντασης:

$I_{MOD\_MAX\_OCPR}$  (Η μέγιστη ονομαστική ασφάλεια σειράς του πλαισίου) είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ανάστροφο ρεύμα - Ναι / Όχι

Τα καλώδια των πλαισίων είναι διαστασιολογημένα για το μέγιστο ρεύμα σφάλματος λαμβάνοντας υπόψη και αυτό από τις παράλληλες στοιχειοσειρές. - Ναι / Όχι

Για συστήματα με προστατευτική διάταξη έναντι υπερέντασης:

- Η προστατευτική διάταξη έναντι υπερέντασης της στοιχειοσειράς, είναι εγκατεστημένη σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

Για συστήματα με συστοιχίες / υπο-συστοιχίες προστατευτικών διατάξεων έναντι υπερέντασης :

- Οι προστατευτικές διατάξεις έναντι υπερέντασης είναι εγκατεστημένες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

Για συστήματα όπου οι inverter(s) μπορούν να τροφοδοτήσουν ανάστροφα προς τη Φ/B συστοιχία DC τάση:

- Η ανάστροφη τάση είναι μικρότερη από την ονομαστική τιμή των ασφαλειών αλλά και την ονομαστική ένταση των καλωδιώσεων.

## **Κύκλωμα DC - Γειώσεις και συνδέσεις**

Όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει λειτουργική γείωση ενός εκ των αγωγών του DC:

- η λειτουργικής γείωση έχει προδιαγραφεί και εγκατασταθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

Όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει άμεση σύνδεση με την γη στην πλευρά του DC:

- υπάρχει εγκατεστημένος ένας διακόπτης για την απομόνωση του σφάλματος ως προς γη σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

Οι συνδέσεις επί των πλαισίων έχουν καθοριστεί και εγκατασταθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013.

Όπου υπάρχουν προστατευτικές γειώσεις ή ισοδυναμικές συνδέσεις

- πρέπει να έχουν παράλληλες οδεύσεις και πιασμένα μαζί τα καλώδια DC.

## **Κύκλωμα DC – Προστασία έναντι των συνεπειών της κεραυνοπληξίας και των υπερτάσεων**

Για την ελαχιστοποίηση των τάσεων που δημιουργούνται από κεραυνοπληξία, οι βρόγχοι των καλωδίων είναι οι ελάχιστοι δυνατοί. - Ναι /Όχι

Έχουν ληφθεί μέτρα για να προστατευθούν τα μεγάλου μήκους καλώδια (πχ εγκατάσταση SPDs κλπ). - Ναι /Όχι

Όπου έχουν εγκατασταθεί SPDs αυτό έχει γίνει σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013. - Ναι /Όχι

## **Κύκλωμα DC – Επιλογή και κατασκευή του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού**

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι πιστοποιημένα για την μέγιστη πιθανή τάση DC του φωτοβολταϊκού συστήματος - Ναι /Όχι

Όλα τα εξαρτήματα είναι πιστοποιημένα για συνεχή λειτουργία σε DC και στην μέγιστη πιθανή τάση και ρεύμα DC του φωτοβολταϊκού συστήματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

Το σύστημα της καλωδίωσης προδιαγράφηκε, επιλέχθηκε και κατασκευάστηκε για να αντέχει τις εξωτερικές συνθήκες όπως ο αέρας, η δημιουργία πάγου, η θερμοκρασία, η UV και η ηλιακή ακτινοβολία - Ναι /Όχι

Η απομόνωση και αποσύνδεση των φωτοβολταϊκών στοιχειοσειρών και συστοιχιών γίνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

Ένας DC διακόπτης αποσύνδεσης είναι εγκατεστημένος στην πλευρά DC του αναστροφέα – inverter όπως καθορίζεται στο πρότυπο IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

Εφόσον έχουν εγκατασταθεί δίοδοι αποκοπής η τάση αναστροφής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της τάσης ανοιχτού κυκλώματος της στοιχειοσειράς στην οποία είναι εγκατεστημένες ( $2x V_{OC(STC)}$ ) - Ναι /Όχι

