



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Μελέτη & Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού έργου 500 kW επί εδάφους, με 10% προσθήκη
βάσει του νέου νομοθετικού πλαισίου**

υπό

ΤΟΥΦΕΞΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Διπλωματούχου Μηχανικού Πετρελαίου & Φυσικού Αερίου Διεθνούς Πανεπιστημίου
Ελλάδος - Παράρτημα Καβάλας 2020

Μεταπτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης «Ανάλυση & Διαχείριση Ενεργειακών Συστημάτων»

Βόλος, 2024

© 2024 Αικατερίνη Τουφεξή

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

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)	Δρ. Δημήτριος Βαλουγεώργης Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δεύτερος Εξεταστής	Δρ. Παναγιώτης Τσιακάρης Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τρίτος Εξεταστής	Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της μεταπτυχιακής εργασίας μου, Δρ. Δημήτριο Βαλουγεώργη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για την πολύτιμη βοήθεια, υποστήριξη και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

**Μελέτη & Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού έργου 500 kW επί εδάφους, με 10% προσθήκη
βάσει του νέου νομοθετικού πλαισίου**

ΤΟΥΦΕΞΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Διπλωματούχου Μηχανικού Πετρελαίου & Φυσικού Αερίου Διεθνούς Πανεπιστημίου
Ελλάδος - Παράρτημα Καβάλας 2020

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Δημήτριος Βαλουγεώργης
Καθηγητής Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάρκα είναι μια τεχνολογία που κερδίζει όλο και μεγαλύτερο μερίδιο στην παραγωγή ενέργειας, τόσο διεθνώς όσο και εντός ελληνικών συνόρων. Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, αφού δοθούν οι επιστημονικές αρχές στις οποίες βασίζεται η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, εξετάζονται σφαιρικά όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατασκευή ενός Φ/Β πάρκου 500 kW και δίνεται μια συνολική εποπτεία των επιμέρους σταδίων του σχεδιασμού του βήμα-βήμα. Στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής επιστρατεύονται οι πλέον προτιμώμενες σχεδιαστικές πρακτικές και μέθοδοι και λαμβάνεται υπόψη το σύνολο των κανόνων και υπολογισμών που διέπουν τη διαδικασία που ακολουθείται από την αρμόδια ομάδα μηχανικών. Παράλληλα μελετώνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις που θα κάνουν το έργο δεκτικό σε μελλοντικές επεμβάσεις και προσθήκες, εστιάζοντας στο παράδειγμα της 10% προσαύξησης που προβλέπεται από το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο. Τέλος, απαριθμούνται τεχνολογίες που τείνουν να κυριαρχήσουν στον τομέα της ηλιακής ενέργειας και σχολιάζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν αυτές να επηρεάσουν τη διαδικασία μελέτης και σχεδιασμού.

Λέξεις - κλειδιά: **Ηλιακή Ενέργεια, Φωτοβολταϊκά, Μελέτη και κατασκευή, Υποδομές**

Design & installation of a photovoltaic project 500 kW on the ground, with 10% Addition under the new legislative framework

AIKATERINI TOUFEXI

Department of Oil & Gas Engineering, International Hellenic University, Kavala Branch 2020

Supervisor: Dr Dimitrios Valougeorgis

Professor of Mechanical Engineering, University of Thessaly

Abstract

Photovoltaic (PV) parks are a technology that is gaining an ever-growing share in energy production internationally and within Greek borders. In this master's thesis, after giving the scientific principles on which the exploitation of solar energy is based, all factors affecting the construction of a 500 kW PV park are comprehensively examined and an overall supervision of the individual stages of the step-by-step design is provided. As part of this effort, the most preferred design practices and methods are employed and all the rules and calculations governing the process followed by the relevant engineering team are considered. At the same time, the necessary conditions that will make the project receptive to future interventions and additions are being studied, focusing on the example of the 10% increase provided by the Greek legislative framework. Finally, technologies that tend to dominate the solar energy sector are listed and comments are made on how they may affect the study and design process.

Keywords: ***Solar Energy, Photovoltaics, Design and construction, Infrastructure***

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Ενέργεια - Συμβατικές και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	1
1.2 Η Σημασία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	2
1.3 Στόχοι και Δομή Διπλωματικής Εργασίας	4
Κεφάλαιο 2. Ηλιακή Ενέργεια - Εξελίξεις στον τομέα των Φωτοβολταϊκών	6
2.1 Εισαγωγή στη Ηλιακή Ενέργεια	6
2.2 Φωτοβολταϊκά Πάνελ.....	11
2.3 Φωτοβολταϊκά Πάρκα	23
2.4 Νέο Νομοθετικό Πλαίσιο και 10% Προσθήκη	34
2.5 Σύγχρονες Απαιτήσεις	36
Κεφάλαιο 3. Περιγραφή θέματος και Μεθοδολογία	39
3.1 Μελέτη Εγκατάστασης Φ/Β Πάρκου 500 kW	39
3.2 Επιλογή Εξοπλισμού	42
3.3 Σχεδιασμός του Έργου	48
3.4 Μέριμνα για Μελλοντική Προσθήκη έως 10%	60
3.5 Τελική Εγκατάσταση & Ενεργοποίηση του Έργου	64
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και Σχολιασμός	67
4.1 Βασικές Απαιτήσεις και Προβλέψεις	67
4.2 Αναγκαία Μέτρα	72
4.3 Σχολιασμός Σημείων Ενδιαφέροντος.....	73
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα, Προτάσεις και Μελλοντικές Ενέργειες	75
5.1 Συμπεράσματα	75
5.2 Προτάσεις και Μελλοντικές Ενέργειες.....	76
● ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

Κεφάλαιο 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια - Συμβατικές και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ως ενέργεια περιγράφεται η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να επιφέρει μια αλλαγή ή να παράγει έργο, όπως για παράδειγμα η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει θερμότητα. Τα είδη της ενέργειας διακρίνονται σε θερμική ενέργεια, ηλεκτρική ενέργεια, χημική ενέργεια, κινητική ενέργεια και διάφορα άλλα είδη ενέργειας.

Η διαρκώς αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της ενέργειας είναι βασική διότι είναι η βάση όλου του πλανήτη για την ευημερία, την ζωή, την κινητικότητα, την βιομηχανία και άπειρες ακόμα εφαρμογές. Από τον μεσαίωνα μέχρι και σήμερα έχουν εφευρεθεί πολλές πηγές ενέργειας, φθηνές και μη και χωρίζονται σε συμβατικές πηγές και ανανεώσιμες.

Στα τέλη του 20ου και στις αρχές του 21ου αιώνα έγινε φανερό ότι η δομή του Δικτύου Ηλεκτρικής Ενέργειας απαιτούσε άμεσα αλλαγές, ώστε να είναι βιώσιμο και για να αποφευχθούν οι σοβαρότερες συνέπειες στο κλίμα του πλανήτη. Οι συμβατικές πηγές, οι οποίες αναφέρονται και ως μη ανανεώσιμες πηγές, είναι τα ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια. Καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες των ανεπτυγμένων χωρών κατά 85% και κατά 55% των χωρών που βρίσκονται υπό ανάπτυξη. Στα ορυκτά καύσιμα συγκαταλέγονται ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Ο γαιάνθρακας εξορύσσεται από την Γη και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό καύσιμο καθώς χρησιμοποιείται σε όλο τον πλανήτη επί αιώνες και είναι υπεύθυνος για την βιομηχανική επανάσταση. Τα υποπροϊόντα του είναι ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας και η τύρφη. Το πετρέλαιο έχει επέλθει από την καθίζηση ζωικών υλών και μη, δισεκατομμυρίων χρόνων πριν και χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας, από τα πλαστικά μέχρι τις μετακινήσεις. Η καύση του πετρελαίου και των παραγώγων του εκλύει στο περιβάλλον θείο, διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και οξείδια αζώτου, τα οποία επιβαρύνουν αρνητικά την ατμόσφαιρα του πλανήτη και την υγεία των ανθρώπων.

Το φυσικό αέριο είναι μείγμα υδρογονανθράκων, με κύριο υδρογονάνθρακα το μεθάνιο. Όπως και το πετρέλαιο, σχηματίστηκε δισεκατομμύρια χρόνια πριν εσωτερικά του φλοιού της γης ύστερα από καθίζησης της ύλης. Χρησιμοποιείται κυρίως ως μέσον θέρμανσης αλλά και ως καύσιμο. Είναι άχρωμο και άοσμο, για αυτό του προστίθεται μια τεχνητή ουσία με οσμή, η μερκαπτάνη ή θειόλη. Δεν εκλύει επιβλαβείς ουσίες αλλά αυτό δεν το καθιστά φιλικό προς το περιβάλλον. Η πυρηνική ενέργεια παράγεται σε εργοστάσια κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες και αποτελεί σημαντικό κομμάτι της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος παγκοσμίως. Παρόλα αυτά, θεωρείται μη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας λόγω των τραγικών αποτελεσμάτων που μπορεί να επιφέρει όταν διαρρεύσει.

Στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγκαταλέγονται η ενέργεια των κυμάτων, οι παλιρροϊκές κινήσεις, τα θαλάσσια ρεύματα, η υδατόπτωση, η γεωθερμική και η αιολική ενέργεια, η βιομάζα και η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια των κυμάτων, τα θαλάσσια ρεύματα και οι παλιρροϊκές κινήσεις μπορούν να αξιοποιηθούν με τη βοήθεια των υποθαλάσσιων ανεμογεννητριών. Η υδατόπτωση χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη βοήθεια φραγμάτων και ηλεκτρογεννητριών. Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια των θερμών νερών που προέρχονται είτε από ρήγματα του υπεδάφους, είτε από ηφαιστειακές διόδους. Θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αλλά η χρήση της περιορίζεται μόνο στα μέρη όπου υπάρχει η συγκεκριμένη μορφολογία του εδάφους.

Η αιολική ενέργεια παράγεται από ανεμογεννήτριες κάθετου ή οριζόντιου άξονα, οι οποίες εκμεταλλεύονται τον άνεμο και μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η βιομάζα προέρχεται από ύλη που έχει άμεση ή έμμεση βιολογική και οργανική προέλευση και όταν χρησιμοποιείται συνετά, δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών πανέλων.

1.2 Η Σημασία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι συμβατικές πηγές - κατά κύριο λόγο τα ορυκτά καύσιμα - έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως ότι μετατρέπονται εύκολα σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια με

χαμηλό κόστος. Μέχρι σήμερα έχει κατασκευαστεί πληθώρα υποδομών που καθιστούν τη μεταφορά και τη χρήση της πολύ εύκολη στις περισσότερες καθημερινές και μη εφαρμογές. Παρόλα αυτά, εκτός από ιδιαίτερα ρυπογόνες και επιζήμιες για το περιβάλλον, υπάρχουν στη φύση σε περιορισμένη ποσότητα.

Αντιθέτως, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η Ηλιακή και η Αιολική, είναι πρακτικά ανεξάντλητες και φέρουν αμελητέο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Ωστόσο, παρόλο που τα τελευταία χρόνια η ενσωμάτωση στο δίκτυο ενέργειας, μονάδων παραγωγής ΑΠΕ, γίνεται με ταχείς ρυθμούς, αυτή δεν συμβαίνει δίχως να συνοδεύεται από προβλήματα. Ενώ η χρήση ορυκτών καυσίμων γίνεται εντελώς ελεγχόμενα και η παραγωγή ενέργειας είναι πλήρως προβλεπόμενη και προκαθορισμένη, οι ΑΠΕ στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στις καιρικές συνθήκες, οι οποίες - παρά την εντυπωσιακή πρόοδο που έχει γίνει στα προβλεπτικά μοντέλα και στη μετεωρολογία - χαρακτηρίζονται από έντονη στοχαστικότητα.

Οι συνθήκες λειτουργίας τους δύνανται να μεταβάλλονται διαρκώς, καθιστώντας ως πρόκληση την αξιοποίησή τους με τον βέλτιστο συντελεστή ισχύος. Επιπλέον, η τιμή της συνολικής αδράνειας τους δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω των ΑΠΕ, κατά κανόνα μειώνεται όσο αυτές αντικαθιστούν τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ισχύος και είναι ως έναν βαθμό απρόβλεπτη και ευμετάβλητη, επιφέροντας κίνδυνο αστάθειας και δυσμενών συνεπειών για παραγωγούς και καταναλωτές εφόσον το φαινόμενο δεν αντιμετωπιστεί κατάλληλα.

Εντούτοις, παρά τα όποια μειονεκτήματα και παγίδες που την συνοδεύουν, η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ προσφέρει συγκριτικά πολύ περισσότερα πλεονεκτήματα, πράγμα που καθιστά την χρήση και την μελέτη της επιτακτικές. Είναι επιτακτική η ανάγκη για καλύτερη και πιο αποδοτική αξιοποίησή της, για ενσωμάτωση στο δίκτυο τηρώντας όσο το δυνατόν πιο αυστηρά επιλεγμένες προδιαγραφές λειτουργίας. Προδιαγραφές οι οποίες σκιαγραφούν την απαίτηση οι μονάδες παραγωγής να είναι κάτι παραπάνω από παθητικές πηγές ενέργειας, επιφορτίζοντάς τις με λειτουργίες πιο εξεζητημένες, όπως το να συμβάλλουν στην ευστάθεια και την ομαλή λειτουργία του τοπικού, αλλά και του ευρύτερου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Όλα αυτά, ενώ παράλληλα λειτουργούν με τη μέγιστη δυνατή απόδοση, απαίτηση αυτονόητη της εποχής.

1.3 Στόχοι και Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η συνεισφορά αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι ότι δίνεται έμφαση στην ενέργεια γενικότερα και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ειδικότερα και αναλύεται σε βάθος η μελέτη εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 500 kW. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στο νέο νομοθετικό πλαίσιο για 10% προσθήκη, καθώς και προβλέπονται μελλοντικές απαιτήσεις και ενέργειες.

Η παρούσα εργασία φέρει έναν αριθμό στόχων μέχρι την περάτωσή της. Οι κυριότεροι εξ αυτών είναι:

- Η ανάδειξη της σημασίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Η επεξήγηση της έννοιας της ηλιακής ενέργειας
- Η παρουσίαση του εξοπλισμού ενός φωτοβολταϊκού πάρκου
- Η ανάλυση του τρόπου μελέτης και εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου
- Σχολιασμός και προβλέψεις μελλοντικών ενεργειών

Κινούμενη σε αυτά τα πλαίσια και με τις προαναφερθείσες σκέψεις, η παρούσα εργασία έχει στόχο να συμβάλει με ένα μερίδιο στην προσπάθεια που καταβάλλεται καθημερινά από πλήθος ερευνητών, επιστημόνων και μηχανικών για τον εκσυγχρονισμό και την ομαλή ένταξη του συνεχώς αυξανόμενου ποσοστού των ΑΠΕ στην αγορά της ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, αναγνωρίζοντας τη σημασία εκμετάλλευσης της Ηλιακής Ενέργειας και τον ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο που κατέχει στην σύγχρονη λογική της διεσπαρμένης παραγωγής, αναλύεται και δίνεται βάρος σε ένα σύστημα παραγωγής, αποτελούμενο από φωτοβολταϊκά, τους μετατροπείς, και τον υποσταθμό μέσω του οποίου γίνεται η διασύνδεσή του με το δίκτυο.

Έχοντας ως εργαλεία τις ποικίλες μεθόδους μελέτης και κατασκευής που υπάρχουν στη βιβλιογραφία και μέσω πρακτικής εμπειρίας, δείχνεται ο τρόπος με τον οποίο ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να αποτελέσει μια αποδοτική μονάδα παραγωγής ενέργειας, η οποία τηρεί τις προδιαγραφές ασφαλείας και λειτουργεί με τέτοιο τρόπο που να στηρίζει την ευστάθεια και στιβαρότητα από την οποία οφείλει να χαρακτηρίζεται το σύγχρονο Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Το υπόλοιπο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας χωρίζεται σε τέσσερις ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαιο 2 - 5, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύονται οι όροι «Ηλιακή Ενέργεια», «Φωτοβολταϊκά Πάνελ» και «Φωτοβολταϊκά Πάρκα». Επίσης αναφέρονται οι σύγχρονες απαιτήσεις και το νέο νομοθετικό πλαίσιο και η 10% προσαύξηση της εγκατεστημένης ισχύος.

Στο Κεφάλαιο 3 εκτίθεται η μελέτη εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 500 kW, η μεθοδολογία επιλογής εξοπλισμού και περιγράφονται τα βήματα σχεδιασμού του έργου. Επιπλέον, αναλύεται η μέθοδος μέριμνας για μελλοντική προσθήκη έως 10% και μνημονεύεται η τελική εγκατάσταση και ενεργοποίηση του έργου.

Το Κεφάλαιο 4 αποτελείται από τα αποτελέσματα και τους σχολιασμούς του θέματος της διπλωματικής. Πιο συγκεκριμένα αναπτύσσονται οι βασικές απαιτήσεις, οι προβλέψεις και τα αναγκαία μέτρα για μελλοντικές μελέτες εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου, όπως πραγματοποιείται και ο σχολιασμός σημείων ενδιαφέροντος.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας και οι προτάσεις και οι μελλοντικές ενέργειες για τη μελέτη και εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου.

Κεφάλαιο 2. Ηλιακή Ενέργεια - Εξελίξεις στον τομέα των Φωτοβολταϊκών

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αρχικά μια εισαγωγή στην ηλιακή ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται το χρονικό της ερμηνείας και της αποτύπωσης των σχετικών νόμων της φυσικής από την αρχαιότητα ως σήμερα, γίνεται αναφορά στο μέρος της ενέργειας του Ήλιου που φτάνει στη Γη και παρατίθενται οι τρόποι και τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή του. Στη συνέχεια περιγράφονται οι τρόποι δέσμευσης και αξιοποίησης της ενέργειας αυτής μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, στο οποίο βασίζεται η λειτουργία των ηλιακών κυττάρων. Αναφέρονται τα βασικά μέρη της διαδικασίας κατασκευής ηλιακών κυττάρων και σε δεύτερο χρόνο Φ/Β πλαισίων, ενώ παρουσιάζονται τα βασικά τους ηλεκτρολογικά χαρακτηριστικά. Από τα Φ/Β πλαίσια γίνεται η μετάβαση στα Φ/Β πάρκα και απαριθμούνται τα βασικά τους δομικά κομμάτια. Το κεφάλαιο τελειώνει με μια σύντομη αναφορά στις σύγχρονες απαιτήσεις και το πως επηρεάζουν τα Φ/Β πάρκα, καθώς και το πως ένα νέο νομοθετικό πλαίσιο προσφέρει ευκαιρία για επαύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε έργα εντός της ελληνικής επικράτειας. Περαιτέρω πληροφορίες και λεπτομέρειες, ο αναγνώστης μπορεί να αναζητήσει στα [1], [2].

2.1 Εισαγωγή στη Ηλιακή Ενέργεια

Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι όπως ο Πλάτων, ο Δημόκριτος, ο Αριστοτέλης, ο Πυθαγόρας ο Σάμιος και ο Εμπεδοκλής άρχισαν να ερευνούν την φύση του φωτός και εισήγαγαν την έννοια της σωματιδιακής διάδοσης του φωτός ήδη από τον 6ο αιώνα π.Χ. Αρκετούς αιώνες μετά, το 1643 έως το 1727 μ.Χ. ο Ισαάκ Νεύτων, προκειμένου να ερμηνεύσει τον νόμο ανάκλασης του φωτός, εισήγαγε τη σωματιδιακή φύση του φωτός. Ο θεωρητικός φυσικός James Clerk Maxwell το 1865 ομογενοποίησε τους εμπειρικούς νόμους του ηλεκτρισμού με τις εξισώσεις Maxwell.

Ο Max Planck στις αρχές του 20ου αιώνα ερμήνευσε την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα σώματα, με βάση την έννοια της εκπομπής, από τα άτομα και μόρια της ύλης, ενεργειακών ποσών, δηλαδή την θεωρία Quanta.

Το 1905, ο μεγάλος θεωρητικός φυσικός Άλμπερτ Αϊνστάιν εισήγαγε την έννοια του φωτονίου για το φως και την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου για το οποίο βραβεύτηκε με Νόμπελ το 1921.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελεί μια διαδεδομένη διαταραχή συνδυασμένου μαγνητικού και ηλεκτρικού πεδίου. Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό χώρο είναι προσεγγιστικά περίπου 300.000 km/s και εκπέμπεται από τους δομικούς λίθους της ύλης, δηλαδή τα άτομα, τα μόρια και τα ιόντα. Η εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σχετίζεται με τη θερμοκρασία των σωμάτων, δηλαδή τη θερμική ακτινοβολία και τις ηλεκτρονικές αποδιεγέρσεις των διεγερμένων δομικών λίθων που δεν προκαλούνται από τη θερμοκρασία, αλλά από άλλες αιτίες.

Σύμφωνα με τον νόμο των Stefan - Boltzmann, η εκπεμπόμενη, ημισφαιρικά, πυκνότητα ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε όλα τα μήκη κύματος, από μέλαν σώμα θερμοκρασίας T , δίνεται από τη σχέση:

$$E_T = \sigma \cdot T^4$$

όπου $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$.

Χαρακτηριστικά μεγέθη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας θεωρούνται η ισχύς ή ακτινοβολήση (P) και η ειδική ακτινοβολήση (E) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Radiant Exitance, Irradiance). Η ισχύς ή ακτινοβολήση (P) ορίζεται ως το πηλίκο της ακτινοβολούμενης, σε χρόνο dt , ενέργειας dU , μέσα σε στερεά γωνία $d\Omega$ και ο τύπος δίνεται από τη σχέση:

$$P = dU/dt$$

Η μονάδα μέτρησης της ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο SI είναι το 1 Watt.

Η ειδική ακτινοβολήση (E) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αφορά στην ισχύ της σε όλα τα μήκη κύματος, ανά μονάδα επιφάνειας, από την οποία εκπέμπεται (Radiant Exitance) ή προς την οποία προσπίπτει (Radiant Emittance) ή διαπερνά (Irradiance), από διάφορες κατευθύνσεις. Το συγκεκριμένο φαινόμενο προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E = dP/dS$$

όπου dS η στοιχειώδης επιφάνεια, πάνω στην οποία προσπίπτει ή από την οποία εκπέμπεται ή μέσα από την οποία διέρχεται η στοιχειώδης ισχύς ακτινοβολίας dP . Η μονάδα μέτρησης της ειδικής ακτινοβολήσης στο SI είναι το 1 W/m^2 .

Όταν σε ένα ηλιακό σύστημα υπάρχει ένας αστέρας, αυτός διαδίδει την ενέργεια του στο σύμπαν με την μορφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή με τη μορφή σωματιδίων. Αυτή η ενέργεια φτάνει στους πλανήτες του ίδιου ηλιακού συστήματος, ενώ όσο πιο κοντά είναι ένας πλανήτης στον αστέρα τόσο περισσότερη ενέργεια δέχεται.

Ένας τέτοιος αστέρας του ηλιακού μας συστήματος είναι ο ήλιος, ο οποίος είναι ένας τυπικός αστέρας με ακτίνα 700.000 km, μάζα 2×10^{30} kg και ηλικία περίπου 5×10^9 χρόνια. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του υπολογίζεται περίπου 5.800 Kelvin, ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό του αστέρα είναι περίπου 15.000.000 K. Η πυκνότητα ισχύος E , της ακτινοβολίας του ήλιου μεταβάλλεται αντιστρόφως αναλόγως με το τετράγωνο της απόστασης. Δίνεται από τον μαθηματικό τύπο:

$$E = \frac{P}{4\pi \times d^2}$$

όπου P η ολική, σε όλα τα μήκη κύματος, εκπεμπόμενη από όλη την επιφάνεια του, ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και d η απόσταση από τον ήλιο, κατά την οποία μετριέται η ένταση.

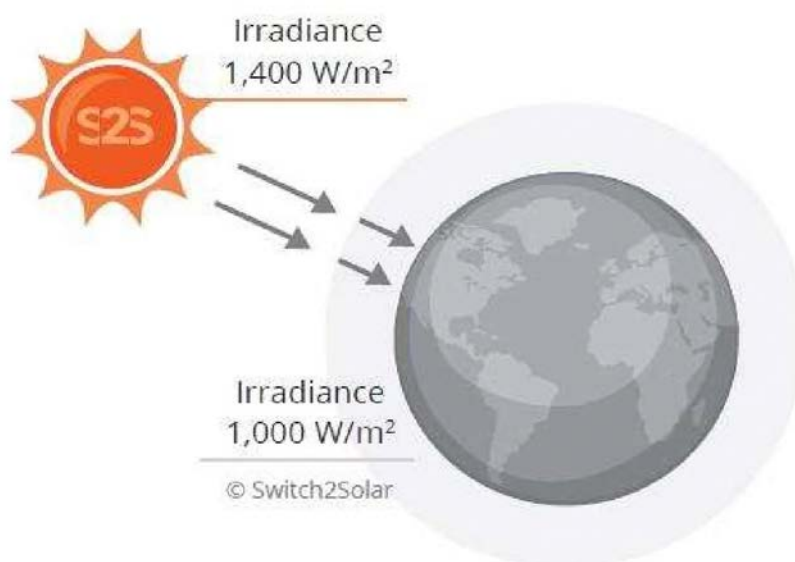
Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στον πλανήτη μας μετριέται με διάφορα όργανα μέτρησης, τα οποία διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι οι θερμικοί αισθητήρες, οι οποίοι περιέχουν μία πλάκα από ορισμένο υλικό, συνήθως μαύρη επιφάνεια, που δίνει ένδειξη όταν θερμανθεί. Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται όργανα μέτρησης όπως το πυρανόμετρο, του οποίου η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο και ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος, η λειτουργία και ενδείξεις του οποίου βασίζονται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροπής διηλεκτρικών υλικών, δηλαδή των πυροηλεκτρικών υλικών. Ακόμα μία κατηγορία των θερμικών αισθητήρων είναι τα βολόμετρα, των οποίων η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Η δεύτερη κατηγορία μέτρησης των οργάνων της ηλιακής ακτινοβολίας είναι οι αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (quantum detectors), των οποίων η αρχή λειτουργίας βασίζεται είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη

αγωγιμότητας (στην περίπτωση ημιαγωγών), είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου. Οι αισθητήρες που βασίζονται στην ηλεκτρονική διέγερση είναι οι φωτοαντιστάσεις ή φωτοαγωγοί, η φωτοβολταϊκή κυψελίδα και η φωτοδίοδος ημιαγωγών. Η αρχή λειτουργίας τους είναι παρόμοια, καθώς απορροφούν φως στο ημιαγώγιμο υλικό που περιέχουν, με αποτέλεσμα αυτό να διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους.