Οι σύνδεσμοι σύνδεσης που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του κυκλώματος θα πρέπει να είναι του ιδίου τύπου και κατασκευαστή και να είναι σύμφωνοι με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

## **Κύκλωμα AC**

Υπάρχει διάταξη απομόνωσης του inverter από την πλευρά AC. - Ναι /Όχι

Όλες οι διατάξεις και διακόπτες απομόνωσης είναι συνδεδεμένες έτσι ώστε η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να είναι συνδεδεμένη στην πλευρά του φορτίου και το δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρείας στην πλευρά της πηγής. - Ναι /Όχι

Οι παράμετροι λειτουργίας του inverter είναι ρυθμισμένες σύμφωνα με τα εθνικά πρότυπα.  
- Ναι /Όχι

Όπου είναι εγκατεστημένο εξωτερικού τύπου RCD αυτό θα πρέπει να είναι επιλεγμένο σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC TS 62548:2013 - Ναι /Όχι

## **Σήμανση και αναγνώριση**

Όλα τα κυκλώματα, οι προστατευτικές διατάξεις, οι διακόπτες και οι ακροδέκτες είναι επαρκώς σημασμένοι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου IEC 60364 και IEC TS 62548:2013. - Ναι /Όχι

Όλοι οι πίνακες διακλάδωσης DC ( Ο Πίνακας της Φωτοβολταϊκής γεννήτριας και οι επιμέρους πίνακες των φωτοβολταϊκών συστοιχιών) φέρουν προειδοποιητική σήμανση ότι τα ενεργά τμήματα εντός των πινάκων τροφοδοτούνται από φωτοβολταϊκά και μπορεί να παραμένουν ενεργά ακόμα και μετά την απομόνωση του inverter από το δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρείας. -  
Ναι /Όχι

Η διάταξη απομόνωσης από την πλευρά AC είναι ευδιάκριτα σημειωμένη - Ναι /Όχι  
Διπλές σημάνσεις είναι τοποθετημένες στα σημεία των διακλαδώσεων - Ναι /Όχι  
Ένα μονογραμμικό σχέδιο της καλωδίωσης είναι αναρτημένο σε σημείο της εγκατάστασης -  
Ναι /Όχι

Τα στοιχεία της εταιρείας κατασκευής ή του εγκαταστάτη είναι σημειωμένα και εμφανή στην εγκατάσταση - Ναι /Όχι  
Υπάρχει αναρτημένη η διαδικασία θέσης εκτός λειτουργίας της εγκατάστασης - Ναι /Όχι

Υπάρχει αναρτημένη η διαδικασία που ακολουθείτε σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (όπου απαιτείται) - Ναι /Όχι

Όλες οι ετικέτες και οι σημάνσεις είναι τοποθετημένες σε σταθερά σημεία και είναι κατασκευασμένες για να αντέχουν στον χρόνο - Ναι /Όχι

**Παράρτημα Γ [18]**  
(πληροφοριακό)  
**Υπόδειγμα έκθεσης δοκιμών Φ/Β συστοιχίας**

Έκθεση δοκιμών Φ/Β συστοιχίας	Αρχική εξακρίβωση Περιοδική εξακρίβωση
-------------------------------	---

Διεύθυνση εγκατάστασης	Αναφορά
	Ημερομηνία
Περιγραφή των ελέγχων	Επιθεωρητής
	Όργανα μέτρησης

Στοιχειοσειρά	Αριθμός στοιχειοσειράς	1	2	3	4		<i>n</i>
		Φ/Β πλαίσια					
	Ποσότητα						
Στοιχεία ομάδας (όπως έχουν επισημανθεί)	$V_{oc}$ (stc)						
	$I_{sc}$ (stc)						
Στοιχείο προστασίας στοιχειοσειράς από υπέρταση	Τύπος						
	Ονομαστική τιμή (A)						
	DC κλάση (V)						
	Αντοχή (kA)						
Καλωδίωση στοιχειοσειράς	Τύπος						
	Διατομή (mm <sup>2</sup> )						
	Διατομή αγωγ. γείωσης (mm <sup>2</sup> )						
Δοκιμή στοιχειοσειράς	$V_{oc}$ (V)						
	$I_{sc}$ (A)						
	Φωτεινότητα						
Δοκιμή πολικότητας							
Δοκιμή αντίστασης μόνωσης πλαισίων	Τάση Δοκιμής (V)						
	Θετικό – Γη (MO)						
	Αρνητικό – Γη (MO)						
Συνέχεια αγωγού γείωσης (όπου εφαρμόζεται)							
Αποζεύκτης Φ/Β πλαισίων	Ονομαστική ένταση (A)						
	Ονομαστική τάση (V)						
	Σημείο τοποθέτησης						
	Λειτουργικός έλεγχος						
Inverter	Κατασκευαστής και μοντέλο						
	Σειριακός αριθμός						
	Λειτουργικότητα OK						

ΣΧΟΛΙΑ
--------

## Παράρτημα Δ [18]

(πληροφοριακό)

### Ερμηνεία μορφών καμπυλών I-V

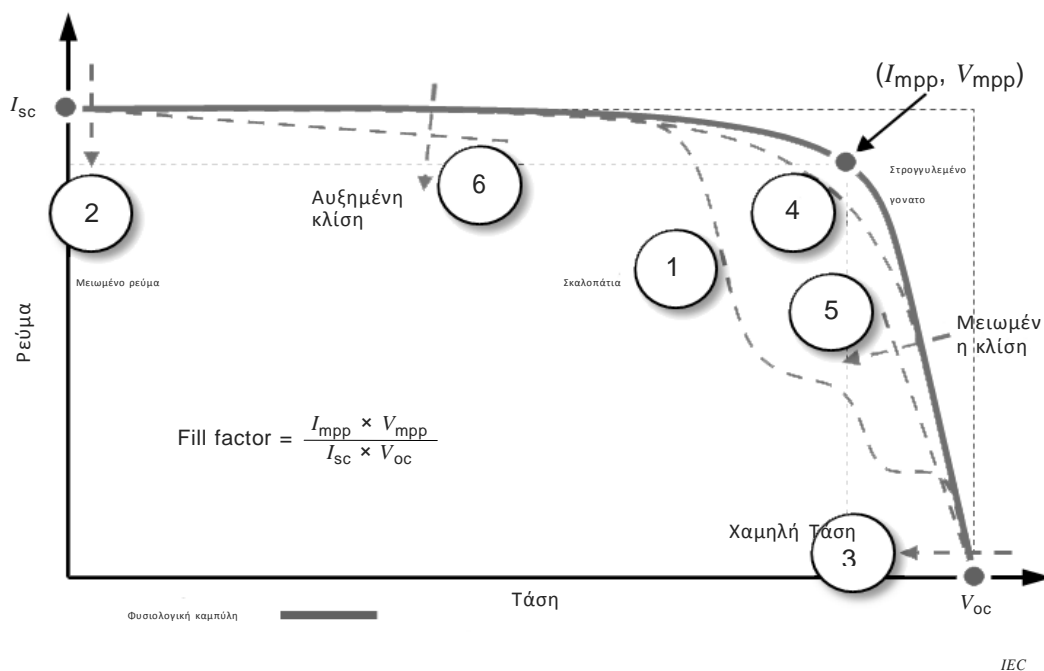
#### Δ.1 Γενικά

Μια φυσιολογική καμπύλη I-V έχει μια ομαλή μορφή με τρία εμφανή τμήμα:

- Ένα “οριζόντιο πόδι” (με ελαφρά κλίση προς τα κάτω).
- Ένα “κατηφορικό πόδι” (με κάθετη κατεύθυνση).
- Ένα σπάσιμο ή “γόνατο” ανάμεσα στις δύο περιοχές.