Στους αισθητήρες που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, υπάγονται τα φωτοκύτταρα ή φωτοδιόδοι κενού, οι οποίοι αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο, τα οποία είναι ενσωματωμένα σε μια διάταξη υψηλού κενού με μικρό χρόνο απόδοσης, μικρότερο των 10 ns. Επίσης, στην ίδια κατηγορία υπάγονται οι φωτοπολλαπλασιαστές, οι οποίοι λειτουργούν ως αισθητήρες ακτινοβολίας χαμηλής εντάσεως, ενισχύοντας έως και 10^{10} το ασθενικό πρώτο ηλεκτρικό σήμα για κάθε φωτοηλεκτρόνιο.

Επιπλέον αισθητήρες είναι το φασματοφωτόμετρο ή φασματοραδιόμετρο, το οποίο είναι ένα φασματοσκόπιο που σαρώνει το φάσμα όλου το εύρος των μηκών του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσα σε 1-2 min και ο φασματογράφος, ο οποίος αναλύει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής με τη βοήθεια πρίσματος ή οπτικών φραγμάτων (διέλευσης ή ανάκλασης).



Εικόνα 2.1: Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στον πλανήτη γη, (πηγή: Switch2Solar).

Η ηλιακή ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια που ακτινοβολείται από τον ήλιο και φτάνει στη Γη, είναι υπεύθυνη για την δημιουργία και την διατήρηση κάθε μορφής ζωής, για την ανάπτυξη της χλωρίδας και για την δημιουργία των φυσικών φαινομένων. Μέσα σε μια ωρολογιακή μέρα, η ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της γης ανά m^2 , εξαρτάται από την ημέρα του χρόνου, το γεωγραφικό πλάτος, την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, στερεών και υγρών αιωρημάτων και συστατικών της ατμόσφαιρας. Η ενέργεια που φτάνει στον πλανήτη μας σε μορφή ακτινοβολίας είναι περίπου $1400 W/m^2$, όμως λόγω των στρωμάτων της ατμόσφαιρας κατά μέσο όρο φτάνουν $1000 W/m^2$.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής εκτός της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι η ηλιοφάνεια, η οποία εξαρτάται εξίσου από τη θέση, το γεωγραφικό πλάτος και τη διαμόρφωση της κάθε περιοχής. Εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος, όπου υπάρχει ηλιοφάνεια. Επιπροσθέτως, η ακτινοβολία και εν συνεχεία η ηλιοφάνεια συντελεί στην δημιουργία και αξιοποίηση διαφόρων μορφών ενέργειας, όπως η βιομάζα, η αιολική ενέργεια, η ενέργεια των κυμάτων και άλλες μορφές.

Για την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας και την μετατροπή της σε ενέργεια, έχουν εφευρεθεί διάφορα συστήματα, τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Τα ενεργά ηλιακά συστήματα αποτελούν την πρώτη κατηγορία, όπου χρησιμοποιείται θερμικό ρευστό για την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενέργεια και περιλαμβάνει τα φωτοβολταϊκά και τα θερμοσιφωνικά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Στα θερμοσιφωνικά συστήματα πραγματοποιείται θέρμανση του φέροντος ρευστού μέσα στις σωληνώσεις του συστήματος με κύριες υποκατηγορίες τους επίπεδους και παραβολικούς ηλιακούς συλλέκτες και τα ηλιακά θερμικά εργοστάσια.

Η δεύτερη κατηγορία αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τα παθητικά ηλιακά συστήματα, όπου μέσω δομικών κατασκευών μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε εσωτερική. Δομική κατασκευή παθητικού ηλιακού συστήματος είναι η θερμομόνωση κτιρίων και γενικά η κατασκευή χώρων και κτιρίων με υλικά τα οποία προάγουν την ενεργειακή κλάση.

2.2 Φωτοβολταϊκά Πάνελ

Το 1839 πραγματοποιήθηκε η πρώτη παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ηλεκτρολυτικά υγρά από τον πειραματικό Φυσικό Edmund Becquerel. Το 1954 έγινε η πρώτη παρασκευή φωτοβολταϊκής κυψελίδας κρυσταλλικού πυριτίου, με επαφή ημιαγωγών, με απόδοση 4,5%. Μερικούς μήνες αργότερα οι επιστήμονες D.M. Chapin, C.S. Fuller και G.L. Pearson την παρασκεύασαν επιτυχώς με απόδοση 6%.

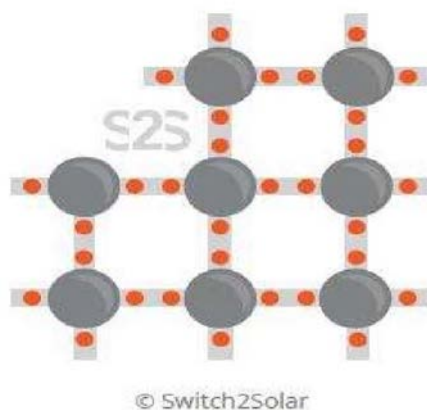
Σε ένα ηλιακό κύτταρο, όταν η ενέργεια ακτινοβολίας του ήλιου πέσει πάνω του, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φως αποτελείται από σωματίδια, τα οποία ονομάζονται φωτόνια και μπορούν να απελευθερώσουν ηλεκτρόνια από τους ομοιοπολικούς δεσμούς τους, έτσι ώστε να σχηματίσουν έναν ημιαγωγό. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή μια μεγάλη ποσότητα «ροής ηλεκτρονίων». Πιο ειδικά, όταν το φωτοβολταϊκό στοιχείο φωτίζεται, στο εσωτερικό του προκαλείται φωτορεύμα, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογο της πυκνότητας ισχύος του ηλιακού φωτός, το οποίο προσπίπτει στην επιφάνεια του.

Η συνεχής αναπτυσσόμενη ηλεκτρική τάση ανοιχτού κυκλώματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στην περιοχή 0.5-0.7 V, ενώ για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 kW/m^2 , το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα κυμαίνεται στην περιοχή $10 - 40\text{ mA/cm}^2$. Τα ηλιακά κύτταρα παράγονται σε τυποποιημένα μέτρα διαφόρων μεγεθών με το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο μέγεθος να είναι με τις διαστάσεις 166x166 mm (M6). Αποτελούνται από δύο κελιά επιστρωμένα με μεταλλικό ηλεκτρόδιο και μια επίστρωση που αποτρέπει την αντανάκλαση και επιτρέπει στο κύτταρο να απορροφήσει όσο το δυνατόν περισσότερη ακτινοβολία.

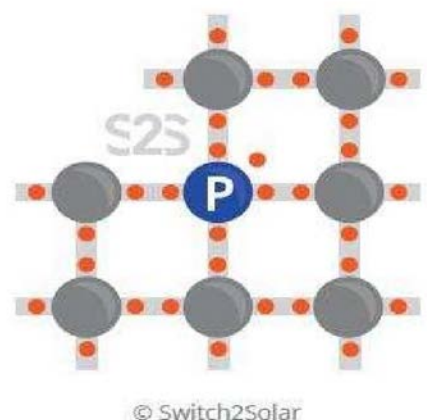
Το πιο ευρέως διαδεδομένο ημιαγωγικό υλικό από το οποίο μπορεί να φτιαχτεί ένα ηλιακό κύτταρο είναι το πυρίτιο (Si), το οποίο μετά από ειδικές διαδικασίες νόθευσης διακρίνεται σε πυρίτιο N-type και πυρίτιο P-type. Το υπόστρωμα πυριτίου πάνω στο οποίο δομείται το κύτταρο αποκαλείται wafer. Το άτομο του πυριτίου έχει στην εξωτερική του στιβάδα τέσσερα ηλεκτρόνια που σχηματίζουν μια φωτοβολταϊκή κυψελίδα κρυσταλλικού πυριτίου, με επαφή ημιαγωγών.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ καθορίζεται από την σχετικά σταθερή ακτινοβολία του ήλιου και την κατάσταση της ατμόσφαιρας. Επίσης, καθορίζεται από την απόσταση της γης από τον ήλιο, η οποία ποικίλλει ελαφρώς κατά την διάρκεια του έτους. Όταν σε ένα ζεύγος ηλεκτρονίων με ηλεκτρόνια του γειτονικά άτομα πυριτίου μαζευτούν πολλά ζεύγη ηλεκτρονίων, τότε δημιουργείται μια σταθερή κρυσταλλική δομή ή αλλιώς πλέγμα.

Το πυρίτιο N-type αποτελείται από κρυστάλλους πυριτίου οι οποίοι έχουν νοθευτεί σε μια προκαθορισμένη συγκέντρωση από ένα άτομο με πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, όπως ο φώσφορος (P) ή το αρσενικό (As). Τα άτομα αυτά αποκαλούνται δότες ηλεκτρονίων, μετατρέποντας τα ηλεκτρόνια με το αρνητικό τους φορτίο σε «φορείς πλειονότητας» εντός του κρυστάλλου.

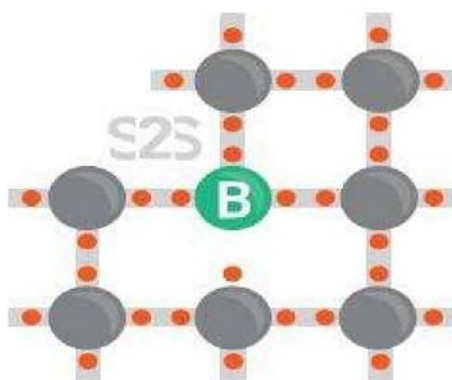


Εικόνα 2.2: Σχηματική απεικόνιση της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου (Silicon), (πηγή: Switch2Solar).



Εικόνα 2.3: Σχηματική απεικόνιση της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου με το φώσφορο (N-type), (πηγή: Switch2Solar).

Αντίστοιχα, το πυρίτιο P-type αποτελείται από κρυστάλλους πυριτίου οι οποίοι έχουν νοθευτεί από ένα άτομο με τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα, κατά κύριο λόγο με το βόριο (B) ή γάλιο (Ga). Τα άτομα αυτά αποκαλούνται δέκτες ηλεκτρονίων και μετατρέπουν τα ηλεκτρόνια σε «φορείς μειονότητας». Ως φορείς πλειονότητας στην περίπτωση αυτή λογίζονται οι «οπές», οι οποίες ισοδυναμούν με κενές θέσεις στους ομοιοπολικούς δεσμούς εντός του κρυστάλλου και το φαινομενικό τους φορτίο είναι θετικό.

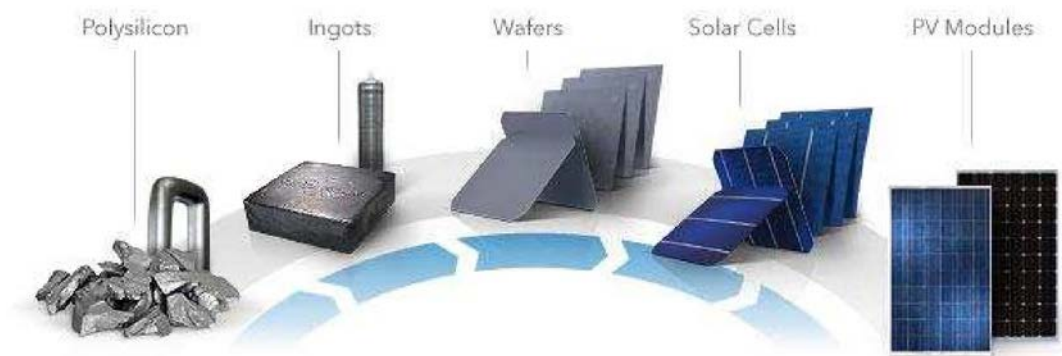


© Switch2Solar

Εικόνα 2.4: Σχηματική απεικόνιση της κρυσταλλικής δομής του πυριτίου με το βόριο (P-type), (πηγή: Switch2Solar).

Κρύσταλλοι N-type και P-type συνδυάζονται στο ίδιο wafer δημιουργώντας μια ένωση P-N (P-N junction). Μεταξύ των δύο μερών της ένωσης δημιουργείται η «ζώνη απογύμνωσης» στην οποία ηλεκτρόνια και οπές συνδυάζονται με πολύ ταχείς ρυθμούς. Έτσι δημιουργείται ένα φράγμα δυναμικού, καθώς σε ένα ορισμένο μήκος η ένωση φαίνεται να στερείται φορέων πλειονότητας. Με την πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας ωστόσο, φωτόνια με την κατάλληλη ενέργεια απορροφώνται από ηλεκτρόνια και τα διεγείρουν αρκετά ώστε να διαφύγουν από το άτομο που τα δεσμεύει.

Αν στα άκρα της ένωσης εφαρμοστεί τάση, το ηλεκτρικό πεδίο προσδίδει στα ελεύθερα ηλεκτρόνια αρκετή ενέργεια ώστε να διασχίσουν το φράγμα δυναμικού. Συνεπώς, η ροή ηλεκτρονίων και η φαινόμενη ροή οπών προς την αντίθετη κατεύθυνση αποτελούν ροή φορτίων, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 2.5: Στάδια δημιουργίας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, (πηγή: State of Green).

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5 η κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ χωρίζεται σε στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά την παραγωγή ενός ημιαγωγού μεγάλης καθαρότητας, συνηθέστερα του πολυπυριτίου, την εισαγωγή διαφόρων προσμίξεων τύπου P και N και την ένωση αυτών. Υπάρχουν πολλοί μέθοδοι παραγωγής ημιαγωγού, με πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη τη μέθοδο αναπτύξεως μονοκρυστάλλου (Czochralski, CZ). Κατά αυτή την μέθοδο ένα κρυσταλλικό υλικό χρησιμοποιείται ως φύτρο κρυστάλλωσης, ενώ ταυτόχρονα έρχεται σε επαφή με μια επιφάνεια τήγματος και εν συνεχεία ανασύρεται περιστρεφόμενο με ελάχιστη ταχύτητα μερικών mm ανά λεπτό (min).

Το αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη μιας ράβδου πολυπυριτίου (ingot) μήκους περίπου 1 μέτρου και διαμέτρου περίπου 6 in. Έπειτα η ράβδος κόβεται σε λεπτές φέτες (wafers), συνήθως 300 μm με τη βοήθεια πριονιών σύρματος επικαλυμμένα με διαμάντια. Από τη συγκεκριμένη διαδικασία μένουν κατάλοιπα, τα οποία ονομάζονται kerf. Οι πολύ λεπτές γκοφρέτες έρχονται σε επαφή με μια χημική ουσία, ώστε να αφαιρεθούν τα kerfs και να αυξηθεί η επιφάνεια τους για την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μέθοδος της επιπλέουσας ζώνης (Float Zone method, FZ) εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο της μεθόδου Czochralski, αλλά με αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή η αργή κίνηση του πολυκρυσταλλικού πυριτίου (p-Si) πραγματοποιείται από πάνω προς τα κάτω, χωρίς δοχείο τήξεως (crucible). Η υπόλοιπη διαδικασία της δημιουργίας ράβδου και των wafers παραμένει ίδια. Συγκρίνοντας τις δύο παρόμοιες μεθόδους, η μέθοδος Czochralski θεωρείται οικονομικότερη και δίνει κυλίνδρους μεγαλύτερης διαμέτρου.

Η μέθοδος κράματος (Alloying technique) αναφέρεται στην τοποθεσία μιας ποσότητας x μιας ουσίας πάνω στην επιφάνεια ενός λεπτού πλακιδίου ημιαγωγού τύπου n . Η ουσία x θερμαίνεται μέχρι να λιώσει και να προσκολληθεί πάνω στον ημιαγωγό. Το απομένον τμήμα της ουσίας σχηματίζει μεταλλική επαφή. Το μειονέκτημα της είναι ο ανακριβής καθορισμός των διαφόρων στρωμάτων, ακόμα και με πολλαπλές επαναλήψεις. Στην τεχνική της διάχυσης (Diffusion technique) η επαφή P-N δημιουργείται με την συγκόλληση της πρόσμιξης ενός ημιαγωγού ορισμένου τύπου με το υπόστρωμα, μέσα σε ένα θάλαμο με ατμούς υψηλής θερμοκρασίας.

Μία ακόμη τεχνική δημιουργίας της ένωσης P-N (P-N junction) είναι αυτή της εμφύτευσης ιόντων (Ion Implantation technique). Επιλέγονται άτομα συγκεκριμένου τύπου πρόσμιξης (π.χ. τύπου n), τα οποία αφού ιονιστούν τοποθετούνται σε επιταχυντή ηλεκτρικού πεδίου υψηλής τάσης (50 - 100 kV) και στη συνέχεια εμφυτεύονται σε ένα υπόστρωμα ημιαγωγού άλλου τύπου πρόσμιξης (π.χ. τύπου p). Το πυρίτιο (Si) βρίσκεται στην φύση μέσα στην άμμο με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO_2) και έπειτα από την διαδικασία διαχωρισμού και καθαρισμού, λαμβάνεται με υψηλή καθαρότητα έως και 9 N (99,9999999%).

Η παραγωγή κρυσταλλικού πυριτίου είναι μία αρκετά ενεργοβόρα και χρονοβόρα διαδικασία, κατά την οποία πραγματοποιείται η μεταλλουργική τήξη του για εκατοντάδες ώρες συνεχόμενα, κάτω από πολύ υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 1700 °C). Όσον αφορά τη χρήση του για κατασκευή φωτοβολταϊκών κυττάρων διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (Single - crystal Silicon) είναι υλικό με σκούρο μπλε χρώμα, πάχος περίπου 300 μm και απόδοση από 13% έως 18%. Χαρακτηρίζεται από υψηλό κατασκευαστικό κόστος.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc - Si) έχουν γαλάζιο χρώμα, πάχος 10 έως 50 μm και το κόστος κατασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το μονο - κρυσταλλικό υλικό. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 17% έως 20%. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας (Ribbon Silicon) αφορούν μια λεπτή ταινία κατασκευασμένη από τηγμένο υλικό και απόδοση περίπου 13%. Βρίσκονται κυρίως σε ερευνητικό στάδιο με περιορισμένη βιομηχανική

παραγωγή και υψηλό κόστος. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon) χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων με διαδοχικά στρώματα και σταθερή απόδοση περίπου 13%. Χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος.

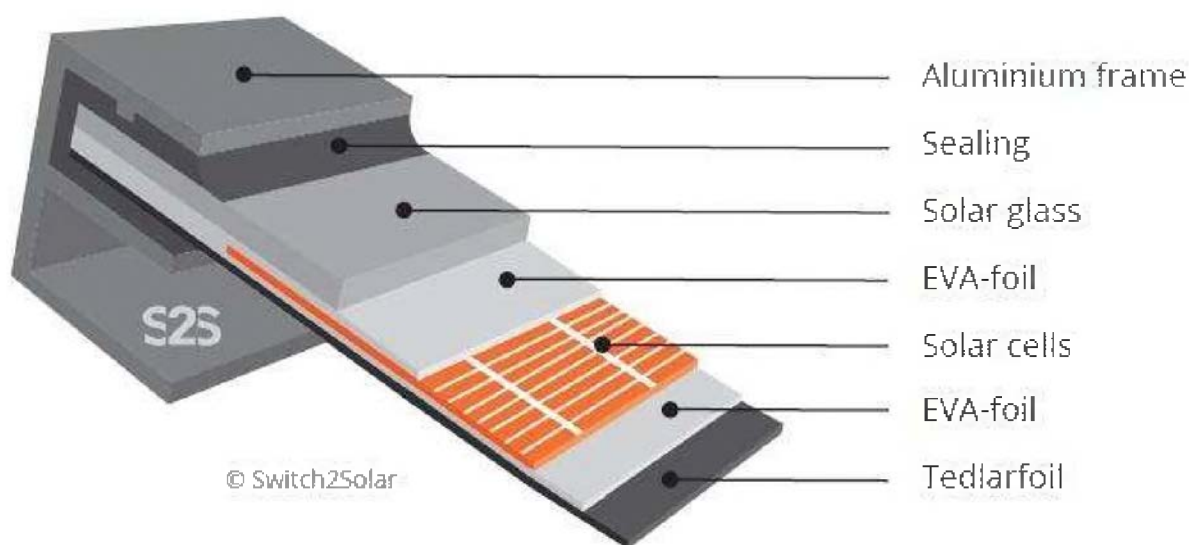
Ωστόσο πέραν του πυριτίου και άλλων ημιαγώγιμων υλικών ή συνδυασμού αυτών, από τα οποία φτιάχνονται τα ηλιακά κύτταρα 1ης γενιάς, τα τελευταία χρόνια εναλλακτικά υλικά - τα οποία δομούν τα κύτταρα 2ης και 3ης γενιάς - έχουν κερδίσει δημοφιλία. Αυτά παρουσιάζονται πιο αναλυτικά στο Κεφ. 4.1.

Τα ηλιακά κύτταρα ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν το ηλιακό ή φωτοβολταϊκό πάνελ. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα φωτοβολταϊκά πάνελ αποτελούνται από αρκετά στρώματα με διάφορα υλικά και κατασκευάζονται με την τεχνική γυαλιού - φύλλου - πολυστρωματικού υλικού. Το ανώτερο στρώμα είναι διαφανές γυαλί, σκληρό, άχρωμο και χαμηλό σε σίδηρο. Έχει δείκτη διάθλασης γύρω στα 600 nm μήκους κύματος, πλησιάζοντας το μέγιστο μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας (480 nm). Η πίσω πλευρά αποτελείται από το υλικό Tedlar, το οποίο είναι φύλλο από πολυβινυλοφθοριούχο (PVF), ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την ενθυλάκωση και στις δύο πλευρές του ηλιακού κυττάρου είναι το αιθυλένιο - βινυλο - οξικό (EVA). Το πάνελ δημιουργείται με τη διαδικασία συναρμολόγησης, όπου στη μπροστινή μεριά των χάλκινων κορδελών συγκολλούνται ασημένιες ράβδοι, ενώ στην πίσω πλευρά συγκολλείται ένα παρακείμενο κελί. Ενδιάμεσα προστίθενται όλα τα απαραίτητα υλικά κατασκευής του ηλιακού πάνελ σε στρώματα. Το πλέγμα που δημιουργείται έχει σχήμα αραιής σχάρας.

Αυτή η διαδικασία συμβαίνει μέσα σε έναν φούρνο με πολύ υψηλή θερμοκρασία, αποτελούμενο από ένα πλαίσιο αργιλίου (μια στεγανωτική ουσία άκρων), ώστε να επιτυγχάνεται η στεγανότητα του από την υγρασία. Στον φούρνο υπάρχει ένα κιβώτιο συνδέσεων, στο οποίο οι χάλκινες κορδέλες συνδέονται με διόδους ώστε να αποτραπεί οποιαδήποτε προς τα πίσω ροή της ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, υπάρχει το κουτί διακλάδωσης, όπου τα ηλεκτρικά καλώδια είναι

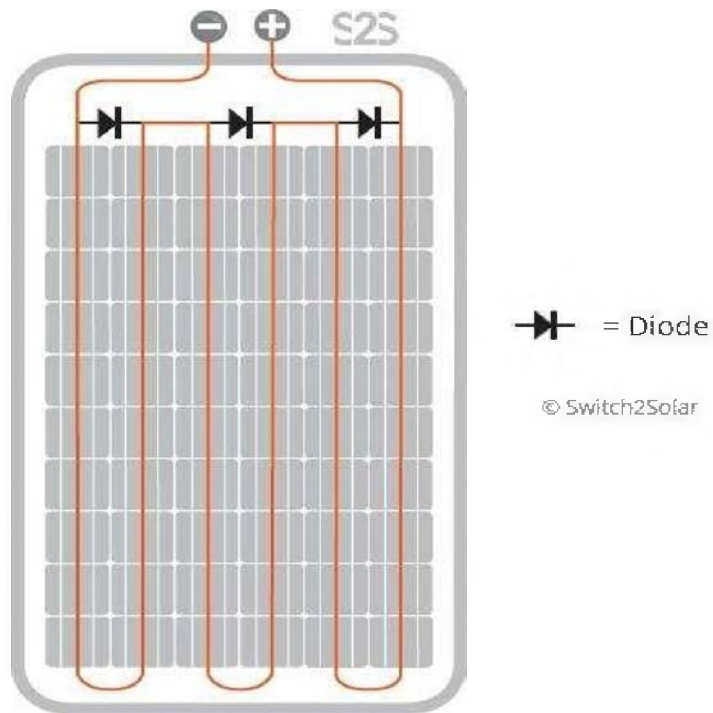
ο μεσολαβητής μεταφοράς του παραγόμενου ρεύματος, από την μονάδα στα ηλεκτρονικά ισχύος του συστήματος ή σε μια γειτονική μονάδα.



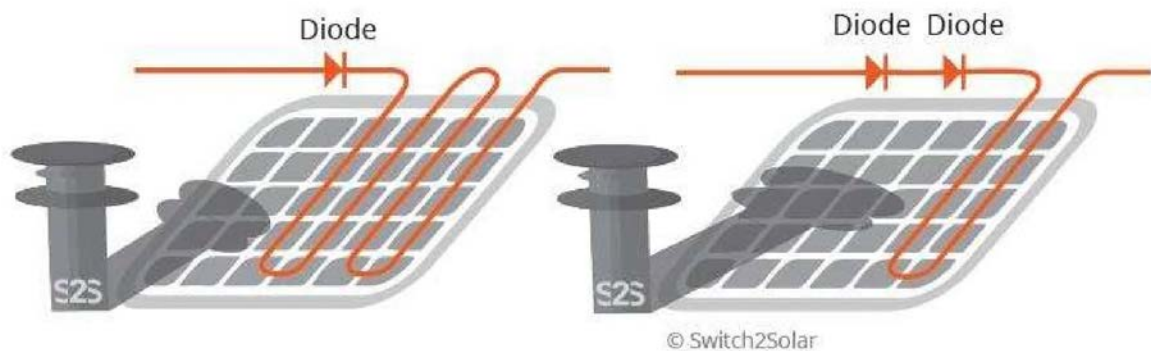
Εικόνα 2.6: Τομή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, (πηγή: Switch2Solar).

Κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ είναι ένα κύκλωμα σειράς κυψελών όπου η μπροστινή πλευρά ενός κελιού (συνήθως η θετική, +) συνδέεται στο επόμενο κελί (συνήθως η αρνητική, -) ή στην πίσω πλευρά. Επιπλέον, σε αυτό περιλαμβάνονται δίοδοι παράκαμψης, οι οποίες λειτουργούν σαν τις βαλβίδες εκτόνωσης και προστατεύουν τα ηλιακά κύτταρα από την υπερθέρμανση που προκαλεί το φαινόμενο της σκίασης (shading) ενός μέρους του πάνελ. Όταν ένα μέρος του ηλιακού πάνελ καλυφθεί με σκιά, μια δυσλειτουργική κυψέλη θα μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα δρώντας ως αντίσταση με αποτέλεσμα να υπάρξουν απώλειες ενέργειας. Σε αυτή τη περίπτωση παρεμβαίνουν οι δίοδοι παράκαμψης, προσφέροντας στο ρεύμα έναν δρόμο χαμηλότερης αντίστασης ώστε να παρακάμψει την δυσλειτουργική κυψέλη.

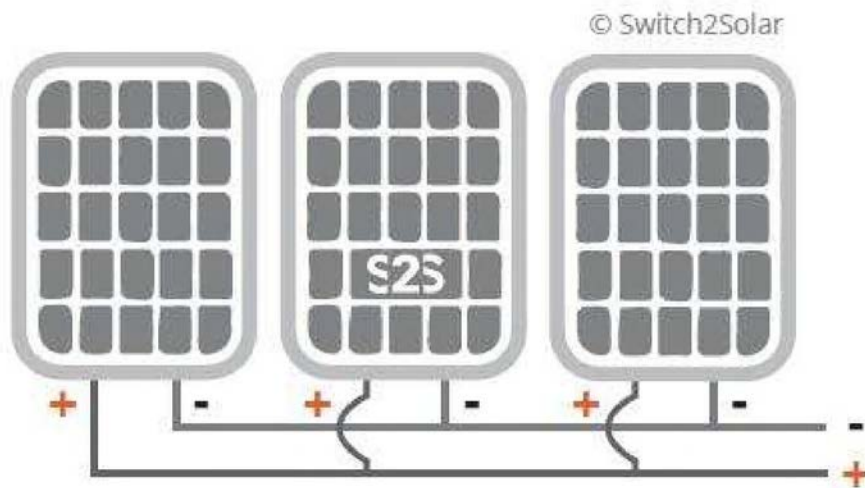
Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τα ηλιακά πάνελ συνδέονται μεταξύ τους είτε σε σειρά, είτε παράλληλα όπως φαίνεται στις εικόνες 2.9 – 2.10.



Εικόνα 2.7: Δίοδοι σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, (πηγή: Switch2Solar).

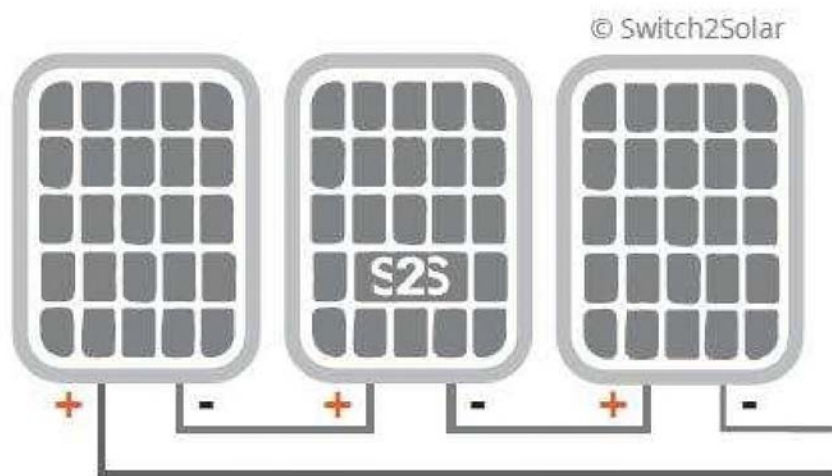


Εικόνα 2.8: Παράδειγμα δίοδων παράκαμψης. Όταν το αντικείμενο καλύπτει μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου το ρεύμα κινείται μέσω της διόδου παρακάμπτοντας τα σκιασμένα ηλιακά κύτταρα, (πηγή: Switch2Solar).



Εικόνα 2.9: Φωτοβολταϊκά πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά, (πηγή: Switch2Solar).

Στο κύκλωμα σε σειρά τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους εναλλάξ, δηλαδή το αρνητικό ηλεκτρόδιο του ενός πάνελ συνδέεται με το θετικό ηλεκτρόδιο του επόμενου πάνελ και ούτω καθεξής. Το ρεύμα που ρέει μέσω του κυκλώματος σειράς είναι ίσο με το ρεύμα που ρέει μέσω του ενός πάνελ. Η τάση μετριέται αθροίζοντας την τάση όλων των πάνελ που συνδέονται σε σειρά.



Εικόνα 2.10: Φωτοβολταϊκά πάνελ συνδεδεμένα παράλληλα, (πηγή: Switch2Solar).

Στο παράλληλο κύκλωμα τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα, δηλαδή το θετικό καλώδιο του ενός πάνελ συνδέεται με το θετικό καλώδιο του επόμενου πάνελ και το αρνητικό καλώδιο του ενός πάνελ συνδέεται με το αρνητικό καλώδιο του επόμενου πάνελ. Το ρεύμα που ρέει μέσω του κυκλώματος είναι ίσο με

το άθροισμα των ρευμάτων που ρέει μέσω των μεμονωμένων πάνελ. Η τάση είναι ίση με την τάση του ενός πάνελ.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ κατά την κατασκευή τους τίθενται υπό δοκιμή κάτω από τυποποιημένες συνθήκες κατά STC (Standard Test Conditions: norm IEC 60904). Κατά τη διάρκεια των δοκιμών αυτών η θερμοκρασία των ηλιακών κυττάρων είναι 25 °C (θερμοκρασία περιβάλλοντος), η ακτινοβολία είναι 1000 W/m² και το φάσμα φωτός είναι AM 1.5. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι το προϊόν της επιφάνειας επιτροπής, ακτινοβολίας και STC-απόδοσης. Μετριέται σε ισχύ (W_p : Watt-peak power), δηλαδή είναι η μέγιστη δύναμη. Ορίζουμε σε STC συνθήκες ως P_{STC} την ηλεκτρική ισχύ που παράγεται από το Φ/Β πλαίσιο, η την απόδοση του πλαισίου, $I_{STC} = 1000 W/m^2$ την τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας και A την επιφάνεια του πλαισίου. Τότε, ισχύει ο εξής μαθηματικός τύπος που δίνει την ισχύ του πλαισίου σε W_p :

$$P_{STC} = \eta \cdot I_{STC} \cdot A$$

Στην πράξη, η ηλιακή ενέργεια που αιχμαλωτίζουν τα ηλιακά πάνελ και κατά συνέπεια η ενεργειακή απόδοση ενός φωτοβολταϊκού έργου υπολογίζεται με διάφορα προγράμματα υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα περισσότερα υπάρχουν στο διαδίκτυο με δωρεάν πρόσβαση και είναι αρκετά απλά και εύκολα στη χρήση τους. Τα δεδομένα τους συλλέγονται από επίγειες μετρήσεις ή μετρήσεις μέσω δορυφόρων και τα αποτελέσματα βγαίνουν σε διάφορες μορφές (π.χ. PDF, tmy, csv, dat κτλ.).

Αξιόπιστα, δωρεάν υπολογιστικά προγράμματα στο διαδίκτυο είναι τα εξής:

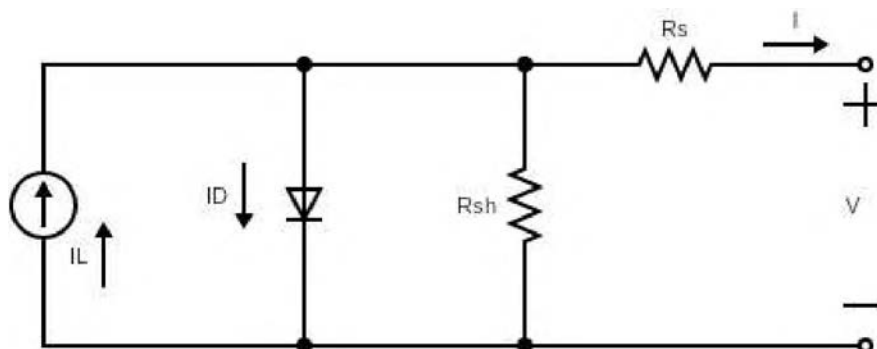
- Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)
- Climate.OneBuilding.Org
- Climate Data Download Center (EQUA)
- National Solar Radiation Database (NSRDB), NREL, USA
- National Center for Environmental Information (NCEI), USA

Αντίστοιχα, αξιόπιστα υπολογιστικά προγράμματα στο διαδίκτυο με συνδρομή είναι τα εξής:

- SOLCAST (DNV Company)
- Meteonorm.com

- White Box Technologies - Weather Data for Energy Calculations
- Weather Source
- SoDa Pro (Solar radiation Data)
- ASHRAE

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός Φ/Β κυττάρου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από μια ιδανική πηγή ρεύματος που συνδέεται παράλληλα με μια δίοδο και μια αντίσταση (R_{sh}), ενώ σε σειρά στην έξοδο του κυκλώματος βρίσκεται μια αντίσταση R_s .



Εικόνα 2.11: Ισοδύναμο κύκλωμα ηλιακού κυττάρου.

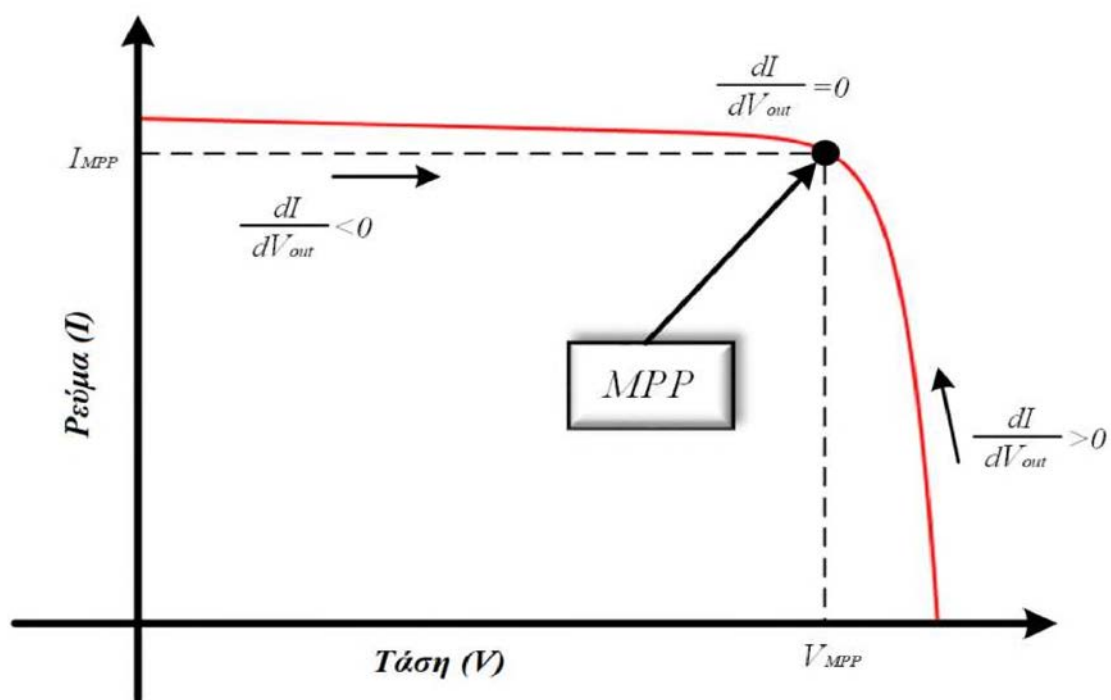
Αγνοώντας τις ηλεκτρικές απώλειες, το ρεύμα εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_L - I_0 \cdot (e^{qV/nkT} - 1),$$

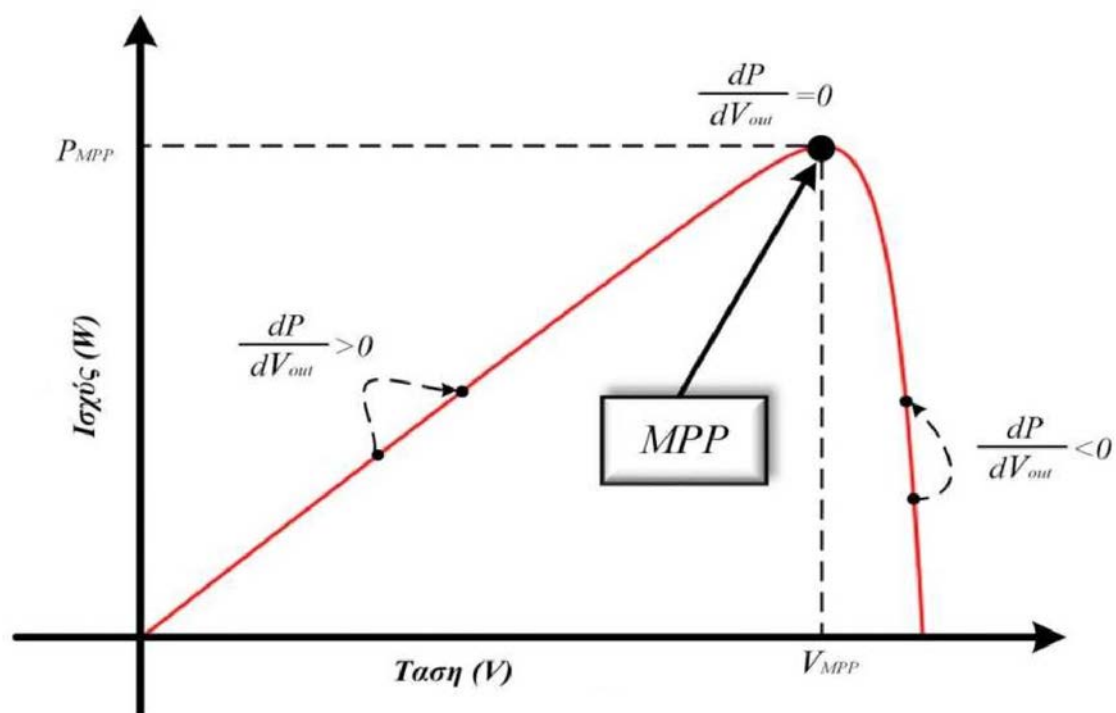
όπου

- I_0 : το ρεύμα κορεσμού της διόδου
- q : το στοιχειώδες φορτίο του ηλεκτρονίου
- k : η σταθερά Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)
- n : ο συντελεστής ποιότητας της διόδου
- T : η θερμοκρασία του ηλιακού κυττάρου σε K

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος-τάσης (I-V) και ισχύος-τάσης για το ηλιακό κύτταρο, απεικονίζονται στις εικόνες 2.12 - 2.13.



Εικόνα 2.12: Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος τάσης (I-V) ηλιακού κυττάρου.



Εικόνα 2.13: Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος τάσης (I-V) ηλιακού κυττάρου.

2.3 Φωτοβολταϊκά Πάρκα

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνδέονται μεταξύ τους είτε σε σειρά, είτε παράλληλα, όπως αναφέρθηκε στη προηγούμενη ενότητα, με αποτέλεσμα τη σύνθεση μεγάλων συστημάτων που ονομάζονται συστοιχίες. Οι συστοιχίες αυτές όταν συνδεθούν μεταξύ τους σε μεγάλες ή μικρότερες ποσότητες, ενώ παράλληλα συνδεθούν με κάποιες ηλεκτρονικές συσκευές (μετατροπείς, υποσταθμός) αποτελούν το φωτοβολταϊκό σύστημα. Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Κατατάσσεται στην κατηγορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς έχει μηδενική εκπομπή ρύπων κατά τη λειτουργία του.

Το συγκεκριμένο σύστημα έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως η μεγάλη διάρκεια ζωής, στα 20 έτη και παραπάνω, έχει αθόρυβη λειτουργία και ελάχιστο κόστος συντήρησης. Επίσης, έχει άμεση παραγωγή ενέργειας και μικρό χρόνο απόσβεσης του κόστους κατασκευής του. Στα αρνητικά του είναι ότι σε αρκετές περιπτώσεις η εγκατάσταση τους γίνεται πάνω σε γόνιμη γη, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή καλλιεργειών, ενώ μέχρι και σήμερα δεν έχουν βρεθεί τρόποι ανακύκλωσης όλων των μερών του συστήματος.

Τα Φ/Β συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν συνδέονται στο δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή είναι αυτόνομα. Η πρώτη κατηγορία είναι τα Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid connected) και η δεύτερη κατηγορία είναι τα απομονωμένα (Stand-alone) ή εκτός δικτύου (Off Grid).

Τα Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο (Grid connected) είναι τα συστήματα τα οποία είναι συνδεδεμένα απευθείας στο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καταλήγει σε αυτό. Αποτελούν την πλειοψηφία των εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων παγκοσμίως. Διακρίνονται στα κατανεμημένα συστήματα (Distributed), όπου το παραγόμενο ρεύμα μεταφέρεται στο τοπικό δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ και στα συστήματα των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται σε κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος και στη συνέχεια στο δίκτυο υψηλής τάσης του ΑΔΜΗΕ (Centralized systems).

Η διοχέτευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα προς το δίκτυο χαρακτηρίζεται ως άμεση χρήση της ενέργειας, ενώ στις μέρες μας γίνεται όλο πιο συχνή η χρήση συσσωρευτών όπου η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύεται σε αυτούς όταν υπάρχει περίσσεια. Η συγκεκριμένη τακτική χαρακτηρίζεται ως έμμεση χρήση της ενέργειας.

Κάθε φωτοβολταϊκό πάρκο αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελούμενο από τα φωτοβολταϊκά πάνελ
- Σύστημα στήριξης φωτοβολταϊκών πάνελ
- Ηλεκτρονικές συσκευές και υλικά (μετατροπείς ισχύος (inverters), τηλεμετρία, καλώδια, γείωση, υποσταθμός, κάμερες, αντικεραυνικό σύστημα)
- Ηλεκτρικός συσσωρευτής (μπαταρία), εάν το χρειάζεται και το υποστηρίζει το σύστημα

Φωτοβολταϊκά και Συστήματα Στήριξης:

Η διάταξη των φωτοβολταϊκών πάνελ καθορίζεται σε ένα σύστημα ανάλογα με τον χώρο τοποθέτησης, την ηλιοφάνεια και τις καιρικές συνθήκες. Η διάταξη που είναι δυνατόν να τοποθετηθεί είναι είτε σε οριζόντια διάταξη (landscape) ή σε κάθετη (portrait). Στην οριζόντια διάταξη, η οποία είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη παγκοσμίως, τοποθετούνται τα ηλιακά πάνελ που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο με σταθερή κλίση. Μία τέτοια διάταξη φαίνεται στην εικόνα 2.14.



Εικόνα 2.14: Φωτοβολταϊκό πάρκο με οριζόντια διάταξη (landscape) στην Εύβοια.

Στην κάθετη διάταξη (portrait) τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τα οποία όταν συνδεθούν μεταξύ τους αποτελούν τον τράκερ (tracker). Η λειτουργία και η σύνδεση τους είναι όμοια με αυτή της οριζόντιας διάταξης, όμως η κλίση τους δεν είναι σταθερή. Αλλάζει ακολουθώντας τις ακτίνες του ηλίου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν συνεχώς πάνω στην επιφάνεια του πάνελ. Δεν χρησιμοποιούνται συχνά, διότι δεν έχουν αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλες απώλειες ρεύματος και επιβαρυμένο κόστος συντήρησης. Η κάθετη διάταξη παρουσιάζεται στην εικόνα 2.15.



Εικόνα 2.15: Φωτοβολταϊκό πάρκο με κάθετη διάταξη (portrait) στην Εύβοια.

Το σύστημα στήριξης είναι ικανό να δεχτεί κάθε τύπο συλλέκτη και παράγεται καθετοποιημένο στη μονάδα του εργοστασίου από την πρώτη ύλη μέχρι την εγκατάστασή του. Παρέχεται ανοδίωση υψηλών προδιαγραφών για τα συστήματα φωτοβολταϊκών που απέχουν λιγότερο από 3 χλμ. από την θάλασσα, ενώ όλα τα υλικά είναι είτε ανοξειδωτά είτε γαλβανισμένα εν θερμώ ή αλουμινίου.

Μετατροπείς Ισχύος (Inverters):

Οι μετατροπείς ισχύος, είναι συσκευές που στην είσοδό τους δέχονται συνεχές ρεύμα (DC) και το μετατρέπουν στην έξοδό τους σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η χρήση τους καθίσταται απαραίτητη για την λειτουργία μη συμβατικών πηγών ενέργειας και τα Φ/Β δεν αποτελούν εξαίρεση. Τα ηλιακά πάνελ και κατά συνέπεια ο συνδυασμός τους σε αλυσίδες, παράγει συνεχές ρεύμα. Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας από την άλλη ως γνωστόν λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής συχνότητας, η οποία στην Ελλάδα είναι ρυθμισμένη στα 50 Hz. Η έξοδος του μετατροπέα επομένως επιτρέπει την ομαλή διασύνδεση των αλυσίδων του Φ/Β πάρκου με το δίκτυο, μέσω των μετασχηματιστών μέσης τάσης που περιέχουν οι υποσταθμοί του πάρκου.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η πρόοδος στον τομέα της ηλεκτρονικής και η εισαγωγή έξυπνου λογισμικού στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ισχύος που αποτελούν τον μετατροπέα, έχουν οδηγήσει στην ενσωμάτωση πολλών ακόμα δευτερευόντων μεν, σημαντικών δε δυνατοτήτων στους μετατροπείς. Μεταξύ αυτών μπορούμε να αναφέρουμε τις λειτουργίες υποστήριξης του δικτύου με ενεργό ή άεργο ισχύ ανάλογα τις εκάστοτε ανάγκες και την λειτουργία αποφυγής νησιδοποίησης. Η τελευταία αποτρέπει την τροφοδοσία κομματιών του δικτύου με ηλεκτρική ισχύ, σε περίπτωση που συμβεί γενικευμένο blackout, και επιστρατεύεται για λόγους ασφαλείας.

Παράλληλα διαθέτουν διατάξεις προστασίας και υποσυστήματα για την αντιμετώπιση διαφόρων ηλεκτρικών σφαλμάτων απλοποιώντας τεχνοοικονομικά την κατασκευή ενός Φ/Β σταθμού. Ο επιπρόσθετος εξοπλισμός μια ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, όπως πίνακες και μέσα προστασίας ελαχιστοποιείται, και κατ' επέκταση μειώνεται ο απαιτούμενος χώρος και χρόνος της εγκατάστασης. Οι μετατροπείς διαθέτουν εσωτερικό σύστημα προστασίας από υπερφορτίσεις και σφάλματα συντελώντας στην κατασκευή μιας πλήρως ασφαλούς ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Σε ότι αφορά την παραγωγή ισχύος όμως, η πιο σημαντική λειτουργία που έχει εισαχθεί στους μετατροπείς, μπορούμε να πούμε πως είναι η «εύρεση του σημείου μέγιστης απομάστευσης ισχύος» ή «maximum power point tracking» (MPPT). Πρόκειται για έναν αλγόριθμο που ενσωματώνεται στο λογισμικό των μετατροπέων και με την βοήθεια ενός ελεγκτή που λαμβάνει μετρήσεις από το ρεύμα και την τάση των αλυσίδων, ρυθμίζει τα μεγέθη αυτά στις βέλτιστες τιμές. Οι τιμές αυτές που συμβολίζονται ως ρεύμα I_{MPP} και τάση V_{MPP} οδηγούν στη παραγωγή της μέγιστης δυνατής ισχύος ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία κ.λπ.), όπως φαίνεται από τις εικόνες 2.12-2.13. Για τους παραπάνω λόγους, οι είσοδοι DC των μετατροπέων ομαδοποιούνται σε παράλληλα συνδεδεμένες υποδοχές, οι οποίες ονομάζονται είσοδοι MPPT.

Πέραν όλων των παραπάνω οι μετατροπείς διαθέτουν ένα πλήθος αισθητήρων και υποδομές ώστε να αποτελούν κομμάτι του συστήματος τηλεμετρίας του έργου. Με τον τρόπο αυτό, συντελούν στην πλήρη ψηφιακή και

αυτοματοποιημένη λειτουργία & συντήρηση (O&M), για την κατασκευή έξυπνων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, βοηθώντας τους πελάτες να μεγιστοποιήσουν την απόδοση της επένδυσής τους στο πλαίσιο του κύκλου ζωής του σταθμού παραγωγής ενέργειας. Το σύστημα τηλεμετρίας λειτουργεί ως υποστηρικτική συσκευή των μετατροπέων επιτρέποντας την επιτήρηση όλης της εγκατάστασης από οποιοδήποτε σημείο μέσω ειδικής εφαρμογής. Ελέγχεται και καταγράφεται μία σειρά παραμέτρων όπως η τάση και το ρεύμα στην DC και AC πλευρά καθώς και η αντίστοιχη ισχύς.

Καταγράφεται η ημερήσια και η συνολικά παραχθείσα ενέργεια μέσω του λογισμικού και είναι εφικτή η τηλεμετρία του συστήματος και η ημερήσια πληροφόρηση των λειτουργικών παραμέτρων και της απόδοσής του. Οι πληροφορίες που αποκτά ο χρήστης είναι η συλλογή διαφόρων λειτουργικών δεδομένων της εγκατάστασης μέσω ενός εύχρηστου και εύληπτου γραφικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα τηλεμετρίας περιέχει dashboard ροών ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και ανάλυση καλής λειτουργίας σε επίπεδο φωτοβολταϊκού πάνελ. Ακόμα, συμβάλλει στον προληπτικό έλεγχο και στην έγκαιρη ανίχνευση των σφαλμάτων, προς αποφυγή «χάσιμου» της παραγόμενης ισχύος παρέχοντας αναλυτική έκθεση της παραγόμενης ισχύος (kW) σε ημερήσια και ωριαία βάση.

Σε ότι αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετατροπέων, πέραν των εισόδων MPPT και τις αντοχές τους σε ηλεκτρολογικά μεγέθη, αυτοί διαθέτουν διακόπτη για τη θέση σε και εκτός λειτουργίας. Για την επικοινωνία τους με άλλες συσκευές του συστήματος τηλεμετρίας, διαχείρισης δεδομένων και ελέγχου (Smart Logger), οι πιθανές λύσεις είναι συνδέσεις RS485, USB, WLAN/FE, 4G. Επιπλέον, διαθέτουν τεχνολογία φυσικής ψύξης Smart Air Cooling, βαθμό προστασίας IP66, απαγωγείς υπερτάσεων Τύπου II για DC και AC, ενώ χαρακτηρίζονται από μέγιστη απόδοση που μπορεί να φτάσει έως και 99,0%.