Σε μια φυσιολογική καμπύλη, αυτά τα τρία τμήματα είναι ομαλά και συνεχή. Οι πλευρές και το σχήμα του γονάτου εξαρτάται από την τεχνολογία της κυψέλης και την κατασκευή. Οι κρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου έχουν απότομα γόνατα, ενώ τα πλαίσια τεχνολογίας λεπτού υμενίου έχουν συνήθως πιο ομαλά και στρογγυλεμένα γόνατα.

Ένας αριθμός παραγόντων μπορούν να επηρεάσουν την μορφή της καμπύλης I-V. Το σχήμα Δ.1 παρουσιάζει τους κύριους τύπους μεταβολών που μπορούν να παρουσιαστούν. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορεί να παρουσιαστούν είτε μόνες είτε σε συνδυασμό.



Σημείωση Οι αριθμοί 1 έως 6 υποδεικνύουν τις διαφοροποιήσεις σχήματος της καμπύλης I-V που παρουσιάζονται στις παραγράφους Δ.2 έως Δ.7.

Σχήμα Δ.1 – μορφές της καμπύλης I-V [18]

Μικρές αποκλίσεις μεταξύ των μετρούμενων και των προβλεπόμενων καμπυλών I-V καμπυλών πρέπει να αναμένονται, δεδομένων των φυσιολογικών αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την μέτρηση της ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και της τάσης. Μικρές διακυμάνσεις μεταξύ φωτοβολταϊκών πλαισίων, ακόμη και του ίδιου κατασκευαστή και μοντέλου, θα έχουν επίσης επίδραση. Η σκίαση και η ρύπανση θα έχουν επίσης επίδραση στη μορφή και το σχήμα της καμπύλης.

Όταν παρουσιάζονται αποκλίσεις, πρέπει να γίνει έλεγχος για να διασφαλιστεί ότι η απόκλιση στο σχήμα μεταξύ της μετρούμενης καμπύλης και της προβλεπόμενης δεν είναι λόγω λάθους, κατά τη μέτρηση, λάθους στη ρύθμιση του οργάνου μέτρησης ή λόγω λάθους στη ρύθμιση του αριθμού των πάνελ στην υπό μέτρηση στοιχειοσειρά.

#### **Δ.1 Διακύμανση 1 – Γόνατα ή πτυχώσεις στην καμπύλη**

Τα σκαλοπάτια ή οι εγκοπές στην καμπύλη I-V είναι ένδειξη ότι υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ μερών της Φ/Β γεννήτριας ή του υπό έλεγχο πάνελ. Η απόκλιση αυτή στην καμπύλη υποδεικνύει ότι οι δίοδοι παράκαμψης έχουν ενεργοποιηθεί και κάποιο ρεύμα διοχετεύεται εσωτερικά μέσω κυψέλης που προστατεύει η συγκεκριμένη δίοδος. Αυτό μπορεί να οφείλεται διάφορους λόγους περιλαμβάνοντας έναν από τους ακόλουθους:

- Η φ/β συστοιχία είναι σκιασμένη ή ένα από τα πλαίσια είναι μερικώς σκιασμένο.
- Η φ/β συστοιχία ή ένα από τα πλαίσια είναι μερικώς ρυπασμένο ή καλυμμένο (π.χ. με χιόνι κλπ).
- Χαλασμένη φ/β κυψέλη ή πλαίσιο.
- Βραχυκυκλωμένη δίοδος παράκαμψης.

Σημείωση: Μερική σκίαση σε ακόμα και μία κυψέλη ενός πλαισίου μπορεί να προκαλέσει την ενεργοποίηση της σχετιζόμενης διόδου παράκαμψης προκαλώντας εγκοπή στην καμπύλη.

#### **Δ.1 Διακύμανση 2 – Μειωμένο ρεύμα**

Ένας αριθμός από παράγοντες μπορεί να ευθύνονται για την παρέκκλιση μεταξύ της προβλεπόμενου και του μετρούμενου ρεύματος. Αυτοί συνοψίζονται παρακάτω.

##### **Αίτια συστοιχίας:**

- Ομοιόμορφη ρύπανση των πάνελ.
- Σκίαση λωρίδας (τα πλαίσια σε διάταξη κάθετη).
- Φράγμα βρωμιάς στο κάτω σημείο του πάνελ (τα πλαίσια σε διάταξη κάθετη).
- Εκφυλισμός – μείωση της απόδοσης των πάνελ.

Σημείωση: Το αποτέλεσμα της σκίασης λωρίδας και του φράγματος βρωμιάς είναι παρόμοια με εκείνο της ομοιόμορφης ρύπανσης καθώς μειώνουν το ρεύμα όλων των κυψελών σχεδόν στον ίδιο βαθμό.

##### **Πρόβλημα μοντέλου υπολογισμών:**

- Τα στοιχεία του πάνελ έχουν καταχωρηθεί λανθασμένα στο όργανο μέτρησης.
- Ο αριθμός των παράλληλων στοιχειοσειρών έχουν καταχωρηθεί λανθασμένα στο όργανο μέτρησης.



### **Αίτια Μέτρησης:**

- Εσφαλμένο καλιμπράρισμα του αισθητήρα μέτρησης της ακτινοβολίας ή λάθος μέτρησης.
- Ο αισθητήρας μέτρησης της ακτινοβολίας δεν είναι σωστά τοποθετημένος στη συστοιχία (κλίση και προσανατολισμός).
- Η ακτινοβολία μεταβλήθηκε μεταξύ της χρονικής στιγμής μέτρησης της ακτινοβολίας και της μέτρησης της καμπύλης I-V.
- Η διάχυτη ακτινοβολία επηρεάζει τον αισθητήρα μέτρησης της ακτινοβολίας κάνοντας τον να μετρά μεγάλες τιμές ακτινοβολίας.
- Η ακτινοβολία είναι πολύ χαμηλή ή ο ήλιος είναι πολύ κοντά στον ορίζοντα.

Σημείωση: Καθώς η απόκλιση που παρουσιάζεται στο σχήμα Δ.2 παραπάνω, είναι επίσης πιθανό να βρεθεί ότι η μετρούμενη τιμή είναι μεγαλύτερη της προβλεπόμενης από το μοντέλο της καμπύλης I-V.

### **Δ.1 Διακύμανση 3 – Χαμηλή τάση**

Πιθανά αίτια της απόκλισης στην τάση, περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

#### **Αίτια συστοιχίας:**

- Ενεργοποιημένες ή βραχυκυκλωμένες δίοδοι παράκαμψης.
- Λάθος αριθμός πλαισίων συνδεδεμένος στη στοιχειοσειρά.
- Πιθανός προκαλούμενος εκφυλισμός των πλαισίων (PID).
- Σημαντική και ομοιόμορφη σκίαση σε ολόκληρη την κυψέλη / πλαίσιο / στοιχειοσειρά.

#### **Πρόβλημα μοντέλου υπολογισμών:**

- Τα στοιχεία του πάνελ έχουν καταχωρηθεί λανθασμένα στο όργανο μέτρησης.
- Ο αριθμός των πάνελ στην στοιχειοσειρά έχουν καταχωρηθεί λανθασμένα στο όργανο μέτρησης.

#### **Αίτια Μέτρησης:**

- Η θερμοκρασία της κυψέλης είναι διαφορετική της μετρούμενης.

Καθώς η θερμοκρασία της κυψέλης επηρεάζει την τάση ενός πλαισίου, η διαφορά μεταξύ της πραγματικής θερμοκρασίας της κυψέλης και της μετρούμενης (ή της θεωρούμενης) από το όργανο μέτρησης της καμπύλης I-V θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία λανθασμένης καμπύλης. Σε τέτοιο ενδεχόμενο ελέγξτε την μεθοδολογία μέτρησης της θερμοκρασίας πριν ξεκινήσετε (π.χ. ελέγξτε ότι ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι προσαρμοσμένος στο πλαίσιο).