Σύνδεση με το AC Δίκτυο Μέσης Τάσης:

Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με τον μετατροπέα γίνεται με καλώδιο DC, προδιαγραφών για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (solar cable, H1Z2Z2-K). Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι μονοπολικά διπλής μόνωσης, χαμηλής εκπομπής καπνού, ελεύθερο αλογόνων και

συμμορφώνονται με το νέο πρότυπο EN 50618 για τη σύνδεση Φ/Β πλαισίων μεταξύ τους. Επίσης το καλώδιο είναι για εξωτερική χρήση και ενδείκνυται για απευθείας έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία και σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Η εσωτερική τους μόνωση είναι XLPE, μόνωση που επιτρέπει υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας έως και +90 °C. Η ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι οι -40ο και η ονομαστική τάση λειτουργίας τους 1500 VDC. Η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργίας που μπορούν να φτάσουν είναι τα 1800 VDC.

Για την σύνδεση των μετατροπέων με το πεδίο Χαμηλής Τάσης χρησιμοποιούνται καλώδια αλουμινίου προδιαγραφών NA2XY. Αποτελούνται από διπλή μόνωση PVC/ XLPE και προδιαγράφονται για αντοχή τόσο σε υγρά όσο και σε ξηρά περιβάλλοντα. Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι +70 °C/ +90 °C (XLPE), η ονομαστική λειτουργία 600 V AC και η μέγιστη 1000 V AC. Τα καλώδια AC εξόδου των μετατροπέων οδηγούνται στο τμήμα της χαμηλής τάσης του Υποσταθμού της εγκατάστασης όπου ασφαλίζονται είτε με αυτόματους διακόπτες ισχύος (CB) είτε με ασφάλειες τήξεως τύπου NH. Ο πίνακας, τα μέσα προστασίας και η επιλογή αυτών υπόκειται στο πρότυπο ΕΛΟΤ HD 60384 για τις απαιτήσεις των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Η όδευση των καλωδίων Μέσης Τάσης και Χαμηλής Τάσης εντός της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού πάρκου θα πραγματοποιηθεί τηρώντας τα ελάχιστα βάθη και Standards όπως αναφέρονται στις τυποποιημένες κατασκευές του ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) & τον ΚΕΣΥΓΗΕ (Κανονισμός Εξωτερικών Σταθμών Υποσταθμών & Γραμμών Ηλεκτρικής Ενέργειας). Η προτεινόμενη μέθοδος είναι η ταχεία ταφή (72-D2), ενταφιασμός του καλωδίου εντός του εδάφους.

Ο υπαίθριος υποσταθμός τύπου κιόσκι ή αλλιώς οικίσκος είναι ένας μετασχηματιστής ισχύος (Μ/Σ), ονομαστικής ισχύος 500 kVA με τυλίγματα αλουμινίου και περιέχει όλα τα απαραίτητα μέσα προστασίας. Τα πεδία Μέσης Τάσης (MT) χωρίζονται σε τρία μέρη, Υπόκεινται σε όλες τις τάσεις αντοχής και τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως που επιβάλλει το Ευρωπαϊκό πρότυπο και απορρέουν από τα χαρακτηριστικά του Ελληνικού ηλεκτρικού δικτύου. Ομοίως τα πεδία στη Χαμηλή Τάση (XT) υπόκεινται σε όλους του κανόνες που διέπουν τα Ευρωπαϊκά και

Εθνικά πρότυπα. Όλα τα βοηθητικά κυκλώματα για εσωτερική χρήση ασφαλίζονται με ρελέ διαρροής για την προστασία του τεχνικού προσωπικού.

Ο σκελετός του είναι συνήθως κατασκευασμένος από μεταλλικούς κοιλοδοκούς αντισκωριακής βαφής. Η μεταλλική βάση του οικίσκου είναι μελετημένη έτσι ώστε να παραλαμβάνει με ασφάλεια τα φορτία του εξοπλισμού. Η οροφή διαθέτει κλίση για την απαγωγή των νερών καθώς και υδρορροές. Το δάπεδο του είναι από αντλιοσθητική γαλβανιζέ εν θερμώ λαμαρίνα (κριθαράκι) πάχους 3 χιλ. Ο υπαίθριος υποσταθμός ενδεικτικών διαστάσεων (M X Π X Υ mm) διαιρείται σε τρεις χώρους. Τον χώρο Μέσης Τάσης, τον Μετασχηματιστή και τον χώρο Χαμηλής Τάσης. Μηχανικές μανταλώσεις εξασφαλίζουν τη σωστή διαδοχή χειρισμών και την ασφάλεια του προσωπικού, σύμφωνα με τις προδιαγραφές IEC.

Ο οικίσκος περιέχει ένα βοηθητικό μετασχηματιστή 5KVA, 800/400V, έναν πίνακα προστασίας Μ/Σ με ενδεικτικές λυχνίες Alarm – trip, μπουτόν test και stop σειρήνας και έναν πίνακα απομακρυσμένης παρακολούθησης. Υπάρχει ανεμιστήρας στο χώρο του μετασχηματιστή, εσωτερικός φωτισμός και βοηθητικοί ρευματοδότες σε όλους τους χώρους. Εσωτερικές καλωδιώσεις και περιμετρική ταινία γείωσης υπάρχουν περιμετρικά σε όλους τους χώρους όπως και σύστημα αδιάλειπτης παροχής.

Η περιμετρική προστασία με σύστημα ασφαλείας αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές στο χώρο της ασφάλειας. Υλοποιείται με την εγκατάσταση ενός συνδυασμού συστημάτων ελέγχου και διασφάλισης των ορίων που περικλείουν τις υποδομές οι οποίες πρέπει να προστατευτούν, με σκοπό την αποτροπή από παράνομες εισβολές. Συνήθως αποτελείται από ένα σύστημα συναγερμού με κάμερες και αισθητήρες.

Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας (beams) τα οποία καλύπτουν την περίμετρο του φωτοβολταϊκού σταθμού και δημιουργούν ζώνες όπου σε περίπτωση διέλευσης ανθρώπου χτυπάει ο συναγερμός ή από καλώδιο το οποίο τοποθετείται στην περίφραξη και ανιχνεύει την οποιαδήποτε κίνηση. Η οπτική επιτήρηση του Φ/Β σταθμού πραγματοποιείται με κλειστό κύκλωμα οπτικών καμερών. Η καταγραφή της εικόνας γίνεται σε καταγραφικό όπου υπάρχει η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου.

Οι κάμερες διαθέτουν ενσωματωμένο προβολέα υπερύθρων που τους παρέχει την δυνατότητα λειτουργίας κατά την διάρκεια της νύχτας. Το σύστημα συναγερμού ολοκληρώνεται με την κεντρική μονάδα ελέγχου, το πληκτρολόγιο, τις μαγνητικές επαφές στις θύρες του οικίσκου και την σειρήνα. Οι αισθητήρες κίνησης και οι κάμερες τοποθετούνται επί ιστών γαλβανισμένων εν θερμώ. Ο υπόλοιπος εξοπλισμός τοποθετείται εντός του οικίσκου.

Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας:

Σαν κατασκευή με αρκετά μεταλλικά μέρη και λόγω της εγκατάστασής τους σε τοποθεσίες που είναι εκτεθειμένες από όλες τις πλευρές ώστε να δέχονται επαρκή ηλιοφάνεια, τα Φ/Β πάρκα έχουν ανάγκη από ένα επαρκές σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Τα κεραυνικά πλήγματα μπορούν να απειλήσουν το Φ/Β πάρκο με θερμικές, μηχανικές και ηλεκτρικές καταστροφές, αλλά και να θέσουν σε κίνδυνο τις ζωές των ατόμων που εισέρχονται σε αυτό και χειρίζονται εξοπλισμό. Επομένως το σύστημα προστασίας, λαμβάνοντας υπόψη τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και συγκεκριμένα την συχνότητα εμφάνισης κεραυνών, πρέπει να καλύπτει ορισμένες βασικές προϋποθέσεις, μεταξύ των οποίων οι κυριότερες είναι:

- Να έχει έναν επαρκή αριθμό συλλεκτήριων αγωγών κατανεμημένο με τρόπο τέτοιο ώστε να προστατεύει το πάρκο από τυχόν κεραυνικά πλήγματα σε όλο του το εύρος.
- Να παρέχει αρκετές οδεύσεις προς το σύστημα γείωσης μέσω αγωγών καθόδου.
- Η διεπαφή του συστήματος γείωσης με το έδαφος να είναι τέτοια ώστε να ελαχιστοποιεί την μεταξύ τους ηλεκτρική αντίσταση σε επίπεδα κάτω από αυτά που ορίζουν τα σχετικά στάνταρ.



Εικόνα 2.16: Τοποθέτηση μεταλλικής ράβδου του συλλεκτήριου συστήματος.

Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας χωρίζεται σε 3 βασικά μέρη. Το πρώτο είναι το συλλεκτήριο σύστημα, το οποίο είναι επιφορτισμένο να δέχεται το κεραυνικό ρεύμα και να το διοχετεύει στους αγωγούς καθόδου. Πρόκειται στην ουσία για μεταλλικές ράβδους με κατακόρυφη διεύθυνση που τοποθετούνται στα άκρα των πλαισίων στήριξης των πάνελ και με τρόπο τέτοιο ώστε να μη σκιάζουν (Εικόνα 2.16). Το δεύτερο μέρος της προστασίας αποτελούν οι αγωγοί καθόδου, οι οποίοι ουσιαστικά είναι το σύνολο των μεταλλικών συνδέσεων του συλλεκτήριου συστήματος με το πλέγμα της γείωσης. Το τελευταίο αποτελεί το τρίτο μέρος της προστασίας. Κατά κανόνα πλαισιώνει περιμετρικά την κατασκευή και σκοπός του είναι να διαχέει το κεραυνικό υπερρεύμα στο έδαφος με όσο το δυνατόν μικρότερη τιμή ηλεκτρικής αντίστασης. Με τον τρόπο αυτόν αποφεύγεται ο σχηματισμός υπερτάσεων και συνεπώς υψηλών θερμοκρασιών σε μέρη του Φ/Β πάρκου, με όλες τις καταστροφικές συνέπειες που συνοδεύουν τα φαινόμενα αυτά.

Η μελέτη και σχεδίαση της γείωσης δίνει έμφαση στις ισοδυναμικές συνδέσεις ώστε όλα τα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης να είναι γαλβανικά συνδεδεμένα μεταξύ τους και με τον αγωγό προστασίας PE. Η γείωση είναι περιμετρική από αγωγό συμπαγή, χαλύβδινο και θερμά επιψευδαργυρωμένο κυκλικής διατομής Φ (St/tZn). Τυχόν ανάγκη βελτίωσης αυτής θα πραγματοποιείται με επιπλέον ηλεκτρόδια γείωσης ή διατάξεις γειωτών.

Ηλεκτρικοί Συσσωρευτές-Μπαταρίες:

Τα τελευταία χρόνια κερδίζει σε δημοφιλία η πρακτική της εγκατάστασης μπαταριών (ηλεκτρικών συσσωρευτών) οι οποίες λειτουργούν αποθηκεύοντας και αποδίδοντας ενέργεια παράλληλα με το Φ/Β πάρκο. Οι διαθέσιμες τεχνολογίες καθώς και οι προσπάθειες προσδιορισμού της βέλτιστης ποσότητας εγκατεστημένης ισχύος έχουν μελετηθεί και αναλυθεί εντατικά [3], [4]. Οι λόγοι προφανείς: Η στοχαστικότητα της ηλιοφάνειας καθώς και οι περιορισμένες ώρες της ημέρας κατά τις οποίες τα Φ/Β βρίσκονται σε λειτουργία περιορίζουν κατά πολύ την συμβολή της ηλιακής ενέργειας στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του διασυνδεδεμένου δικτύου. Παράλληλα, η μεγάλη πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας κατά τις μεσημεριανές ώρες, ειδικά σε χώρες που βρίσκονται σε χαμηλό γεωγραφικό πλάτος όπως η Ελλάδα, έχει ως αποτέλεσμα η παραγωγή να ξεπερνά τη ζήτηση.

Ο διαχειριστής της ενέργειας του δικτύου (στην Ελλάδα ο ΑΔΜΗΕ, Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) αναγκάζεται τότε να δώσει εντολή στις μονάδες παραγωγής να «ψαλιδίσουν» την ισχύ που εκχέουν στο δίκτυο προκειμένου να αποφευχθούν σοβαρά προβλήματα αστάθειας. Σαν συνέπεια αυτό έχει οι ιδιοκτήτες των μονάδων να στερούνται κέρδη, καθώς οι πωλήσεις τους περιορίζονται, αλλά και μεγάλο μέρος «πράσινης» ενέργειας να πηγαίνει χαμένη. Γίνεται εμφανές ότι η ύπαρξη μονάδων αποθήκευσης είναι απαραίτητη. Το πρόβλημα έρχονται να λύσουν οι μπαταρίες καθώς επιτυγχάνουν τόσο να αποθηκεύουν το πλεόνασμα ενέργειας, αποτρέποντας τον ψαλιδισμό της ισχύος, όσο και να στηρίζουν την ομαλή λειτουργία του δικτύου σε περίπτωση που η συνολική στιγμιαία παραγωγή παρουσιάσει ελλείψεις.

Οι τύποι μπαταριών που έχουν επικρατήσει στις περισσότερες εφαρμογές είναι δύο. Οι μπαταρίες οξέος μόλυβδου αποτελούν την πιο προσιτή οικονομικά επιλογή, αλλά γενικά απαιτούν προσεκτική συντήρηση και δεν έχουν μεγάλο χρόνο ζωής, όταν αυτός μεταφράζεται σε αριθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης. Ωστόσο, εξακολουθούν μέχρι και σήμερα να χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως οι μεγάλες μονάδες αποθήκευσης εφεδρικής ενέργειας (τηλεφωνικά κέντρα, νοσοκομεία κ.λπ.). Στις περισσότερες εφαρμογές οι μπαταρίες ιόντων λιθίου τις έχουν αντικαταστήσει καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα. Μεταξύ αυτών

η μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος, η αυξημένη απόδοση και ο μεγαλύτερος χρόνος ζωής. Για όλους τους παραπάνω λόγους, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου είναι οι πλέον προτιμώμενες στις εφαρμογές των Φ/Β.

2.4 Νέο Νομοθετικό Πλαίσιο και 10% Προσθήκη

Στις 28 Μαρτίου 2023 εκδόθηκε το ΦΕΚ (Φύλλα Εφημερίδας της Κυβέρνησης) Α-78-28032023 σχετικά με την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος κατά ποσοστό 10% σε φωτοβολταϊκά πάρκα, κατ' εφαρμογή της παρ. 6, άρθρ. 97, ν. 4951/2022, όπως τροποποιήθηκε με την παρ. 2, άρθρ. 138, ν. 5037/2023, ΦΕΚ Α 78/29.3.2023. Στο εν λόγω άρθρο το ΥΠΕΝ ανακοίνωσε πως ο Διαχειριστής Δικτύου διαθέτει περιθώριο απορρόφησης παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος έως 10 MW ανά υποσταθμό.

Αυτό σήμαινε πως στα φωτοβολταϊκά πάρκα που δεν είχαν λάβει Οριστική Προσφορά Σύνδεσης από τον ΔΕΔΔΗΕ ή δεν είχαν ηλεκτριστεί μέχρι τις 28 Μαρτίου 2023, υπήρχε η δυνατότητα αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος κατά δέκα τις εκατό (10%), χωρίς να απαιτείται τροποποίηση της εκδοθείσας απόφασης περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Για παράδειγμα, σε ένα έργο που είχε πάρει άδεια για εγκατάσταση 500 kW, μπορούσε να γίνει προσθήκη ακόμα 50 kW. Προϋπόθεση για την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος είναι να μην πραγματοποιηθεί μεταβολή των ορίων του γηπέδου της εγκατάστασης για την προσθήκη των νέων Φ/Β πλαισίων.

Η σχετική απόφαση βοηθάει τους παραγωγούς στην διατήρηση του κέρδους, όπου η τιμή της κιλοβατώρας μειώνεται συνεχώς. Περιλαμβάνει τα Φ/Β πάρκα που εγκαθίστανται στη χερσαία περιοχή της χώρας αλλά και στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Εξακολουθεί να προβλέπεται και να εφαρμόζεται στις μέρες μας, με τους σχετικούς υπολογισμούς να συμβαίνουν κατά την αρχική μελέτη του έργου.



Εικόνα 2.17: Η “Εφημερίδα της Κυβερνήσεως” Τεύχος Πρώτο 28/03/2023 (αριστερά), ο νόμος υπ’ αριθμόν 5037 (δεξιά).

3938	ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ	Τεύχος Α' 78/28.03.2023
γεωτεχνική μελέτη και εφόσον δεν μεταβάλλεται το υφιστάμενο γήπεδο εγκατάστασης, οι ανωτέρω άδειες δεν υπόκεινται σε έλεγχο του γηπέδου ασφαλείας.» Άρθρο 137 Διόρθωση παραπομπής για τον καθορισμό της τιμής αναφοράς - Τροποποίηση παρ. 2 άρθρου 93 ν. 4951/2022 Στην παρ. 2 του άρθρου 93 του ν. 4951/2022 (Α' 129), διορθώνεται εσφαλμένη νομοθετική παραπομπή, και η παρ. 2 διαμορφώνεται ως εξής: «2. Η Τιμή Αναφοράς των Π.Θ.Π.Ω.Σ. καθορίζεται με την απόφαση της παρ. 5 του άρθρου 4 του ν. 4414/2016.» Άρθρο 138 Αύξηση εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών σταθμών - Διάρθρωση περιθωρίων για φωτοβολταϊκούς σταθμούς στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά - Τροποποίηση άρθρου 97 του ν. 4951/2022 1. Στην παρ. 3 του άρθρου 97 του ν. 4951/2022 (Α' 129), περί περιθωρίου απορρόφησης, το τρίτο εδάφιο τροποποιείται ως προς τη χορήγηση Συμβάσεων Σύνδεσης και το ανώτατο όριο εγκατεστημένης ισχύος, προστίθεται νέο τέταρτο εδάφιο, και η παρ. 3 διαμορφώνεται ως εξής: «3. Ο Διαχειριστής του Δικτύου από τη θέση σε ισχύ του παρόντος διαθέτει περιθώριο απορρόφησης ισχύος δέκα μεγαβάτ (10 MW) ανά υποσταθμό πλέον του υφιστάμενου περιθωρίου, αποκλειστικά για την εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. αυτοπαραγωγικών αυ-	του προνοιακού χαρακτήρα, εκκλησιαστικά νομικά πρόσωπα, φιλανθρωπικά ιδρύματα, οργανισμούς ιδιωτικού δικαίου μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα, οι οποίοι παρέχουν υπηρεσίες κοινωνικής φροντίδας, καθώς και από Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης α' και β' βαθμού για κάλυψη των αναγκών των δημοτικών παιδικών, βρεφικών και βρεφονηπιακών σταθμών, σχολικών μονάδων πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, κέντρων υγείας και νοσοκομείων, δημοτικών και δημοτικών αθλητικών κέντρων, το όριο ισχύος του προηγούμενου εδαφίου αυξάνεται στα εκατό (100) kW. Μετά την παρέλευση δώδεκα (12) μηνών από τη θέση σε ισχύ του παρόντος, ο Διαχειριστής του Δικτύου αξιολογεί τα διαθέσιμα περιθώρια των ανωτέρω κατηγοριών ανά Υ/Σ. Εάν το περιθώριο κάποιας κατηγορίας έχει εξαντληθεί, ο Διαχειριστής δύναται να αξιοποιεί περιθώριο άλλων κατηγοριών, εφόσον η ανακατανομή αυτή δεν υπερβαίνει την ισχύ του ενός μεγαβάτ (1 MW).» 2. Στην παρ. 6 του άρθρου 97 του ν. 4951/2022, περί αύξησης εγκατεστημένης ισχύος σταθμών, το τέταρτο εδάφιο τροποποιείται, προκειμένου να διευκρινιστεί ότι η δυνατότητα αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος έως δέκα τοις εκατό (10%) αφορά αποκλειστικά σταθμούς που δεν έχουν ενεργοποιηθεί, καθώς και οι σχετικές προϋποθέσεις, στο τέλος της παραγράφου, προστίθενται δύο εδάφια, και η παρ. 6 διαμορφώνεται ως εξής: «6. Ο κάτοχος σταθμού Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. δύναται να ορίζει τη μέγιστη ισχύ παραγωγής του σταθμού ισχύ μικρότερη της εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων παραγωγής του, η οποία και λαμβάνεται υπόψη από	

Εικόνα 2.18: Το Άρθρο 138 για την αύξηση εγκατεστημένης ισχύος 10% των φωτοβολταϊκών σταθμών.

ση στασιμων Α.Π.Ε. και Σ.Π.Θ.Υ.Α. αυτοπαραγωγών, αυτοπαραγωγών με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού, αυτοπαραγωγών με εφαρμογή οικονομικού ενεργειακού συμψηφισμού και παραγωγών του ειδικού προγράμματος ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το ως άνω περιθώριο καθίσταται διαθέσιμο στο σύνολο των Υ/Σ του ΕΔΔΗΕ, περιλαμβανομένων των περιόχων με κορεσμένα δίκτυα και εξαιρουμένου μόνο του δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, χωρίς να καταλαμβάνεται από περιορισμούς που σχετίζονται με τα περιθώρια απορρόφησης του Συστήματος και κατανέμει στις κάτωθι κατηγορίες σταθμών ως εξής:

α) Σταθμοί Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εγκαθίστανται από αυτοπαραγωγούς και αφορούν οικίες (νοικοκυριά), συμπεριλαμβανομένων σταθμών του ειδικού προγράμματος ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων, σε ποσοστό σαράντα τοις εκατό (40%),

β) σταθμοί Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εγκαθίστανται από αυτοπαραγωγούς και αφορούν τον πρωτογενή τομέα (αγρότες), σε ποσοστό τριάντα τοις εκατό (30%),

γ) σταθμοί Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εγκαθίστανται από αυτοπαραγωγούς και αφορούν τον δευτερογενή τριτογενή τομέα (λοιπές χρήσεις) σε ποσοστό τριάντα τοις εκατό (30%).

Για τη διάθεση του ως άνω περιθωρίου, ο Διαχειριστής του Δικτύου χορηγεί Συμβάσεις Σύνδεσης με ανώτατο όριο εγκατεστημένης ισχύος τα δέκα κόμματα οχτώ κιλοβάτ (10,8 kW) ανά παροχή κατανάλωσης. Ειδικά για σταθμούς αυτοπαραγωγής ενεργειακού συμψηφισμού που υλοποιούνται από νομικά πρόσωπα δημοσίου δικαί-

τον Διαχειριστή του Δικτύου για τη χορήγηση Οριστικής Προσφοράς Σύνδεσης. Οι κάτοχοι των σταθμών με βεβαίωση ή βεβαίωση Ειδικών Έργων ή Άδεια Παραγωγής, μετά την αποδοχή της Οριστικής Προσφοράς Σύνδεσης μεριμνούν για την τροποποίηση των σχετικών αδειών. Η μη υπέρβαση της μέγιστης ισχύος του σταθμού αποτελεί ευθύνη του Παραγωγού και ελέγχεται από τον Διαχειριστή, ο οποίος δύναται να επιβάλει κυρώσεις στον κάτοχο του σταθμού, όπως ειδικότερα ορίζεται στον Κώδικα Διαχείρισης του ΕΔΔΗΕ. Ειδικά για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος έως και ένα μεγαβάτ (1 MW) που έχουν λάβει Οριστική Προσφορά Σύνδεσης ή έχουν υποβάλει πλήρες αίτημα για χορήγηση Οριστικής Προσφοράς Σύνδεσης, και σε κάθε περίπτωση πριν την ενεργοποίηση της σύνδεσης των σταθμών, επιτρέπεται η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε ποσοστό μέχρι και δέκα τοις εκατό (10%), εφόσον δεν αυξάνεται η μέγιστη ισχύς παραγωγής, δεν απαιτείται η τροποποίηση της εκδοθείσας απόφασης περιβαλλοντικής αδειοδότησης, η οποία και θεωρείται ισχυρή, εφόσον δεν μεταβάλλονται τα όρια του γηπέδου εγκατάστασης, άλλως απαιτείται η τροποποίηση αυτής. Η παρούσα εφαρμόζεται αναλογικά και για εξαιρούμενους σταθμούς που συνδέονται στο Σύστημα μέσω ομαδικών αιτημάτων. Για τους σταθμούς του τέταρτου και πέμπτου εδαφίου, οι κάτοχοι των φωτοβολταϊκών σταθμών γνωστοποιούν στον αρμόδιο Διαχειριστή την προθεσμία τους για τη σχετική αύξηση, ο οποίος, αποκρίνεται, θετικά ή αρνητικά, κατά προτεραιότητα, εντός δεκαπέντε (15) ημερών. Η εν λόγω γνωστοποίηση δεν συνιστά νέο αίτημα προς τον αρμόδιο Διαχειριστή.»

3. Στο άρθρο 97 του ν. 4951/2022, περί αίτησης για αύξηση ηλεκτρικού χώρου στο δίκτυο, προστίθεται παρ. 9, ως εξής:

«9. Τουλάχιστον το είκοσι τοις εκατό (20%) του διαθέσιμου περιθωρίου ανάπτυξης φωτοβολταϊκών σταθμών, ανά σύστημα Μη Διασυνδεδεμένου Νησιού (Μ.Δ.Ν.), διατίθεται σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς που εγκαθίστανται από αυτοπαραγωγούς, με ανώτατο όριο εγκατεστημένης ισχύος τα δέκα κόμματα οχτώ κιλοβάτ (10,8 kW), ανά παροχή κατανάλωσης, και αφορούν οικιακές χρήσεις (νοικοκυριά), συμπεριλαμβανομένων σταθμών του ειδικού προγράμματος ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων, τον πρωτογενή τομέα (αγρότες), καθώς και τον δευτερογενή - τριτογενή τομέα (λοιπές χρήσεις). Αν η συνολική ισχύς που έχει δεσμευτεί για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών εγκατεστημένης ισχύος έως δέκα κόμματα οχτώ κιλοβάτ (10,8 kW) από αυτοπαραγωγούς, ανά σύστημα Μ.Δ.Ν., δεν ξεπερνά το δέκα τοις εκατό (10%) του συνολικού περιθωρίου ανάπτυξης φωτοβολταϊκών σταθμών στο σύστημα αυτό, ο Διαχειριστής Μ.Δ.Ν. δύναται να χορηγεί Συμβάσεις Σύνδεσης, καθ' υπέρβαση του εγκεκριμένου περιθωρίου ανάπτυξης φωτοβολταϊκών σταθμών του αντίστοιχου συστήματος Μ.Δ.Ν., σύμφωνα με το πρώτο εδάφιο και μέχρι κάλυψης του ανωτέρω ποσοστού.»

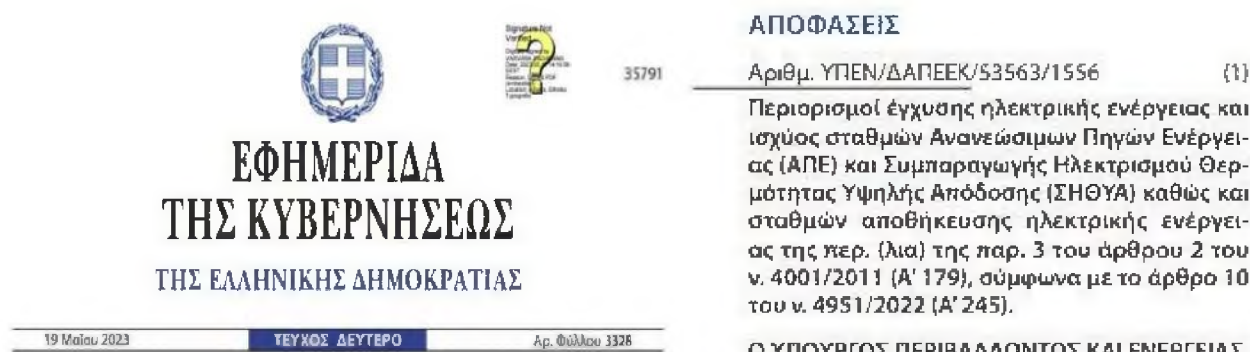
Εικόνες 2.19 - 2.20: Η συνέχεια του Άρθρου 138 για την αύξηση εγκατεστημένης ισχύος 10% των φωτοβολταϊκών σταθμών.

2.5 Σύγχρονες Απαιτήσεις

Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών έργων στην Ελλάδα σε συνδυασμό με την απόφαση αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος κατά

δέκα τις εκατό (10%) έφερε σε κορεσμό το συνολικό παραγόμενο ρεύμα. Οι κίνδυνοι αυτού του φαινομένου ήταν αρκετοί καθώς το πιθανότερο ήταν να μην αντέχει την υπερφόρτωση το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και να υπάρχει ο κίνδυνος υπερφόρτωσης των υποσταθμών υψηλής τάσης του ΔΕΔΔΗΕ ή ακόμη και ο ενδεχόμενος κίνδυνος τοπικών black out. Επακόλουθο ήταν η άμεση παρέμβαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ) παίρνοντας αποφάσεις για την αποτελεσματικότερη διαχείριση τέτοιων προβλημάτων αλλά και την μελλοντική αποτροπή παρόμοιων φαινομένων.

Την λύση έφερε η απόφαση του ΥΠΕΝ με αριθμό ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/53563/1556 στο ΦΕΚ Τεύχος Β' 3328/19.05.2023. Σε αυτή την απόφαση δηλωνόταν ότι στους Φ/Β σταθμούς Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ), όπως και σταθμούς αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας θα εφαρμοζόταν μόνιμος περιορισμός έγχυσης ηλεκτρικής ενέργειας συγκεκριμένου ποσοστού καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας των σταθμών.



Εικόνα 2.21: Η "Εφημερίδα της Κυβερνήσεως" Τεύχος Δεύτερο 19/05/2023 (αριστερά), απόφαση του ΥΠΕΝ για τον περιορισμό έγχυσης 73% μέγιστης ισχύος παραγωγής Φ/Β σταθμών (δεξιά).

Πιο συγκεκριμένα, στην παράγραφο 2 του Άρθρου 10 του νόμου 4951/2022 του ΦΕΚ Τεύχος Β' 3328/19.05.2023 αναφέρει για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς που πρόκειται να συνδεθούν στον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ), ότι θα υπάρχει μόνιμος περιορισμός στη μέγιστη εγγεόμενη ισχύ παραγωγής. Δηλαδή θα πραγματοποιείται μείωση κατά εβδομήντα τρία τις εκατό (73%) στην αρχική αδειοδοτημένη ισχύ του Φ/Β πάρκου. Για

παράδειγμα ένα πάρκο που παράγει 500 kW, θα συνεισφέρει στο ηλεκτρικό δίκτυο με 365 kW.

Ο νέος περιορισμός εφαρμόστηκε στα Φ/Β πάρκα των οποίων η άδεια κατασκευής μόλις είχε εκδοθεί αλλά και για τα πάρκα που δεν είχαν ηλεκτριστεί το διάστημα που πάρθηκε η απόφαση, ενώ είχαν άδεια κατασκευής. Αυτό σήμαινε πως έπρεπε να κάνουν εκ νέου αίτηση για νέα ισχύ, καθυστερώντας έτσι την αρχή της κατασκευής του έργου.

Σε περίπτωση αλλαγής της εγκατεστημένης ισχύς (π.χ. μείωσης ή αύξησης) ο περιορισμός της μέγιστης ισχύος υπολογίζεται εκ νέου επί της καινούριας ισχύς. Η συγκεκριμένη απόφαση ισχύει έως και σήμερα και υπολογίζεται από τον ΔΕΔΔΗΕ κατά την έκδοση της Σύμβασης Σύνδεσης μεταξύ του ΔΕΔΔΗΕ και του Φ/Β πάρκου.

Τεύχος Β' 3328/19.05.2023

ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ Ι

Άρθρο 2

Περιορισμοί έγχυσης μέγιστης ισχύος
παραγωγής φωτοβολταϊκών σταθμών

1. Για τους Φωτοβολταϊκούς Σταθμούς που συνδέονται στο ΕΣΜΗΕ ή στο ΕΔΔΗΕ εφαρμόζεται μόνιμος περιορισμός της μέγιστης ισχύος παραγωγής του σταθμού, κατά την περ. (α) της παρ. 2 του άρθρου 10 του ν. 4951/2022, ώστε η μέγιστη ισχύς παραγωγής, μετρούμενη στο σημείο σύνδεσης του σταθμού με το ΕΣΜΗΕ ή το ΕΔΔΗΕ (μέγιστη εγγεώμενη ισχύς παραγωγής), ως ποσοστό της εγκατεστημένης ισχύος του σταθμού, να προκύπτει σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Τεχνολογία	Σύστημα/ Δίκτυο	Μέγιστη εγγεώμενη ισχύς παραγωγής σε σχέση με την εγκατεστημένη ισχύ (%)	Περίπτωση περιορισμού έγχυσης (παρ. 2 άρθρου 10 του ν. 4951/2022)
Φωτοβολταϊκός Σταθμός	ΕΣΜΗΕ	72%	α)
	ΕΔΔΗΕ	73%	

Πίνακας 1: Περιορισμός μέγιστης εγγεώμενης ισχύος παραγωγής Φωτοβολταϊκών Σταθμών

2. Σε περίπτωση αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος Σταθμού μετά την έκδοση Προσφοράς Σύνδεσης, η μέγιστη εγγεώμενη ισχύς παραγωγής του Σταθμού επανυπολογίζεται με βάση τη νέα εγκατεστημένη ισχύ, εκτός των περιπτώσεων σταθμών που κάνουν χρήση της πρόβλεψης για αύξηση εγκατεστημένης ισχύος έως και 10% σύμφωνα με παρ. 6 του άρθρου 97 του ν. 4951/2022, όπου η μέγιστη εγγεώμενη ισχύς παραγωγής παραμένει ίδια.

3. Σε περίπτωση μείωσης της εγκατεστημένης ισχύος του ως άνω Σταθμού, η μέγιστη ισχύς παραγωγής/έγχυσης αυτού επανυπολογίζεται με βάση την νέα εγκατεστημένη ισχύ του.

Εικόνα 2.22: Το Άρθρο 2 για τους περιορισμούς έγχυσης της μέγιστης ισχύος παραγωγής Φ/Β σταθμών.

Κεφάλαιο 3. Περιγραφή Θέματος και Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το θέμα και η μεθοδολογία της μελέτης εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου 500 kW. Αρχικά, αναλύεται συνοπτικά η διαδικασία αδειοδότησης από τον κάτοχο και οι προϋποθέσεις για την ενεργοποίηση του πάρκου. Ακολούθως, εξηγείται η διαδικασία επιλογής των κυρίων μερών του εξοπλισμού και ο τρόπος με τον οποίο αυτά ομαδοποιούνται και συνδέονται ώστε να εγκατασταθούν. Τέλος, περιγράφεται η μέθοδος χωροθέτησης και τα επιμέρους κομμάτια της σχεδίασης.

3.1 Μελέτη Εγκατάστασης Φ/Β Πάρκου 500 kW

Η μελέτη εγκατάστασης Φ/Β πάρκου ξεκινάει με την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών, την αρχική επιλογή του εξοπλισμού για την διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος καθώς και το Αίτημα Ενεργειακού Συμψηφισμού στον ΔΕΔΔΗΕ. Πιο συγκεκριμένα, για την υποβολή του αιτήματος χρειάζονται τα νομιμοποιητικά έγγραφα του αιτούντος φορέα, το τοπογραφικό διάγραμμα του χωραφίου, η αρχική κάτοψη και το μονογραμμικό σχέδιο του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ακόμα, χρειάζονται νομιμοποιητικά έγγραφα για την τεκμηρίωση του δικαιώματος χρήσης του χώρου εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού σταθμού, στα οποία υπάγονται ο τίτλος κυριότητας από το υποθηκοφυλακείο, η βεβαίωση τεκμηρίωσης νόμιμης χρήσης από δικηγόρο και η οικοδομική άδεια του ακινήτου.

Σε περιπτώσεις συνιδιοκτησίας είναι απαραίτητο να προσκομιστεί μία υπεύθυνη δήλωση συναίνεσης, το αντίγραφο ιδιωτικού συμφωνητικού μακροχρόνιας μίσθωσης και η απόδειξη ηλεκτρονικής υποβολής του στη Δημόσια Οικονομική Υπηρεσία (εάν τη νόμιμη χρήση του χωραφίου την έχει τρίτο πρόσωπο). Επιπλέον, είναι απαραίτητη η προσκόμιση των τεχνικών εγγράφων του ΔΕΔΔΗΕ (Παράρτημα 1 και Τεχνική έκθεση), καθώς και τα τεχνικά φυλλάδια και οι πιστοποιήσεις του εξοπλισμού.

Αφού εγκριθεί το Αίτημα Ενεργειακού Συμψηφισμού από τον ΔΕΔΔΗΕ, γίνεται η αποστολή των Όρων Σύνδεσης και της Σύμβασης Σύνδεσης στον πελάτη από τον

ΔΕΔΔΗΕ, με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η τελική μελέτη και χωροθέτηση του φωτοβολταϊκού πάρκου. Πριν την αρχική μελέτη χρειάζεται το χωράφι να περάσει από τον έλεγχο του τμήματος αρχαιολογίας της εκάστοτε περιοχής, ώστε να βεβαιωθεί πως στο συγκεκριμένο εδαφικό κομμάτι δεν έχουν εντοπιστεί υλικά αρχαιολογικού ενδιαφέροντος και επίσης να πάρει απαλλαγή από τη διαδικασία Περιβαλλοντικής Αδειοδότησης. Κατά τη διάρκεια της μελέτης αλλά πριν την αρχή της κατασκευής θα πρέπει να εκδοθεί άδεια για την Έγκριση Εργασιών Δόμησης Μικρής Κλίμακας. Όπως επίσης Σύμβαση Λειτουργικής Ενίσχυσης Σταθερής Τιμής (ΣΕΣΤ) ή Σύμβαση Λειτουργικής Ενίσχυσης Διαφορικής Προσαύξησης (ΣΕΔΠ) με τον ΔΑΠΕΕΠ (Διαχειριστής ΑΠΕ & Εγγυήσεων Προέλευσης).

Σημαντικό κομμάτι της μελέτης του πάρκου είναι η τοποθέτηση των συλλεκτών με κατεύθυνση Βορρά - Νότο, η κλίση του συλλέκτη μετρούμενη σε μοίρες, η τοποθέτηση των συλλεκτών ως προς την κλίση του εδάφους (αζιμούθιο) και η απόσταση μεταξύ των συλλεκτών κατά την τοποθέτησή τους. Ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης Βορρά - Νότου γίνεται με τη βοήθεια οργάνων όπως η μαγνητική πυξίδα και η γυροσκοπική πυξίδα. Στην περίπτωση μελέτης τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ πραγματοποιείται η μέθοδος προσδιορισμού της κατεύθυνσης του αληθινού Νότου, του τόπου που θα τοποθετηθούν τα πάνελ, με βάση το ηλιακό μεσημέρι. Η χρονική στιγμή του ηλιακού μεσημεριού, με βάση τον επίσημο χρόνο, προσδιορίζεται με τον υπολογισμό των στοιχείων του γεωγραφικού μήκους του τόπου, τη ζώνη πολιτικού χρόνου και τη χρονική διόρθωση με βάση την εξίσωση του χρόνου, της συγκεκριμένης ημέρας του έτους.

Η κλίση του συλλέκτη ρυθμίζεται ανάλογα με το είδος στήριξης του συλλέκτη. Υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη στήριξης. Είναι το σύστημα σταθερής στήριξης, το σύστημα εποχιακής ρυθμιζόμενης στήριξης και το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ήλιου, του οποίου η διάταξη ονομάζεται ηλιοτρόπιο (tracker). Οι ηλιακοί συλλέκτες με σταθερή στήριξη κατασκευάζονται από το εργοστάσιο με μια συγκεκριμένη κλίση (συνήθως 25 μοίρες), με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή στις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Οι ηλιακοί συλλέκτες με εποχιακή ρυθμιζόμενη κλίση, βασίζονται στα δεδομένα των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών και στη μορφολογία και κάλυψη

του εδάφους, η οποία καθορίζει τη διάχυτη αντανακλαστικότητα του (albedo), για την βέλτιστη τοποθέτηση του συλλέκτη, ώστε να δέχεται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία κάθετα στην επιφάνεια του μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Οι συνηθέστερες ημερομηνίες για την αλλαγή της γωνίας κλίσης του συλλέκτη είναι στις 21 Μαρτίου, για την αλλαγή από τη χειμερινή στην θερινή θέση με τον τύπο υπολογισμού της κλίσης: $\beta_{\theta} = \phi - 15^{\circ}$. Αντίστοιχα, για την αλλαγή της γωνίας κλίσης του συλλέκτη από τη θερινή στην χειμερινή θέση είναι στις 22 Σεπτεμβρίου, με τον τύπο υπολογισμού της κλίσης: $\beta_{\chi} = \phi + 15^{\circ}$.

Το σύστημα συνεχούς παρακολούθησης της κλίσης του ηλίου (tracker) αποτελείται από δύο άξονες, με την βοήθεια των οποίων ο συλλέκτης περιστρέφεται με διαδοχικές κινήσεις, ώστε καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας να δέχεται ηλιακή ακτινοβολία. Με τη δύση του ήλιου και μέχρι την επόμενη ανατολή, ο συλλέκτης επιστρέφει στη θέση αναφοράς, δηλαδή τη θέση με την μικρότερη γωνία κλίσης και νότιο προσανατολισμό, ώστε να αντέξει οποιαδήποτε αντίξοη καιρική συνθήκη. Επιπλέον, η περιστροφή του συλλέκτη πραγματοποιείται με την ηλεκτρική ενέργεια κίνησης που παράγει το ίδιο το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Η κλίση του εδάφους (αζιμούθιο) παίζει σημαντικό ρόλο για την τοποθέτηση των ηλιακών πανέλων και τον υπολογισμό της μεταξύ τους απόστασης. Εάν σε ένα χωράφι το έδαφος δεν είναι ομαλό σε όλο το μέρος του, μπορούν να εφαρμοστούν ειδικές λύσεις, όπως η τοποθέτηση μπετού στο χωράφι ή η παραγγελία ειδικών μεγεθών πασσάλων για τη στήριξη της βάσης των ηλιακών πανέλων. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται να δοθεί και στην μορφολογία του εδάφους, για τη σωστή στήριξη των πασσάλων του συστήματος στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαϊσίων, ώστε να αντέχουν στις αντίξοες καιρικές συνθήκες που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια του έτους.

Για την επιλογή του είδους της έμπηξης των πασσάλων στο έδαφος πραγματοποιείται το pull - out τεστ, στην αρχή της μελέτης του κάθε έργου. Το τεστ πραγματοποιείται με την βοήθεια ενός πασσάλου που καρφώνεται στο έδαφος και έπειτα με την βοήθεια ενός μηχανήματος τραβιέται με δύναμη προς τα πάνω. Το μηχανήμα τότε δείχνει μια τιμή η οποία μετريέται είτε σε κιλά, είτε σε Newton και δείχνει αν θα πραγματοποιηθεί πασσαλόμψηξη (έμπηξη του πασσάλου στο έδαφος)

ή μπετόμπηξη (τρύπημα του εδάφους και προσθήκη μπετού για την στήριξη του πασσάλου).

Η τοποθέτηση των συλλεκτών με βάση την απόσταση μεταξύ τους είναι πολύ σημαντική για την εύρυθμη λειτουργία και απόδοση του φωτοβολταϊκού πάρκου. Εάν κάποιος συλλέκτης προκαλεί σκιά σε κάποιον άλλον οποιαδήποτε ώρα της ημέρας, τότε η ενεργειακή απόδοση των συλλεκτών και εν συνεχεία ολόκληρου το φωτοβολταϊκού πάρκου θα εμφανίσει σημαντική μείωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ιδανική απόσταση μεταξύ των συλλεκτών για μέγιστη απόδοση και μηδενική απώλεια υπολογίζεται είτε με διάφορα υπολογιστικά προγράμματα, είτε χειροκίνητα με διάφορους υπολογιστικούς τύπους.

Επιπλέον, σε περίπτωση σκίασης (π.χ. σε περιπτώσεις ελάχιστου χώρου τοποθέτησης των συλλεκτών), υπάρχουν συλλέκτες με ενσωματωμένους διόδους παράκαμψης, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι δίοδοι παράκαμψης σταματάνε την κυκλοφορία του ρεύματος στα μέρη όπου υπάρχει σκιά και την βοηθούν να τα παρακάμψει και να μεταφερθεί κατευθείαν στα μέρη που δέχονται ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμη, μία παράμετρος σκίασης που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την μελέτη του έργου είναι οι σκιάσεις από διάφορα αντικείμενα (π.χ. δένδρο ή κολώνα της ΔΕΗ) ή κτίρια. Ανάλογα το αντικείμενο, μπορεί να αλλάξει η τοποθέτηση των συλλεκτών ή να αφαιρεθεί το αντικείμενο.

3.2 Επιλογή Εξοπλισμού

Απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να γίνει όσο πιο αποτελεσματικά η κοστολόγηση ενός έργου, αποτελεί ο καθορισμός της ποσότητας του απαραίτητου εξοπλισμού. Για την επιλογή ενός συγκεκριμένου προϊόντος σε σύγκριση με ένα άλλο συντρέχουν πέρα από τεχνικοί λόγοι, κυρίως οικονομικοί. Έτσι με βάση το μοντέλο της αγοράς, την προσφορά και τη ζήτηση, συνήθως ο μηχανικός που τίθεται υπεύθυνος για την μελέτη οφείλει να εντάξει σε αυτή υλικά και εξοπλισμό τα οποία αγοράστηκαν και προμηθεύτηκαν από τον κάτοχο του έργου με δική του πρωτοβουλία. Επομένως για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η επιλογή του εξοπλισμού δεν μπορούσε παρά να γίνει με πρωτοβουλία της συγγραφέως και με αρκετή ελευθερία.

Συγκεκριμένα, οι μετατροπείς ισχύος που αξιοποιήθηκαν είναι οι GW215KTL-H3 και GW330KTL-H1 της εταιρείας HUAWEI. Τα Φ/Β πλαίσια είναι τα LR5-72HBD 605M της Longi Solar. Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθενται τα στοιχεία του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, των υπολογισμών και γενικότερα της μελέτης της εγκατάστασης.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ		
Παράμετρος	Τιμή	
	HUAWEI GW215KTL-H3	HUAWEI GW330KTL-H1
Input (DC)		
Μέγιστη DC τάση	1500 V	1500 V
Περιοχή λειτουργίας MPPT	500 - 1500 V	500 - 1500 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου MPPT	100 A	65 A
Μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης MPPT	100 A	115 A
Ονομαστική Τάση Εισόδου	1080 V	1080 V
Αριθμός MPPT	3	6
Μέγιστος αριθμός εισόδων MPPT	4/5/5	4/5/5/4/5/5
Output (AC)		
Ονομαστική AC ενεργός ισχύς	200 kW	300 kW
Μέγιστη AC ενεργός ισχύς	215 kW	330 kW
Ονομαστική τάση εξόδου	800 V, 3W + PE	800 V, 3W + PE
Ονομαστική συχνότητα δικτύου	50/60 Hz	50/60 Hz
Ονομαστικό ρεύμα εξόδου	144,4 A	216,6 A
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	155,2 A	238,2 A
Εύρος λειτουργίας συντελεστή ισχύος	0.8 LG - 0.8 LD	0.8 LG - 0.8 LD
Μέγιστο περιεχόμενο σε αρμονικές (THD)	< 1%	< 1%
Μέγιστη απόδοση / Απώδοση ευρο	99.0 %/ 98.8 %	99.03 %/ 98.8 %

Πίνακας 3.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέων Huawei GW215KTL-H3 & Huawei GW330KTL-H1.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ LONGI SOLAR LR5-72HBD 605M	
Παράμετρος	Τιμή
Ονομαστική ισχύς σε συνθήκες STC	605 Wp
Τάση ανοικτού κυκλώματος	52,44 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	14,61 A
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος	44,0 V
Ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος	13,75 A
Ρεύμα μέγιστης αντοχής	30,0 A
Απόδοση	22,40 %
Διαστάσεις	2278x1134x35 mm
Όρια θερμοκρασίας λειτουργίας	-40 °C με +85 °C
Θερμοκρασιακή απόκλιση τάσης ανοικτού κυκλώματος (β_{Voc})	-0,23%/ °C
Θερμοκρασιακή απόκλιση ρεύματος βραχυκύκλωσης (α_{Isc})	0,045%/ °C
Θερμοκρασιακή απόκλιση ισχύος (γ_{Pmax})	-0,28%/ °C

Πίνακας 3.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαίσια Longi Solar LR5 - 72HBD 605M.

Ο συνολικός αριθμός των Φ/Β πλαισίων που θα αξιοποιηθούν για την εγκατάσταση γίνεται διαιρώντας τη συνολική ισχύ της εγκατάστασης με την ισχύ του πλαισίου. Στην περίπτωση μας:

$$500 \text{ kW} / 605 \text{ W} = 826.44 \text{ πλαίσια.}$$

Δεδομένου ότι δεν πρέπει σε καμία περίπτωση βάσει της ελληνικής νομοθεσίας να ξεπεραστεί η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς, στρογγυλοποιούμε το αποτέλεσμα στον αμέσως μικρότερο ακέραιο. Επομένως, θα έχουμε συνολικά 826 πλαίσια.

Σειρά έχει η ομαδοποίηση των πλαισίων σε αλυσίδες και η κατανομή τους στους διαθέσιμους μετατροπείς ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μετατροπέων και τον αριθμό των διαθέσιμων εισόδων MPPT . Για τη διαστασιολόγηση των αλυσίδων είναι απαραίτητη η γνώση της τάσης ανοικτού κυκλώματος των πλαισίων, καθώς η θεωρητικά μέγιστη τάση στα άκρα μιας αλυσίδας είναι το γινόμενο:

$$\text{Αριθμός } \Phi/B \text{ πλαισίων} \times V_{OC}.$$

Ακολουθούνται οι εξής εμπειρικοί κανόνες:

- Οι αλυσίδες πρέπει να έχουν τον μέγιστο δυνατό αριθμό πλαισίων σε σειρά. Ο λόγος είναι ότι μειώνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό το κόστος επιμέρους υλικών όπως καλώδια, αντάπτορες και οδεύσεις. Η τάση στα άκρα των αλυσίδων δεν πρέπει να ξεπεράσει την τάση εισόδου του μετατροπέα.
- Για τον προσδιορισμό της τάσης ανοικτού κυκλώματος λαμβάνεται υπόψη η ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής στην οποία κατασκευάζεται το πάρκο. Στην Ελλάδα η συνήθης πρακτική είναι να θεωρείται ως ελάχιστη θερμοκρασία $T_{min} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Η τοποθέτηση των αλυσίδων πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στον μετατροπέα στον οποίο συνδέεται, ώστε να περιορίζονται τα μήκη των DC καλωδίων. Ο λόγος είναι ότι η ηλεκτρική αντίσταση ενός καλωδίου αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με το μήκος αυτού με αντίστοιχη αύξηση και των θερμικών απωλειών ισχύος.

Υπολογίζουμε για τα Φ/Β πλαίσια LONGI SOLAR LR5-72HBD 605M την τάση ανοικτού κυκλώματος στους $T_{min} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\begin{aligned}V_{OC}^{-10^{\circ}\text{C}} &= [1 + (T_{min} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}) \times \beta / 100] \times V_{OC}^{STC} \Rightarrow \\V_{OC}^{-10^{\circ}\text{C}} &= [1 + (-10^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}) \times (-0.23/100)] \times 52.44\text{ V} \Rightarrow \\V_{OC}^{-10^{\circ}\text{C}} &= 56.66\text{ V}\end{aligned}$$

Η μέγιστη επιτρεπτή τάση εισόδου των MPPT, είναι 1500 V. Διαιρώντας με την τάση ανοικτού κυκλώματος βρίσκουμε τον μέγιστο επιτρεπτό αριθμό πλαισίων ανά αλυσίδα (N):

$$N = 1500/56.66 = 26.47 \text{ πλαίσια.}$$

Κατά τον σχεδιασμό επομένως ο αριθμός των πάνελ δεν πρέπει να ξεπεράσει σε αριθμό τα 26. Στην πράξη ωστόσο, για λόγους που επιβάλλουν τυχόν ιδιαιτερότητες του διαθέσιμου αγροτεμαχίου ο υπεύθυνος μηχανικός μπορεί να επιλέξει να δουλέψει με αλυσίδες που έχουν μικρότερο αριθμό πλαισίων από το επιτρεπτό μέγιστο. Στην περίπτωση μας, αποφασίστηκε οι αλυσίδες να συνίστανται από 19 ή 20 πλαίσια σε σειρά.