Μια ομάδα από στοιχειοσειρές που μετρούνται κατά διαδοχή συχνά εμφανίζουν διαφορετικό ποσοστό μεταβολής σε σχέση με τις προβλεπόμενες τιμές του

μοντέλου. Αυτό πρέπει να αναμένεται καθώς η θερμοκρασία συνήθως μετριέται σε ένα πλαίσιο ενώ δεν είναι ομοιόμορφη σε όλα τα πλαίσια της υπό μέτρηση ομάδας και σταθερή στον χρόνο. Παρόλα αυτά αν μια στοιχειοσειρά έχει μεγαλύτερη διαφορά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα τότε αυτό είναι πρόβλημα και συγκεκριμένα αν η διακύμανση αντιστοιχεί στην τιμή  $V_{OC}/N$  όπου τα πλαίσια έχουν  $N$  διόδους παράκαμψης.

#### **D.1 Διακύμανση 4 – Ομαλό γόνατο**

Το ομαλό γόνατο της καμπύλης I-V μπορεί να είναι ένδειξη της γήρανσης. Πριν καταλήξετε σε αυτό το συμπέρασμα, ελέγξτε τις κλίσεις του οριζόντιου και κάθετου τμήματος της καμπύλης I-V. Αν έχουν αλλάξει, τότε μπορεί να έχει δημιουργηθεί μια οπτική αίσθηση ότι το γόνατο είναι ομαλό ενώ δεν ισχύει.

#### **D.2 Διακύμανση 5 – Μειωμένη κλίση στο κάθετο πόδι**

Η κλίση του τελευταίου τμήματος της καμπύλης I-V μεταξύ της μέγιστης τιμής ισχύος ( $V_{MPP}$ ) και  $V_{OC}$  επηρεάζεται από την εν σειρά αντίσταση του υπο έλεγχο κυκλώματος. Μια αυξημένη τιμή της αντίστασης θα μειώσει την κλίση σε αυτό το τμήμα της καμπύλης.

Πιθανές αιτίες για την αυξημένη τιμή της αντίστασης περιλαμβάνουν:

- Προβλήματα της καλωδίωσης του φ/β ή σφάλματα (ή καλωδίωση με λάθος στην διαστασιολόγηση).
- Σφάλμα στους συνδέσμους των πλαισίων ή των καλωδιώσεων της στοιχειοσειράς (κακές ή χαλαρές συνδέσεις).
- Αυξημένη αντίσταση σειράς του πλαισίου.

Όταν γίνεται έλεγχος στοιχειοσειρών με μεγάλο μήκος καλωδίων, η αντίσταση των καλωδίων θα επηρεάσει την μορφή της καμπύλης I-V όπως περιγράφηκε. Αν αυτό είναι μια υποψία τότε το μοντέλο θα πρέπει να διορθωθεί ή να επαναληφθεί η μέτρηση κάνοντας την μέτρηση πιο κοντά στην στοιχειοσειρά (παρακάμπτοντας το μεγάλο μήκος της καλωδίωσης).

Όπου εντοπιστεί αυτό το πρόβλημα στην καμπύλη θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ποιότητα της καλωδίωσης και στις συνδέσεις εντός του κυκλώματος. Αυτό το σφάλμα (μειωμένη κλίση στην καμπύλη) είναι ενδεικτικό σημαντικού προβλήματος στην καλωδίωση ή σημαντική βλάβη ή οξείδωση η οποία επηρεάζει την στοιχειοσειρά.

Αυξημένη αντίσταση σειρά πλαισίου μπορεί να οφείλεται σε προβληματικές συνδέσεις υψηλής αντίστασης εντός της κυψέλης ή εντός του κουτιού διακλάδωσης του πλαισίου – λόγω εκφυλισμού, οξείδωσης ή κατασκευαστικού προβλήματος.

Μια θερμογραφία IR όπως αυτή περιγράφεται στις δοκιμές δεύτερης κατηγορίας, μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για να εντοπιστούν τα σφάλματα υψηλής αντίστασης.