Παράλληλα με την χωροταξική κατανομή των αλυσίδων λαμβάνει χώρα και η κατανομή τους σε εισόδους των διαθέσιμων μετατροπέων. Εδώ υπεισέρχεται ένας ακόμα κανόνας, τον οποίο επιβάλλει το γεγονός ότι αλυσίδες οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε κοινή είσοδο MPPT, έχουν και κοινή τάση στα άκρα τους:

- Οι αλυσίδες που συνδέονται στην ίδια είσοδο MPPT ενός μετατροπέα πρέπει να αποτελούνται από ίδιο αριθμό Φ/Β πλαισίων.

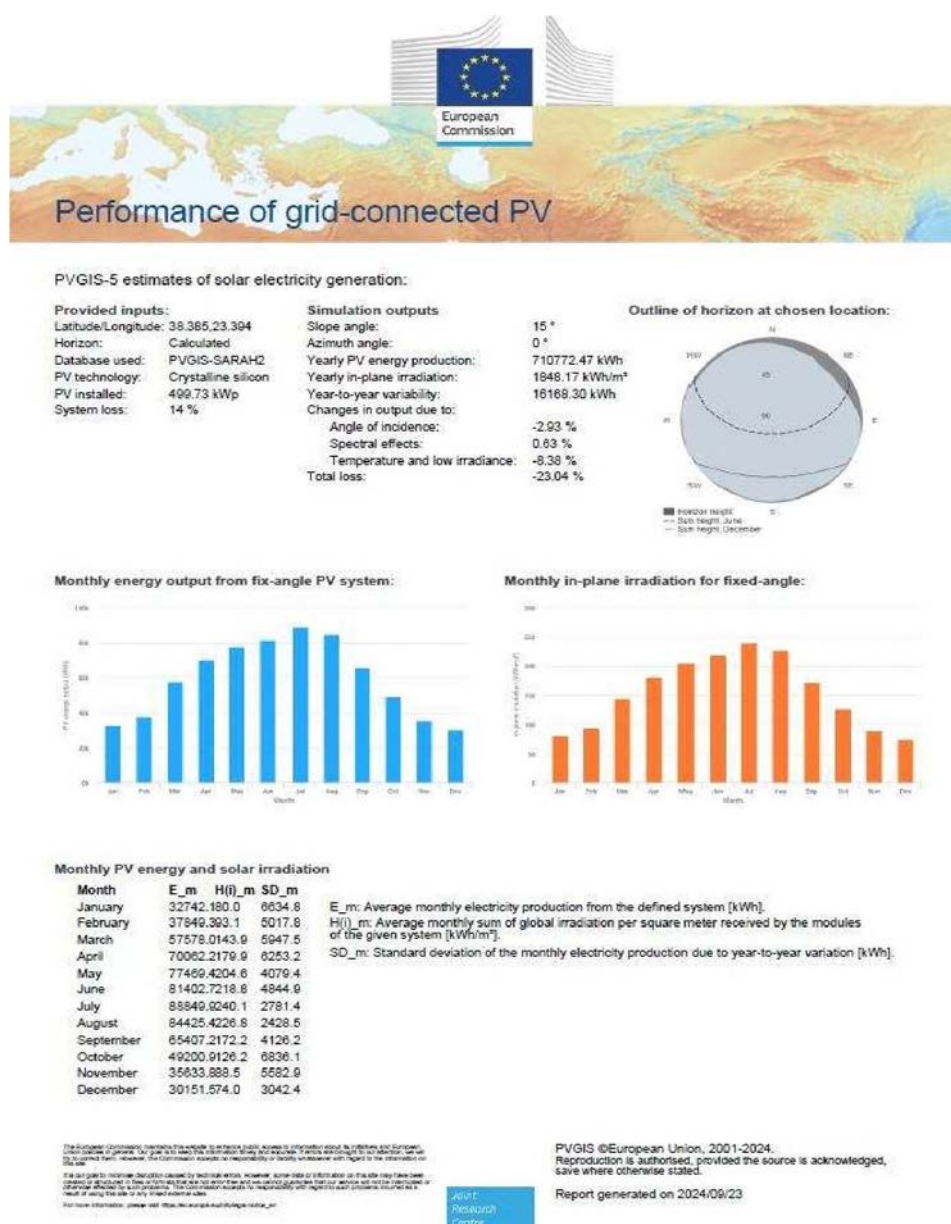
Με τον τρόπο αυτόν διασφαλίζεται ότι η τάση μέγιστης απομάστευσης ισχύος (V_{MPPT}) θα είναι σε κάθε περίπτωση περίπου ίση για όλες τις αλυσίδες, προσφέροντας στα MPPT κυκλώματα τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με τον βέλτιστο τρόπο. Σημειώνεται ότι ο παραλληλισμός αλυσίδων διαφορετικού μεγέθους δεν είναι απαγορευτικός, αλλά εξαναγκάζει τους μετατροπείς να «ψαλιδίσουν» ποσοστό της παραγόμενης ισχύος. Για τον λόγο αυτό προτιμάται, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα, αυτά να συνδέονται σε διαφορετικές εισόδους του αντίστοιχου μετατροπέα.

Η διαδικασία τοποθέτησης των αλυσίδων σε εισόδους MPPT διευκολύνεται από την χρήση του Microsoft Excel όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.

Μετατροπέας 1: HUAWEI GW330KTL-H3						
MPPT	1	2	3	4	5	6
Αριθμός εισόδων	4	5	5	4	5	5
Πλαίσια/αλυσίδα	19	19	19	20	20	20
Σύνολο πλαισίων	76	95	95	80	100	100
Σύνολο ισχύος (W_p)	45.980	57.475	57.475	48.400	60.500	60.500
Μετατροπέας 2: HUAWEI GW215KTL-H1						
MPPT	1	2	3			
Αριθμός εισόδων	4	5	5			
Πλαίσια/αλυσίδα	20	20	20			
Σύνολο πλαισίων	80	100	100			
Σύνολο ισχύος (W_p)	48.400	60.500	60.500			
Συνολική ισχύς Μετατροπέα 1: (W_p)	330.330					
Συνολική ισχύς Μετατροπέα 2: (W_p)	169.400					
Συνολικός Αριθμός Φ/Β Πλαισίων	826					
Συνολική ισχύς Πάρκου (W_p)	499.730					

Πίνακας 3.3: Υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel - Υπολογισμοί για την κατανομή των αλυσίδων για συνολική εγκατεστημένη ισχύ 500 kW.

Αφού πραγματοποιηθεί η επιλογή του εξοπλισμού και η τελική ισχύς του έργου, στην περίπτωση μας 499,730 kWp, έπεται πραγματοποιείται η ενεργειακή ανάλυση του έργου με τη βοήθεια κάποιου υπολογιστικού προγράμματος. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) και υπολογίστηκε ότι η ετήσια παραγωγή του φωτοβολταϊκού πάρκου για 499,730 kWp και με 14% απώλεια συστήματος θα είναι 710772.47 kWh. Όλα τα δεδομένα που προέκυψαν με το συγκεκριμένο υπολογιστικό πρόγραμμα φαίνονται στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Δεδομένα υπολογισμού παραγωγής του φωτοβολταϊκού πάρκου με το πρόγραμμα PVGIS.

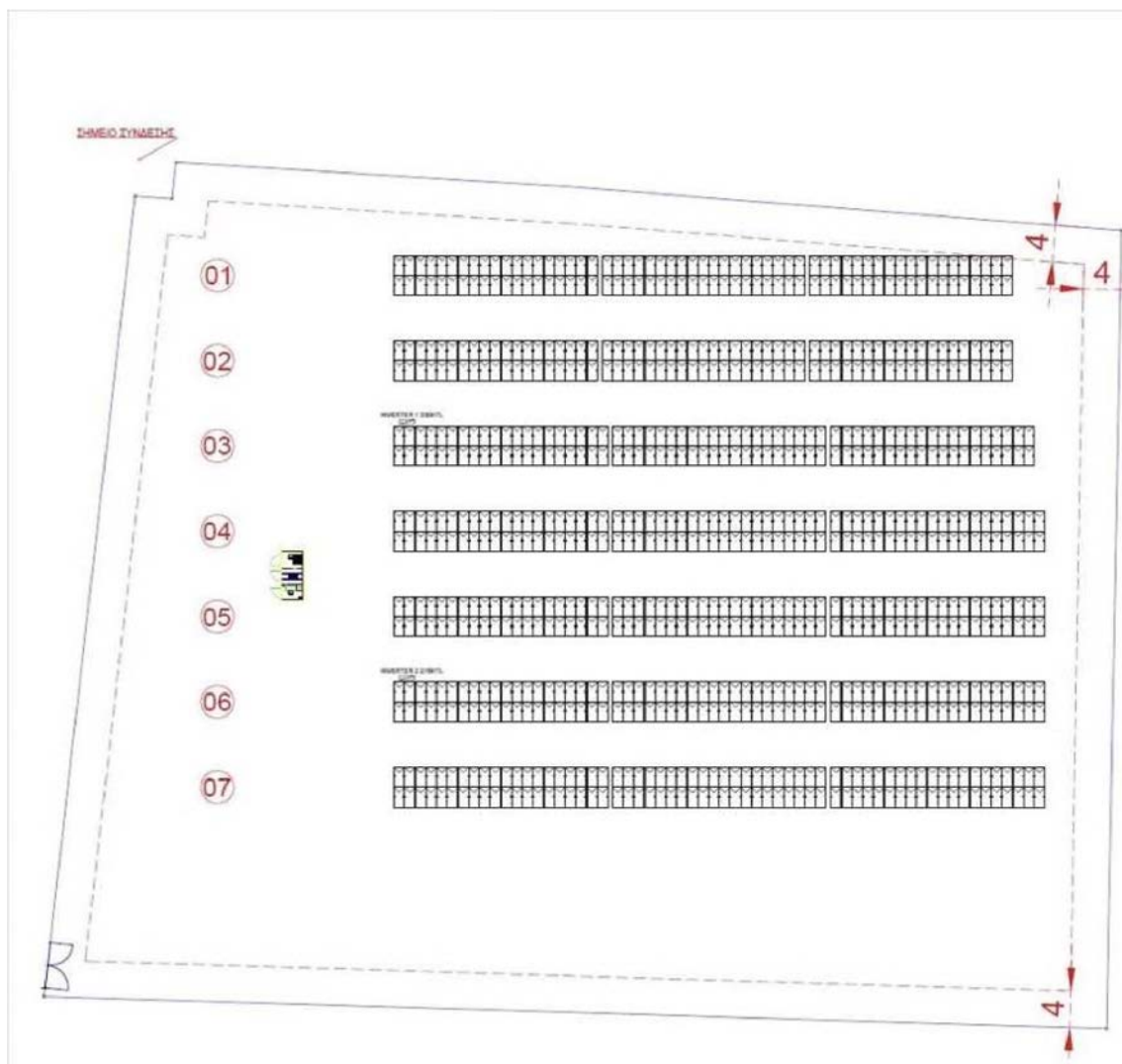
3.3 Σχεδιασμός του Έργου

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μελέτης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι η σχεδίαση του έπειτα από την διενέργεια αυτοψίας στο χωράφι, τους απαιτούμενους υπολογισμούς και την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού. Στην παρούσα διπλωματική εργασία η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων πραγματοποιήθηκε με προσανατολισμό Βορρά - Νότο και πιο ειδικά η μπροστινή επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πανέλων είναι στραμμένη προς τον Νότο για τη μέγιστη πρόσληψη της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η διάταξη των πλαισίων πραγματοποιήθηκε σε διπλό portrait με κλίση 25° και αζιμούθιο 0° , ακολουθώντας νότιο προσανατολισμό. Η απόσταση μεταξύ των σειρών των πάνελ είναι 6 μέτρα και η θεμελίωση του συστήματος έγινε με τη μέθοδο της πασσαλόμνηξης. Οι επιλογές των καλωδίων έγιναν με τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλιστεί προπάντων η ασφάλεια του συστήματος, αλλά και η ελαχιστοποίηση των απωλειών του, η οποία προέκυψε μετά από τεchnοοικονομική μελέτη για κάθε όδευση καλωδίου.

Η σχεδίαση του έργου χωρίζεται σε διαφάνειες με ξεχωριστό θέμα η κάθε μία, ώστε να γίνεται κατανοητός ο τρόπος κατασκευής στον μηχανικό του εργοταξίου. Παρακάτω εκθέτονται τυπικές διαφάνειες ενός φωτοβολταϊκού έργου 500 kW. Όλες οι διαφάνειες περιλαμβάνουν την περίφραξη του χωραφιού, την απόσταση ασφαλείας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταξύ αυτών και της περίφραξης (4m) και την πόρτα. Επίσης, απεικονίζεται η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, η αρίθμηση των σειρών των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και το Σημείο Σύνδεσης της μέσης τάσης με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

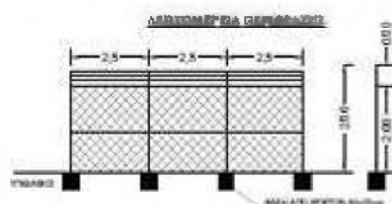
Στις υπόλοιπες διαφάνειες απεικονίζονται τα σημεία των πασσάλων των βάσεων στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων, οι διατομές και οι οδεύσεις των χαντακιών μέσω των οποίων περνάνε όλα τα καλώδια και η γείωση. Επιπροσθέτως, φαίνονται οι οδεύσεις των καλωδίων της χαμηλής και μέσης τάσης, των καλωδίων των καμερών, καθώς και η όδευση της γείωσης. Τέλος, απεικονίζονται οι οδεύσεις των σπιράλ (σωλήνες που προστατεύουν τα καλώδια) και οι θέσεις των καμερών. Για

την κάθε διαφάνεια υπάρχει ένα υπόμνημα, στο οποίο εξηγούνται τα σύμβολα των σχεδίων. Αναλυτικότερα, οι διαφάνειες παρατίθενται παρακάτω:



Εικόνα 3.3: Απεικόνιση χωροθέτησης και περίφραξης του Φ/Β έργου.

Στην εικόνα 3.3 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού με μπλε χρώμα, η απόσταση ασφαλείας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταξύ αυτών και της περίφραξης (4m) και η πόρτα. Επίσης, απεικονίζεται η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων όπως αυτά τοποθετήθηκαν στο έργο, η αρίθμηση των σειρών των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και το Σημείο Σύνδεσης όπου θα γίνει η σύνδεση της μέσης τάσης με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

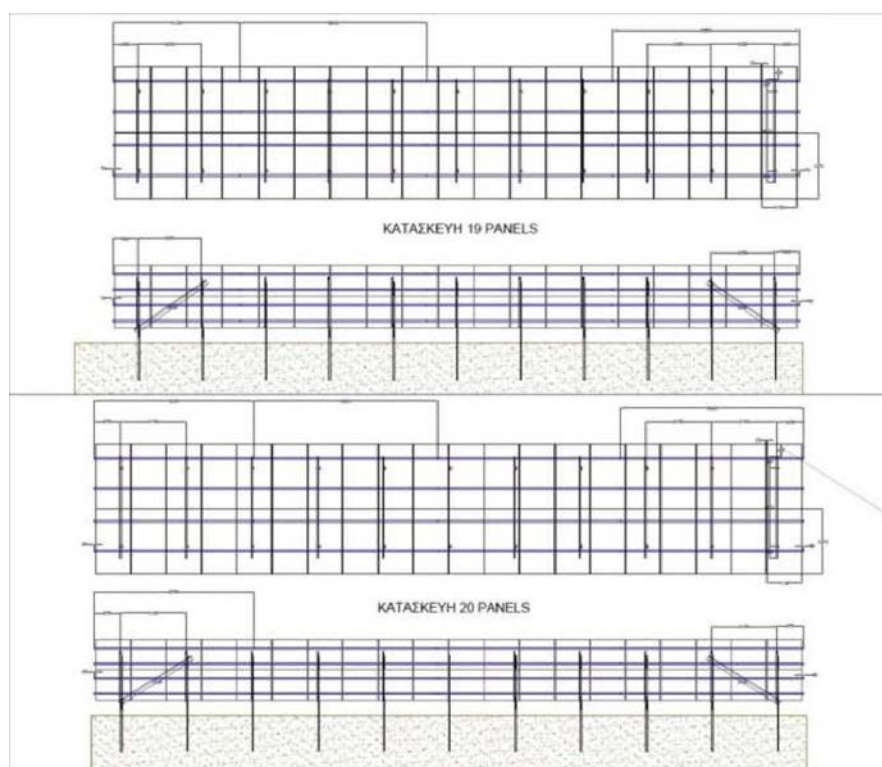


ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΡΙΦΡΑΞΗΣ

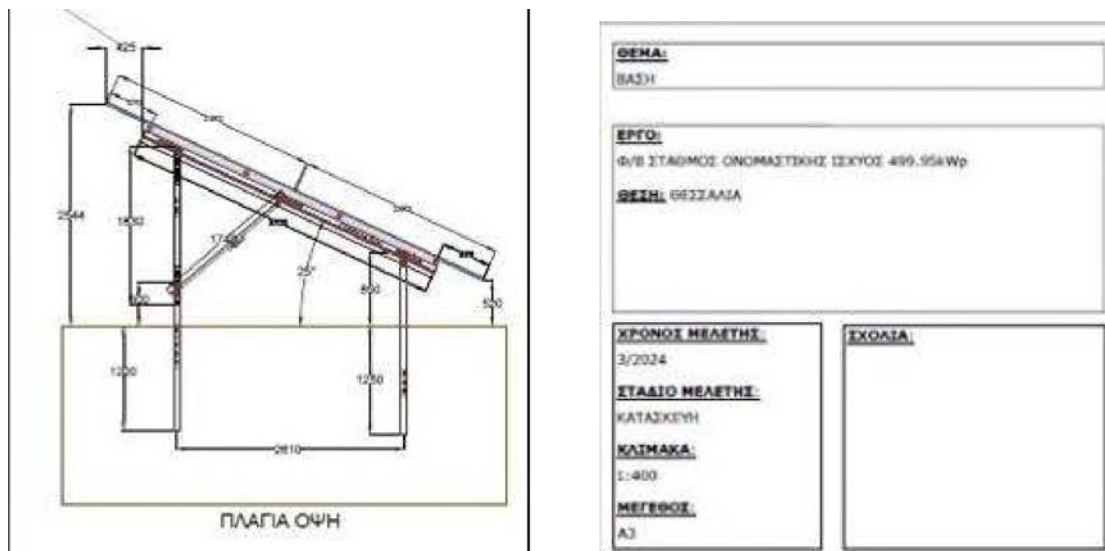
- Οι αγκυρώσεις από σιδηροβελώνες με αποσπώσιμο γαλβανισμένο $\Phi=8$, μήκους επιμήκους 1.1 μέτρα.
- Σιμωμένο σκυμνο No 1-4, διαστάσεις 5,5 X 5,5 cm με πέρα στο πέδιλο, κάτω και γύρω στο μέτρο.
- Αγκυρώσει σκυμνο (ήτοι σιμωτό) στα πεδινά του 50 cm από αγκυρώσεις.
- Τύπος διφασική αντιστοίχιση δύναμη.
- Αντιπυρρίες στις γωνίες καθώς και ενδιάμεσες αντιπυρρίες ερπύστη θεατρικής προς οπισθοποτα.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
826 ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΑ LR7-72HGD 585-620M (605Wp)	
ΙΣΧΥΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ : 499.95 kWp	
ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ: 6 m	
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΕΙΡΩΝ : 3,84 m	
ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΣΤΗΘΙΑΣ	
	Περιγραφή Όριο χωροθέτησης Αριθμηση σειράς Inverter ΦΒ Πλαίσιο 605 Wp
ΘΕΜΑ: ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ-ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ	
ΕΡΓΟ: Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΠΙΣΘΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 499.95kWp ΘΕΣΗ: ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: 3/2024 ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΤΑΚΑ: 1:400 ΜΕΓΕΘΟΣ: A3	ΣΧΟΛΙΑ:

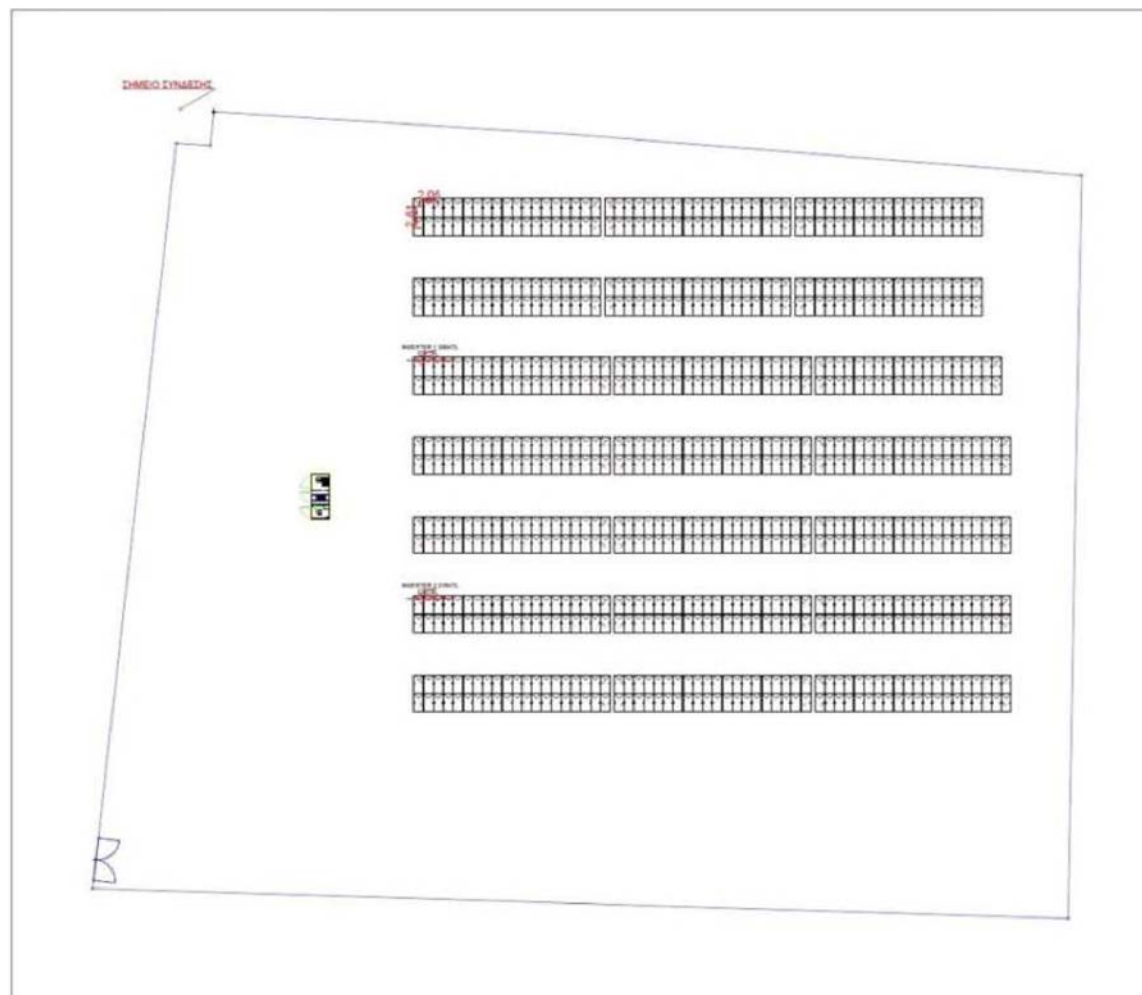
Εικόνα 3.4: Κατασκευαστικές λεπτομέρειες περίφραξης (αριστερά) και υπόμνημα της διαφάνειας «Περίφραξη - Χωροθέτηση» (δεξιά).



Εικόνα 3.5: Απεικόνιση πίσω όψης του μεταλλικού συστήματος στήριξης.



Εικόνα 3.6: Πλαϊνή όψη με μετρήσεις αποστάσεων του μεταλλικού συστήματος στήριξης (αριστερά) και υπόμνημα της διαφάνειας «Βάση στήριξης» (δεξιά).

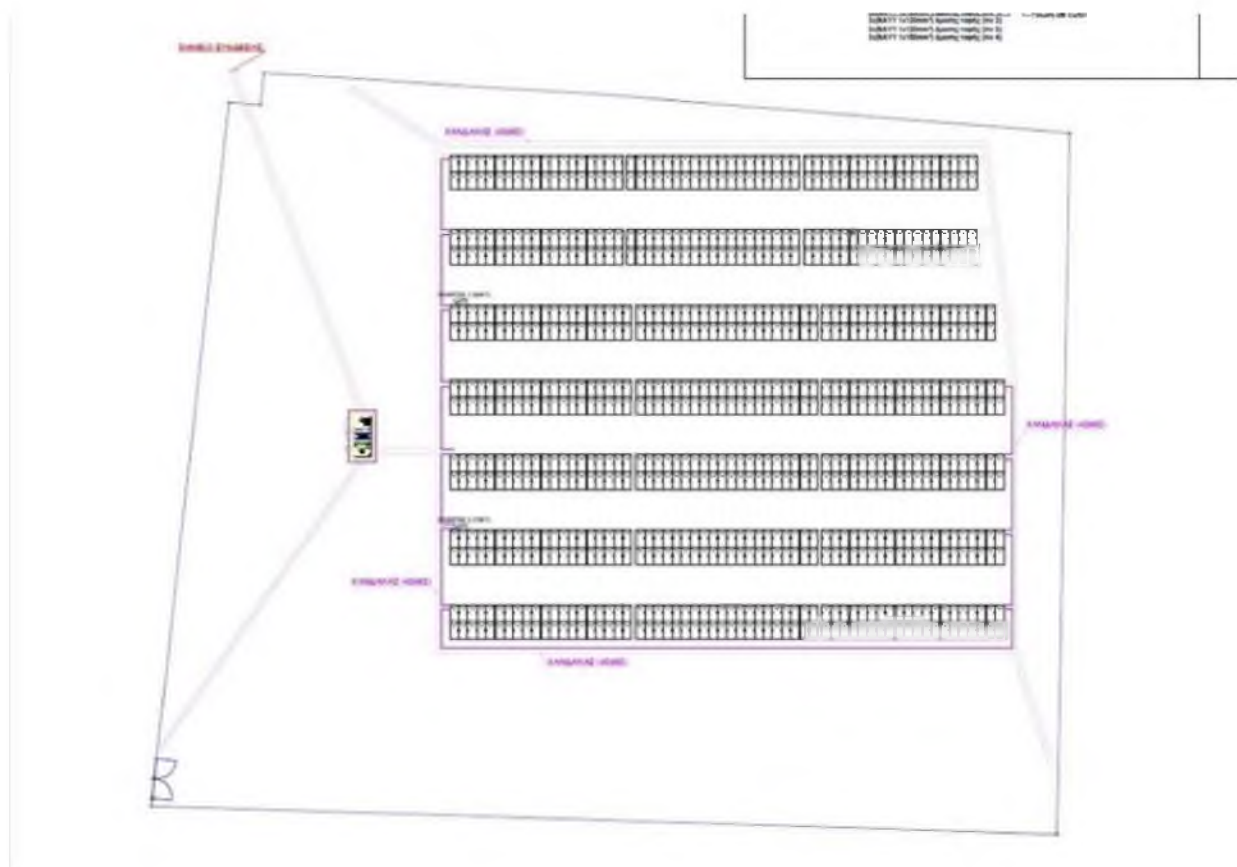


Εικόνα 3.7: Απεικόνιση των σημείων των πασσάλων των τραπεζιών στήριξης.

Στην εικόνα 3.7 απεικονίζεται η περιήφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς, το Σημείο Σύνδεσης και τα σημεία όπου θα τοποθετηθούν οι πάσσαλοι που θα στηρίζουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

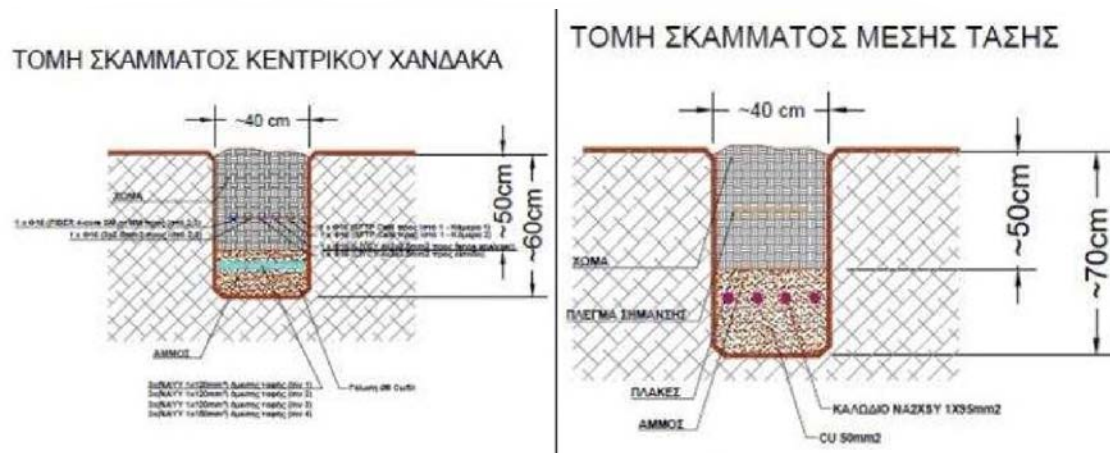
ΠΡΟΜΗΘΕΙΑ ΣΥΓΚΛΑΔΙΩΝ	
	Περιγραφή Inventory Φθ. Πλαστικό 60x 50 Wp Αντικείμενο πρόσδεσης βιβλίου Σημάδι σύνδεσης
GEMA: ΣΤΗΜΕΛΑ ΠΑΣΤΑΛΩΝ	
EPTO: Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 499.95Mw	
BETH: ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
XRONOS MEATHE: 3/2024	EXKOASA:
STATO MEATHE: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
KATMAKA: L:400	
METEBOS: A3	

Εικόνα 3.8: Υπόμνημα της διαφάνειας «Σημεία πασσάλων».



Εικόνα 3.9: Απεικόνιση όδευσης και διατομής των χαντακιών.

Στην εικόνα 3.9 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς, το Σημείο Σύνδεσης και η όδευση των χαντακιών, μέσω των οποίων θα περνάνε τα καλώδια.



Εικόνα 3.10: Τομές σκάμματος κεντρικού χάνδακα και χάνδακα μέσης τάσης.

ΥΠΟΜΝΗΔΙΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	
	ΧΑΝΤΑΚΙΑ (Π.Β.)
	inverter
	ΦΒ Πάnelια 605 Wp
ΘΕΜΑ: ΧΑΝΤΑΚΙΑ	
ΕΡΩΤ. ΑΝ ΕΙΣΤΑΙ ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΨΕΥΔΟΣ 400, 500kVp	
ΒΕΣΗ: ΟΡΕΣΤΑΔΑ	
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: 3/2024	ΣΧΟΛΙΑ:
ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΑΤΑΣΧΕΥΗ	
ΚΑΤΜΑΚΑ: 1:500	
ΜΕΓΕΘΟΣ: Α3	

Εικόνα 3.11: Υπόμνημα της διαφάνειας «Χαντάκια».

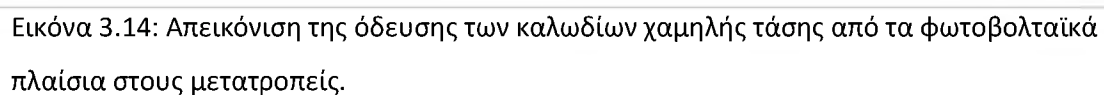


Εικόνα 3.12: Απεικόνιση αρίθμησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων ομαδοποιημένα σε αλυσίδες.

Στην εικόνα 3.12 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και ο αρίθμηση των αλυσίδων, που αποτελούν τις ομάδες των φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Εικόνα 3.13: Υπόμνημα της διαφάνειας αλυσίδες.



Στην εικόνα 3.14 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφίου, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και η όδευση των καλωδίων χαμηλής τάσης (DC) από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς τους μετατροπείς.

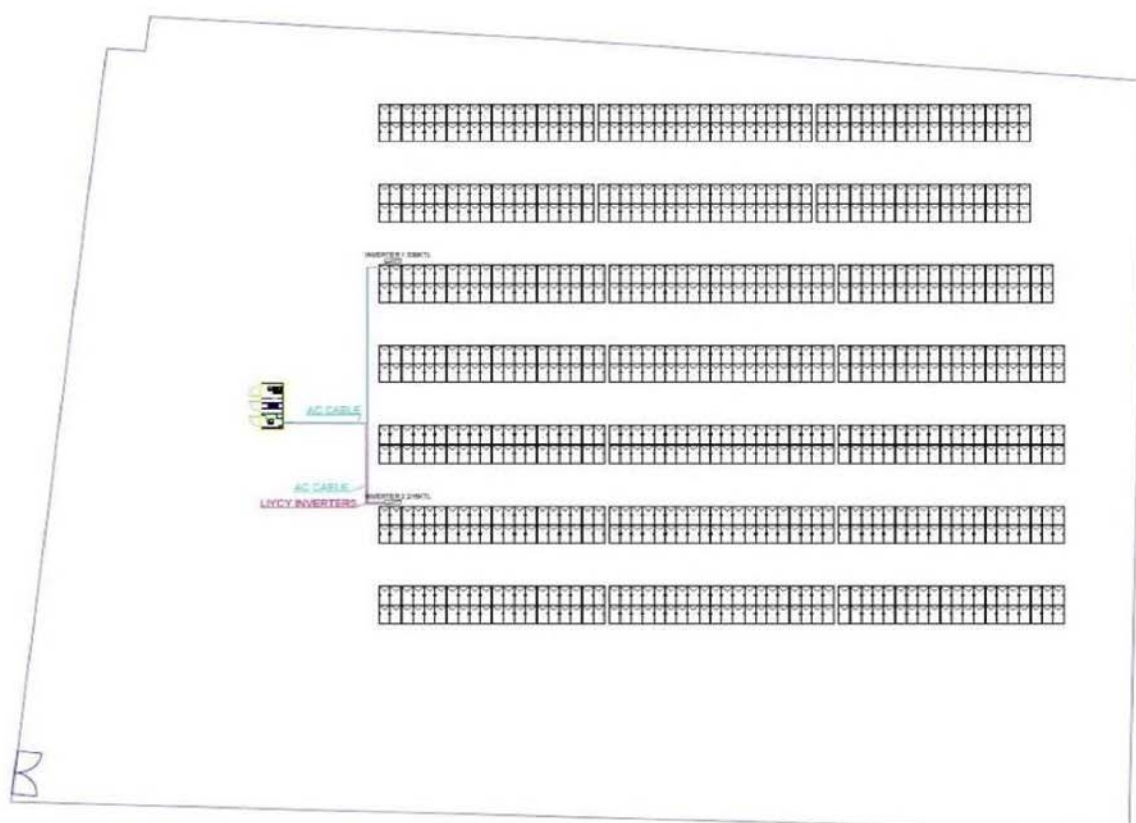
ΣΥΜΒΟΛΙΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	
_____	Περιγραφή
_____	DC cables -
_____	DC cables +
_____	DC cable
	inverter
	ΦΒ Πάκιο 605 Wp

ΟΕΜΑ:
DC CABLES

ΕΡΓΟ:
Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΡΓΑΝΩΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 499,95kWp
ΘΕΣΗ: ΘΕΣΣΑΛΙΑ

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ:	ΕΚΔΟΣΗ:
3/2024	
ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ:	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:	
1:400	
ΜΕΓΕΘΟΣ:	
A3	

Εικόνα 3.15: Υπόμνημα της διαφάνειας «DC Καλώδια».

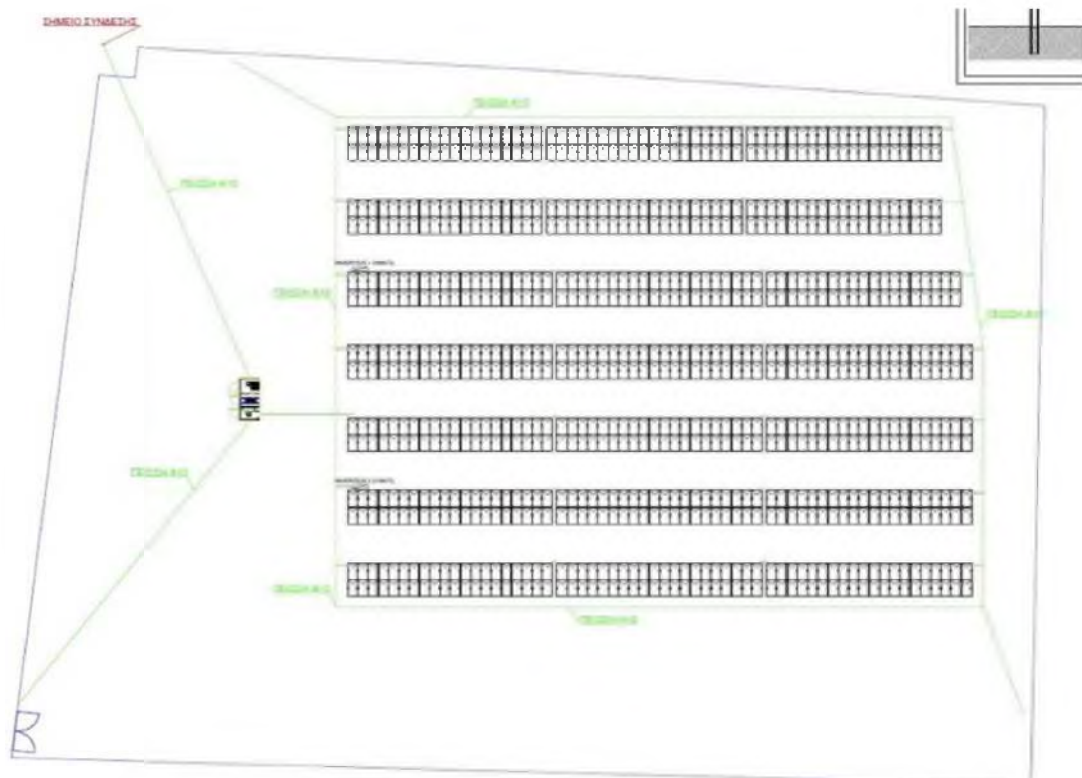


Εικόνα 3.16: Απεικόνιση της όδευσης των καλωδίων επικοινωνίας μεταξύ των μετατροπέων και των μετατροπέων με τον υποσταθμό.

Στην εικόνα 3.16 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και η όδευση των καλωδίων επικοινωνίας μεταξύ των μετατροπέων (AC) και η όδευση των καλωδίων από τους μετατροπείς προς τον υποσταθμό (LIYCY).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΤΕΒΩΣΗΣ	
—	Περιγραφή
—	AC cables NA2XY
—	LIYCY cables
	Inverter
	ΦΒ Πλαίσιο 605 Wp
ΘΕΜΑ: AC CABLES	
ΕΡΓΟ: Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 499,95kWp	
ΘΕΣΗ: ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: 3/2024	ΣΧΟΛΙΑ:
ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
ΚΑΙΜΑΚΑ: 1:400	
ΜΕΓΕΘΟΣ: A3	

Εικόνα 3.17: Υπόμνημα της διαφάνειας «AC καλώδια».

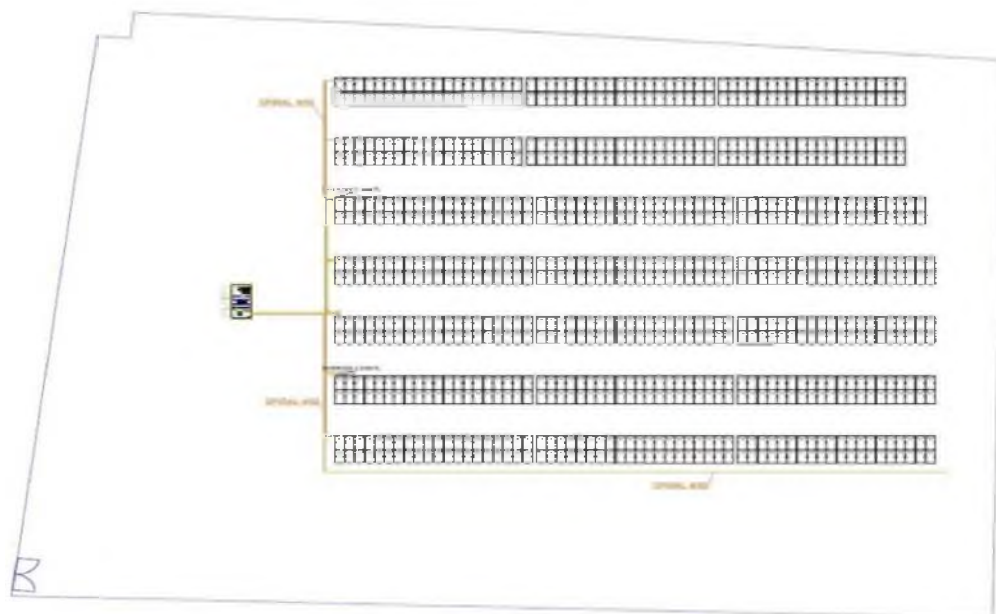


Εικόνα 3.18: Απεικόνιση της όδευσης της γείωσης.

Στην εικόνα 3.18 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς, το Σημείο Σύνδεσης και η όδευση της γείωσης.

ΥΠΟΜΕΤΡΙΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	
	Γείωση Inverter ΦΒ Πλαίσιο 605 Wp Σημείο σύνδεσης
ΣΗΜΑ: ΓΕΙΩΣΗ	
ΕΡΓΟ: Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 499.93kWp ΣΗΜΑ: ΦΩΣΤΑΑΔΑ	
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: 3/2024 ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΛΙΜΑΚΑ: 1:400 ΜΕΓΕΘΟΣ: A3	ΣΧΟΛΙΑ:

Εικόνα 3.19: Υπόμνημα της διαφάνειας «Γείωση».

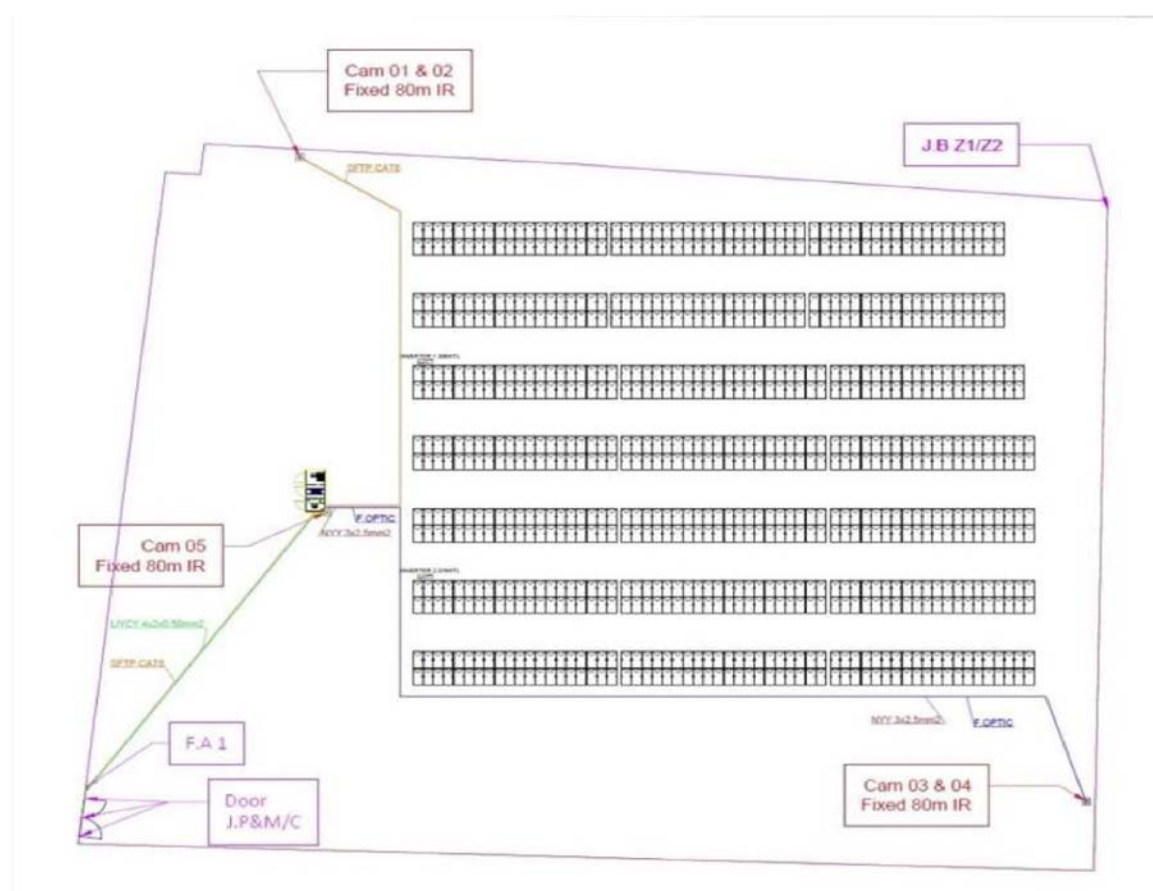


Εικόνα 3.20: Απεικόνιση της όδευσης των σωλήνων που περιέχουν τα καλώδια DC - AC - LIYCY.

Στην εικόνα 3.20 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και η όδευση των σωλήνων (συνήθως Φ50) που περιέχουν τα καλώδια επικοινωνίας DC - AC - LIYCY.

ΥΠΟΜΗΝΙΑ ΣΤΙΒΩΑΝΤΩΝ	
Περίφραξη	Spiral Φ 50
Inverter	ΦΒ Πλαίσιο 605 Wp
ΘΕΜΑ: SPIRALS AC-LIYCY	
ΕΡΓΟ: Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΝΟΜΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΣΣΥΝΟΣ 499,95kWp	
ΘΕΣΗ: ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: 3/2024 ΣΤΑΔΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ: Σ-403 ΜΕΓΕΘΟΣ: Α3	ΕΚΘΕΣΗ:

Εικόνα 3.21: Υπόμνημα της διαφάνειας «Spirals AC - LIYCY».



Εικόνα 3.22: Απεικόνιση των θέσεων των καμερών και της όδευσης των καλωδίων των καμερών.

Στην εικόνα 3.22 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφιού, η πόρτα, η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς, οι θέσεις των καμερών, η θέση του αναλυτή (fence analyzer), οι συναγερμοί της πόρτας (Door J.P. & M/C) και η όδευση των καλωδίων των καμερών, καλώδια οπτικής ίνας (fiber optic) και καλώδια επικοινωνίας (SFTP CAT6, NYU, LIYCY).



Εικόνα 3.23: Υπόμνημα της διαφάνειας «CCTV - Alarm Καλώδια - Κάμερες».

3.4 Μέρимνα για Μελλοντική Προσθήκη έως 10%

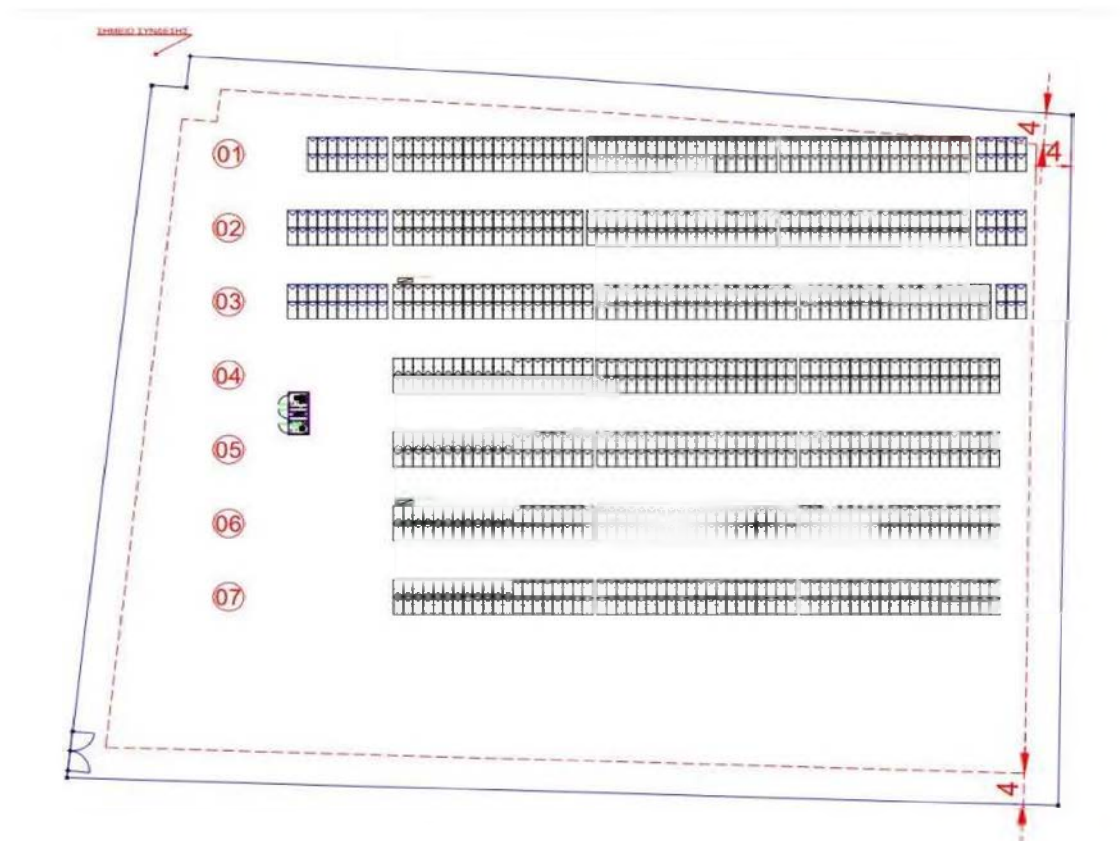
Η μελέτη του έργου ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό της προσθήκης του 10% της αρχικής αδειοδοτημένης ισχύος του έργου, στην περίπτωση μας των 500 kW. Αυτό συμβαίνει ώστε ο πελάτης μας να κερδίσει την παραγόμενη ισχύ μέσα στην ημέρα που θα έχανε, λόγω της μείωσης της συμμόρφωσης στον μόνιμο περιορισμό της μέγιστης εγχεόμενης ισχύος παραγωγής του σταθμού, σε ποσοστό ίσο με 73% της εγκατεστημένης ισχύος του. Στο συγκεκριμένο έργο η μέγιστη εγχεόμενη ισχύς παραγωγής είναι 364,964 kW. Όπως και στην αρχική μελέτη του έργου, πραγματοποιείται η διαδικασία τοποθέτησης των αλυσίδων σε εισόδους MPPT με την βοήθεια του Microsoft Excel όπως φαίνεται στον πίνακα 3.4.

	Μετατροπέας 1: HUAWEI GW330KTL-H3					
MPPT	1	2	3	4	5	6
Αριθμός εισόδων	4	4	4	4	4	4
Πλαίσια/αλυσίδα	23	24	24	24	24	24
Σύνολο πλαισίων	92	96	96	96	96	96
Σύνολο ισχύος (Wr)	55.660	58.080	58.080	58.080	58.080	58.080
	Μετατροπέας 2: HUAWEI GW215KTL-H1					
MPPT	1	2	3			
Αριθμός εισόδων	4	5	5			
Πλαίσια/αλυσίδα	24	24	24			
Σύνολο πλαισίων	96	120	120			
Σύνολο ισχύος (Wr)	58.080	72.600	72.600			
Συνολική ισχύς Μετατροπέα 1: (Wr)	346.060					
Συνολική ισχύς Μετατροπέα 2: (Wr)	203.280					
Συνολικός Αριθμός Φ/Β Πλαισίων	908					
Συνολική ισχύς Πάρκου (Wr)	549.340					

Πίνακας 3.4: Υπολογιστικό φύλλο Microsoft Excel - Υπολογισμοί για την κατανομή των αλυσίδων για συνολική εγκατεστημένη ισχύ 550 kW (10% προσθήκη).

Επόμενο βήμα είναι η προσθήκη των επιπλέον φωτοβολταϊκών πανέλων στο σχέδιο και η σχεδίαση μερικών ακόμα καλωδίων που χρειάζονται για την σύνδεση τους με το ήδη υπάρχον σύστημα. Το σχέδιο με την τελική χωροθέτηση απεικονίζεται στην εικόνα 3.24.

Στην εικόνα 3.24 απεικονίζεται η περίφραξη του χωραφίου με μπλε χρώμα, η απόσταση ασφαλείας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταξύ αυτών και της περίφραξης (4m) και η πόρτα. Επίσης, απεικονίζεται η κάτοψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων όπως αυτά τοποθετήθηκαν στο έργο με μαύρο χρώμα και με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της προσθήκης. Τέλος, φαίνεται η αρίθμηση των σειρών των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ο υποσταθμός, οι μετατροπείς και το Σημείο Σύνδεσης της μέσης τάσης με το δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.