### D.3 Διακύμανση 6 – Αυξημένη κλίση στο οριζόντιο πόδι

Μια διακύμανση στην κλίση του πρώτου τμήματος της καμπύλης I-V είναι πιθανό να οφείλεται σε:

- Παρακάμψεις εντός της φ/β κυψέλης.
- Ασύμβατα πλαίσια τα οποία δεν έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ .
- Μερική σκίαση ή ρύπανση (π.χ. φράγμα βρωμιάς).

Το ρεύμα παράκαμψης εντός της κυψέλης είναι κάθε ρεύμα το οποίο παρακάμπτει την φ/β κυψέλη – συνήθως λόγω τοπικών ελαττωμάτων είτε στην κυψέλη, είτε στις συνδέσεις εντός της κυψέλης. Τα ρεύματα παράκαμψης μπορεί να οδηγήσει σε τοπικά hot spots τα οποία μπορούν να εντοπιστούν μέσω θερμογραφίας IR.

Διαφορές στο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  μεταξύ πλαισίων σε μια στοιχειοσειρά μπορεί να οφείλονται λόγω κατασκευαστικών αποκλίσεων. Εφόσον οι ανομοιότητες είναι μικρές εντός της στοιχειοσειράς τότε σκαλοπάτια ή εγκοπές μπορεί να μην εμφανιστούν.

Καθώς σημαντική σκίαση θα προκαλέσει σκαλοπάτια ή εγκοπές στην καμπύλη I-V, μικρές σκιάσεις σε κάποια πλαίσια της στοιχειοσειράς μπορεί να έχει το ίδιο αποτέλεσμα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr)
- [2] Σταμάτης Δ.Περδιός, “Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις”, σελ 53-54, Β έκδοση, Εκδόσεις Τεκδοτική, Αθήνα 2007
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Monocrystalline\\_silicon](https://en.wikipedia.org/wiki/Monocrystalline_silicon)
- [4] <http://www.mlsolar.com/infinium-pro-series-320-watt-72-cell-poly-solar-panel/>
- [5] [https://www.alibaba.com/product-detail/Evergreen-Solar-Panel-210-Watts\\_18\\_131960571.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Evergreen-Solar-Panel-210-Watts_18_131960571.html)
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film\\_solar\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell)
- [7] [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Transparent-CdTe-77W-Thin-Film\\_60495207502.html](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Transparent-CdTe-77W-Thin-Film_60495207502.html)
- [8] <https://www.solaronix.com/solarcells/>
- [9] <https://eu-solar.panasonic.net/en/2969.htm>
- [10] <https://www.ecodirect.com/Solyndra-191-Watt-88-Volt-Solar-Panel-SL-200-191-p/solyndra-sl-200-191.htm>
- [11] <https://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/string/three-phase/pvi-10-0kw-12-5kw>
- [12] [https://nl.wikipedia.org/wiki/Maximum\\_power\\_point\\_tracking#/media/File:MaximumPowerPoint.svg](https://nl.wikipedia.org/wiki/Maximum_power_point_tracking#/media/File:MaximumPowerPoint.svg)
- [13] <http://makeable.de/mlab/makeable/solarbox/>
- [14] <https://docplayer.org/83083-Welcher-solar-lade-regler-pwm-oder-mppt.html>
- [15] <https://www.apple.com/gr/ios/app-store/>
- [16] E. Hasselbrink, M. Anderson, Z. Defreitas, M. Mikofski, Y.-C. Shen, S. Caldwell, A. Terao, D. Kavulak, Z. Campeau, D. DeGraaff, Site Data Validation of the PVLife Model Using 3 Million Module-Years of Live, Proc. 39th PVSC (IEEE, Tampa, FL, USA, 2013) in press
- [17] Review on Failures of Photovoltaic Modules, Report IEA-PVPS T13-01:2013
- [18] Photovoltaic (PV) systems –Requirements for testing, documentation and maintenance-Part1:Grid connected systems – Documentation, commissioning tests and inspection (IEC 62446-1:2016), EUROPEAN STANDARD, CENELEC, Brussels
- [19] [www.kmetrics.gr](http://www.kmetrics.gr)