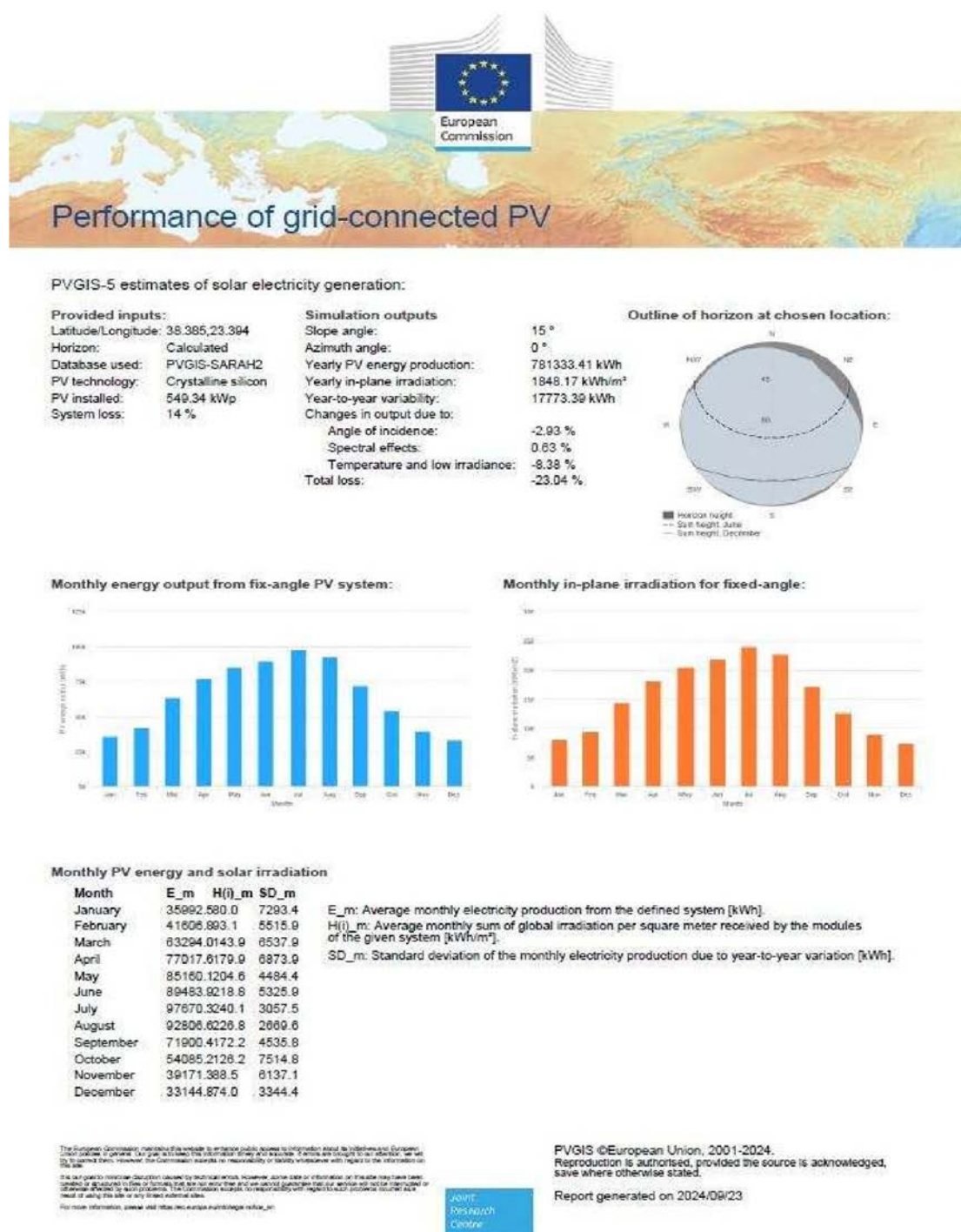
Εικόνα 3.24: Απεικόνιση χωροθέτησης και περιφράξης του Φ/Β έργου με την προσθήκη 10%.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
908 ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΑ LR7-72HGD 585-620M (605Wp)	
ΙΣΧΥΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ : 549.340 kWp	
ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ: 6 m	
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΕΙΡΩΝ : 3,84 m	
ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	
— Περιφραγή — Όριο χωροθέτησης Αριθμηση σειρών Inverter ΦΒ Πλαίσια 605 Wp ΦΒ Πλαίσια 605 Wp προσθήκης Σημείο σύνδεσης	
ΘΕΜΑ: ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ-ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ	
ΕΡΓΟ: Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 549.340 kWp	
ΘΕΣΗ: ΘΕΣΣΑΛΙΑ	
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: 3/2024	ΣΧΟΛΙΑ:
ΣΤΑΣΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ: 1:400	
ΜΕΓΕΘΟΣ: A3	

Εικόνα 3.25: Υπόμνημα της διαφάνειας «Περιφράξη - Χωροθέτηση».

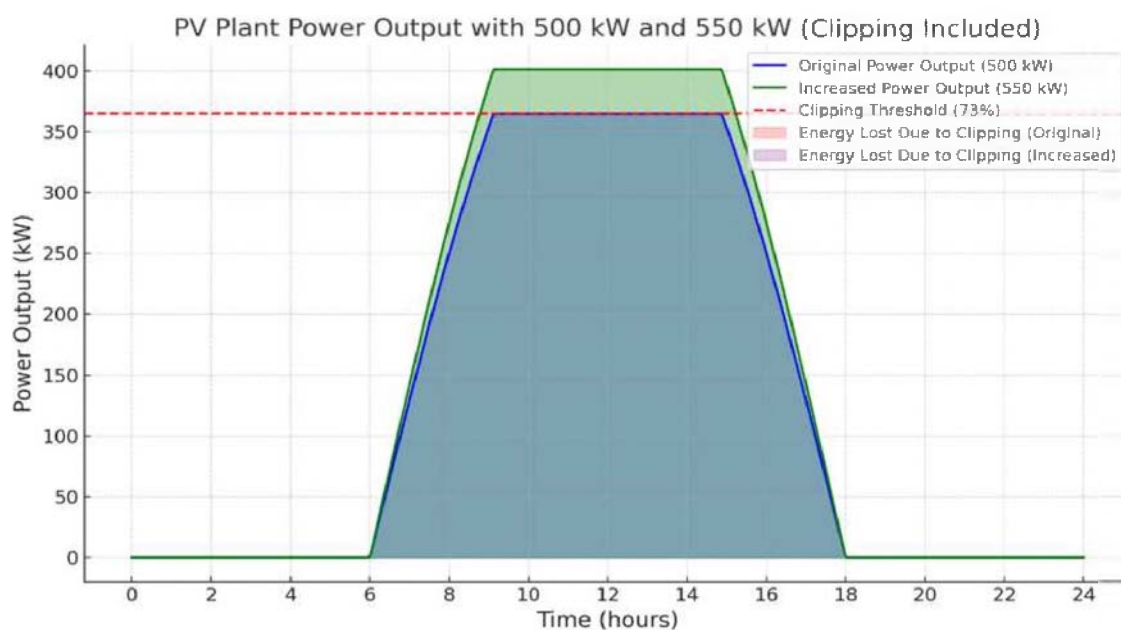
Όπως και στην αρχική μελέτη του έργου, έτσι και στην μελέτη της προσθήκης του 10%, χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής του

φωτοβολταϊκού πάρκου για 549,340 kWp και με 14% απώλεια συστήματος θα είναι 781333.41 kWh. Όλα τα δεδομένα που προέκυψαν με το συγκεκριμένο υπολογιστικό πρόγραμμα φαίνονται στην εικόνα 3.26.



Εικόνα 3.26: Δεδομένα υπολογισμού παραγωγής του φωτοβολταϊκού πάρκου με το πρόγραμμα PVGIS.

Αποτέλεσμα της προσθήκης του 10% είναι η επιπρόσθετη ποσότητα ενέργειας που εγχέεται σε καθημερινή βάση συνολικά στο δίκτυο από το έργο. Η ποσότητα αυτή μπορεί να προσδιοριστεί ως η διαφορά των εμβαδών της πράσινης (550 kW) και της μπλε (500 kW) καμπύλης στην εικόνα 3.27, στην οποία απεικονίζεται η παραγόμενη ισχύς του πάρκου κατά τη διάρκεια μιας μέρας.



Εικόνα 3.27: Παραγόμενη ισχύς κατά τη διάρκεια μιας μέρας, πριν (μπλε) και μετά (πράσινο) την 10% προσαύξηση εγκατεστημένης ισχύος.

3.5 Τελική Εγκατάσταση & Ενεργοποίηση του Έργου

Αφού γίνει η εγκατάσταση όλου του εξοπλισμού στο φωτοβολταϊκό πάρκο, αυτό θα είναι έτοιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το φωτοβολταϊκό πάρκο για να ξεκινήσει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η ενεργοποίηση του. Πιο συγκεκριμένα για τη σύνδεση του με το δίκτυο ηλεκτροδότησης και την έναρξη παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η δήλωση ετοιμότητας και έπειτα η Αίτηση Ενεργοποίησης προς τον ΔΕΔΔΗΕ.

Για την Δήλωση Ετοιμότητας προς τον ΔΕΔΔΗΕ θα πρέπει να προσκομιστεί ένα σύνολο εγγράφων, τα οποία είναι η Σύμβαση Λειτουργικής Ενίσχυσης, το Πολεοδομικό Παραστατικό (έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας, άδεια δόμησης) και η Σύμβαση Σύνδεσης με τον ΔΕΔΔΗΕ. Επίσης, απαιτείται το αποδεικτικό καταβολής

του συμβατικού τιμήματος της Σύμβασης Σύνδεσης με τον ΔΕΔΔΗΕ και η δήλωση/βεβαίωση ολοκλήρωσης των εργασιών εγκατάστασης του σταθμού σφραγισμένη και ηλεκτρονικά υπογεγραμμένη από μηχανικό κατάλληλης ειδικότητας. Τέλος, η έκθεση αυτοψίας είναι απαραίτητη αναφορικά με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης του σταθμού σφραγισμένη και ηλεκτρονικά υπογεγραμμένη από μηχανικό κατάλληλης ειδικότητας. Τα συγκεκριμένα έντυπα κατατίθενται στην ηλεκτρονική πλατφόρμα του ΔΕΔΔΗΕ και μόλις εγκριθεί το αίτημα από τον υπάλληλο του ΔΕΔΔΗΕ, εκδίδεται η Βεβαίωση Δήλωσης Ετοιμότητας, η οποία υποδηλώνει πως το φωτοβολταϊκό πάρκο είναι έτοιμο για Αίτηση Ενεργοποίησης και στη συνέχεια για ηλεκτρίση.

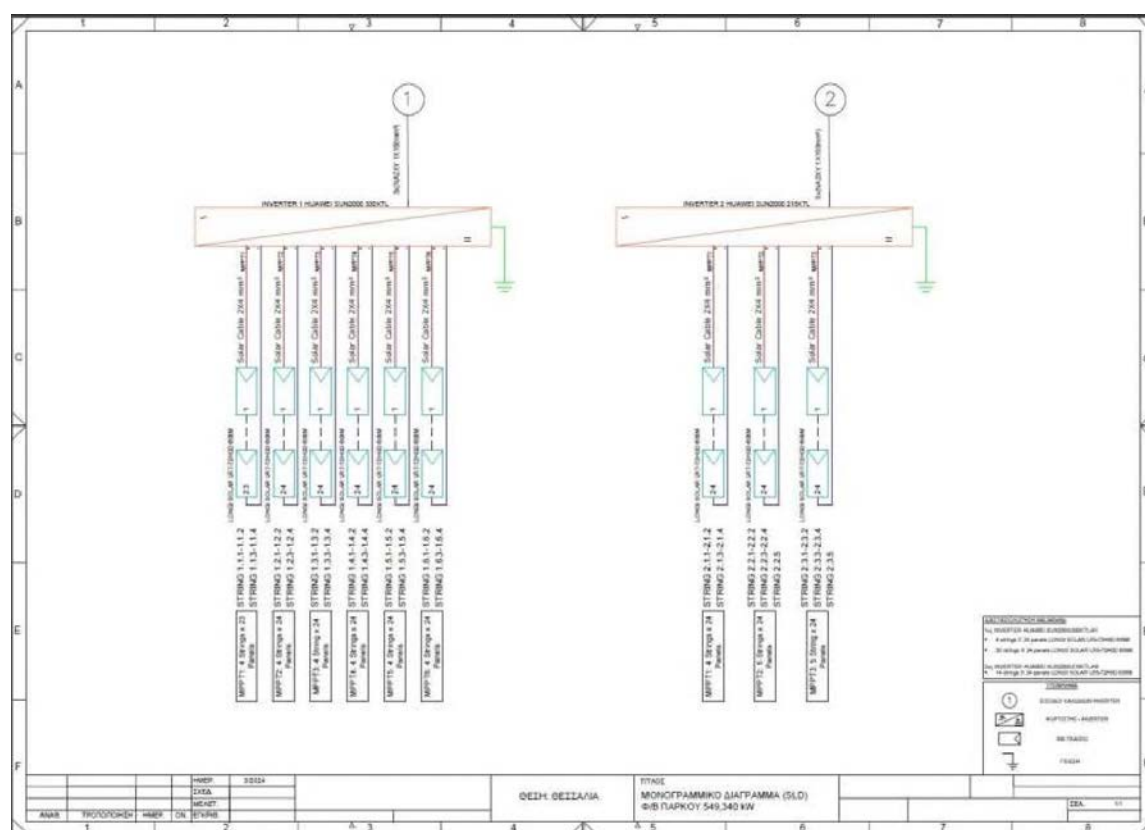
Για την Αίτηση Ενεργοποίησης προς τον ΔΕΔΔΗΕ θα πρέπει αντίστοιχα να προσκομιστούν έγγραφα, τα οποία είναι η Σύμβαση Προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας με τον πάροχο ενέργειας, η βεβαίωση δημοτικών τελών από τον οικείο Δήμο, η υπογραφή του εντύπου «Αίτηση Ενεργοποίησης» και η έκδοση τριών Υπεύθυνων Δηλώσεων του νόμου ν.1599/1986. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η σύνταξη της Υπεύθυνης Δήλωσης Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για την εγκατάσταση και του Παραρτήματος 1 - Τεχνικά Στοιχεία Εξοπλισμού. Τέλος χρειάζονται τα πιστοποιητικά και τα τεχνικά φυλλάδια των μονάδων παραγωγής του σταθμού (πάνελ, μετατροπείς).

Το φωτοβολταϊκό πάρκο είτε συνδεθεί στη Χαμηλή Τάση (παραγωγή μέχρι 100 kW), είτε στη Μέση Τάση (παραγωγή από 100 kW και πάνω), απαιτείται η δημιουργία μονογραμμικού ηλεκτρολογικού σχεδίου της εγκατάστασης (Single Line Diagram). Όπως και η τεχνική περιγραφή όπου αναλύεται ο τρόπος αποφυγής του φαινομένου της νησιδοποίησης και η αντίστοιχη διάταξη προστασίας που επενεργεί στον αυτόματο διακόπτη της διασύνδεσης (ΑΔΔ) του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Στην περίπτωση σύνδεσης του φωτοβολταϊκού πάρκου στη Μέση Τάση, χρειάζονται επιπλέον μία Υπεύθυνη Δήλωση του ν.1599/1986 ηλεκτρονικά υπογεγραμμένη από τον Ηλεκτρολόγο Εγκαταστάτη, η τεχνική περιγραφή του φωτοβολταϊκού πάρκου και του υποσταθμού και τα κατασκευαστικά σχέδια του έργου με την κάτοψη του φωτοβολταϊκού πάρκου και του υποσταθμού. Επίσης είναι

απαραίτητη η προσκόμιση του διαγράμματος «χρόνου - έντασης ρεύματος» του μέσου προστασίας του υποσταθμού ως προς το Δίκτυο του ΔΕΔΔΗΕ.

Μετά την προσκόμιση όλων των προαναφερθέντων εγγράφων και την υποβολή του Αιτήματος Ενεργοποίησης στην πλατφόρμα του ΔΕΔΔΗΕ, το προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ ελέγχει την ορθότητα των εγγράφων και εάν είναι σωστά, προχωράει στον κανονισμό της ημερομηνίας σύνδεσης του φωτοβολταϊκού έργου με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Την ημέρα της ηλεκτρίσης, οφείλουν να παρευρίσκονται στο χώρο του φωτοβολταϊκού έργου ο ηλεκτρολόγος και το προσωπικό του ΔΕΔΔΗΕ, καθώς και ο υπεύθυνος του έργου και ο ηλεκτρολόγος που επέβλεψε τις ηλεκτρολογικές εργασίες κατά την κατασκευή του φωτοβολταϊκού έργου. Όταν το έργο συνδεθεί επιτυχώς στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ο ΔΕΔΔΗΕ θα στείλει μια Βεβαίωση Ηλέκτρισης στον πελάτη, με την οποία θα βεβαιώνει την επιτυχή σύνδεση του και την αρχή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.29: Μονογραμμικό Ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης με την προσθήκη του 10%.

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και Σχολιασμός

Στο κεφάλαιο αυτό, σχολιάζονται οι προβλέψεις και οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν εκ των προτέρων, ώστε το Φ/Β πάρκο να μπορεί να επεκταθεί τόσο σε περίπτωση μελλοντικής προσαύξησης της συνολικής του ισχύος, όσο και να μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός ευρύτερου και πιο ολοκληρωμένου συστήματος. Με αφορμή τα παραπάνω γίνεται μια σύντομη επισκόπηση αναπτυσσόμενων τεχνολογιών και κατά περίπτωση το πως θα μπορούσαν δυνητικά να ενσωματωθούν στην λειτουργία του Φ/Β πάρκου. Ονοματίζονται συνοπτικά οι προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούνται ώστε να μειώνονται κατά το δυνατόν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω της κατασκευής ενός έργου Φ/Β. Το κεφάλαιο κλείνει με αναφορά στα βασικά σημεία ενδιαφέροντος, περιγράφοντας τα μέτρα που μπορεί και οφείλει να λάβει η πολιτεία ώστε να ενισχύσει την περαιτέρω ενσωμάτωση «πράσινης ενέργειας» στο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος.

4.1 Βασικές Απαιτήσεις και Προβλέψεις

Οι βασικές προβλέψεις που οφείλει να λάβει ένας μηχανικός επιλέγονται με γνώμονα την μελλοντική ευελιξία και μακροβιότητα του Φ/Β πάρκου. Πρώτο και σημαντικότερο είναι η κάλυψη των απαιτήσεων σε χώρο (εμβαδόν) του Φ/Β πάρκου. Συγκεκριμένα, αυτή οφείλει να γίνεται με τρόπο τέτοιο, ώστε να εξοικονομείται όσο το δυνατόν περισσότερη έκταση η οποία μάλιστα να είναι εκμεταλλεύσιμη σε περίπτωση που προκύψει απαίτηση για μελλοντική προσθήκη εγκατεστημένης ισχύος.

Δεύτερη μέριμνα που πρέπει να ληφθεί, είναι η επιλογή του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερα φορτία και τιμές ρεύματος και τάσης λειτουργίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι μετατροπείς της εγκατάστασης. Αν η φαινόμενη ισχύς τους επιλεγεί ώστε συνολικά να είναι πολύ κοντά στην εγκατεστημένη ισχύ του πάρκου, θα πρέπει να γίνει προμήθεια περαιτέρω μονάδων ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες της παραγωγής. Το

ίδιο ισχύει αν οι συνολικές εισοδοι MPPT είναι λιγότερες από τον συνολικό αριθμό των αλυσίδων.

Τρίτον, η ευελιξία και η δυνατότητα ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών είναι κάτι που πρέπει να απασχολεί σοβαρά τους σημερινούς μηχανικούς. Ακόμα και να υπάρχει επάρκεια σε χώρο, η συμβατότητα με μελλοντικές προσθήκες επιδέχεται επιπλέον μελέτη. Τα Φ/Β πλαίσια νέας τεχνολογίας πιθανόν να απαιτούν ξεχωριστά υποσυστήματα, όπως μετατροπείς, οι οποίοι θα πρέπει να βρουν ελεύθερο χώρο και κατάλληλες υποδοχές στο υπάρχον έργο. Τέλος, οφείλει να εξετάζεται και να προβλέπεται η δυνατότητα σύνδεσης του έργου σε ένα ευρύτερο υποσύστημα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, στο οποίο δύνανται να συμμετέχουν διαφορετικές πηγές ενέργειας και ακόμα και συστήματα αποθήκευσης. Η νέα αυτή οντότητα που κατά τα φαινόμενα έρχεται να κυριαρχήσει στον τομέα της ενέργειας είναι τα «υβριδικά πάρκα».

Υβριδικά Φ/Β Πάρκα:

Ο όρος «υβριδικά Φ/Β συστήματα» αναφέρεται γενικότερα στον συνδυασμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β με την ταυτόχρονη παραγωγή από ακόμα μία ή περισσότερες πηγές ή/και την δυνατότητα αποθήκευσης της (π.χ. σε μπαταρίες). Τα παραπάνω συνδέονται με τρόπο τέτοιο ώστε να αποτελούν ένα κοινό σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα κερδίζουν διαρκώς σε ζήτηση καθώς προσφέρουν λύση σε αρκετά προβλήματα που συνοδεύουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Πρώτον, στην στοχαστικότητα η οποία χαρακτηρίζει τις ΑΠΕ, καθώς αυτές εξαρτώνται από μετεωρολογικά φαινόμενα όπως η ένταση του αέρα, η θερμοκρασία και η ηλιοφάνεια. Η ιδιότητα αυτή εισάγει αβεβαιότητα στο κατά πόσο αυτές θα δύνανται να καλύπτουν την απαιτούμενη ζήτηση. Η ποικιλία στις διαθέσιμες πηγές προσφέρει πάντα περισσότερη ασφάλεια αποτρέποντας ένα υβριδικό σύστημα να τεθεί εκτός σύνδεσης σε περίπτωση που κάποια από αυτές εκλείψει.

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των υβριδικών συστημάτων μπορεί να αποτελέσει και η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Πολλά ευφάνταστα συστήματα και τεχνικές αποθήκευσης έχουν προταθεί κατά καιρούς. Κάποια από

αυτά εκμεταλλεύονται την υψηλή θερμοχωρητικότητα ορισμένων υλικών ώστε να αποθηκεύουν θερμική ενέργεια, ενώ άλλα ενσωματώνουν διατάξεις οι οποίες μπορούν να αποθηκεύουν δυναμική ενέργεια. Εκτενής αναφορά σε μεθόδους και συστήματα γίνεται στα [5], [6]. Η πιο αποτελεσματική και εύχρηστη μορφή αποθήκευσης έως και σήμερα παραμένουν οι συστοιχίες συσσωρευτών (μπαταρίες), οι οποίες συζητήθηκαν παραπάνω. Πέραν του προφανούς πλεονεκτήματος από την χρήση τους που είναι η πιο αποτελεσματική και αποδοτική εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας, αυτές έχουν και πολύ ευεργετικές επιρροές στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω της εκτεταμένης αντικατάστασης της συμβατικής παραγωγής ισχύος με ΑΠΕ, η ευστάθεια του δικτύου έχει σε μεγάλο βαθμό επηρεαστεί αρνητικά. Ως αιτίες έχουν αναγνωριστεί τόσο η στοχαστικότητα των ΑΠΕ, όσο και η μείωση της συνολικής αδράνειας του δικτύου, η οποία είναι συνέπεια της αντικατάστασης των συμβατικών γεννητριών με τα μαζικά περιστρεφόμενα μέρη από πηγές που βασίζονται σε μετατροπείς. Σαν αποτέλεσμα, σε περίπτωση σφάλματος δικτύου η παρέκκλιση από τα ονομαστικά μεγέθη αυτού (κατά κύριο λόγο εξετάζονται τάση και συχνότητα τα οποία έχουν αυστηρά καθορισμένες τιμές) συμβαίνει πολύ απότομα δίνοντας υπερβολικά λίγο χρόνο αντίδρασης σε ρυθμιστικές διατάξεις ελέγχου ώστε να επενεργήσουν. Λύση στο πρόβλημα αυτό φαίνεται να δίνουν οι μπαταρίες, οι οποίες μπορούν να δεχθούν ταχείς χειρισμούς και να συμβάλλουν θετικά στην αντιμετώπιση απρόβλεπτων περιστατικών.

Τέλος, στη σύσταση του υβριδικού συστήματος μπορεί να προστεθεί και μια συμβατική πηγή ενέργειας, με όλα τα οφέλη που την συνοδεύουν (αξιοπιστία, ταχύτητα κ.λπ.). Η πιο συνήθης πρακτική είναι η προσθήκη ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (HZ). Αυτά συνήθως αποτελούνται από 2 κύρια μέρη: τον κινητήρα εσωτερικής καύσης και τον εναλλάκτη. Τα περιστρεφόμενα μέρη του κινητήρα κινούνται χάρη στην καύση ενός ορυκτού καυσίμου. Χάρη στην σύζευξη με αυτά τα μέρη, ο εναλλάκτης παράγει ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, αποτελώντας ουσιαστικά μια ηλεκτρική γεννήτρια. Η γεννήτρια του HZ μπορεί να δρα επικουρικά επί των ΑΠΕ του συστήματος, καλύπτοντας τυχόν ελλείψεις ενέργειας, ενώ η λειτουργία της μπορεί να είναι είτε συνεχής είτε εφεδρική.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο συνδυασμός των παραπάνω τεχνολογιών δεν είναι τυχαίος, αλλά εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Μεταξύ των οποίων η τοποθεσία, ο τρόπος σύνδεσης και τα φορτία που τροφοδοτεί. Επίσης σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και τα μετεωρολογικά φαινόμενα της περιοχής, τα οποία επηρεάζουν άμεσα την λειτουργία των ΑΠΕ. Σε κάθε περίπτωση, πριν την κατασκευή του υβριδικού συστήματος πρέπει να συνταχθεί οικονομοτεχνική μελέτη η οποία θα προσδιορίσει με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Με αφορμή την παρούσα εργασία, μπορούμε να σκεφτούμε το ποιες θα μπορούσαν να είναι προβλέψεις σε ένα υπάρχον Φ/Β πάρκο, ώστε στο μέλλον αυτό να μπορεί να ενταχθεί σε ένα υβριδικό σύστημα. Είναι μη ρεαλιστικό να υποθέσουμε πως άλλου είδους ΑΠΕ ή μπαταρίες θα μπορούσαν να κατασκευαστούν στον ίδιο χώρο, καθώς πρόκειται για αρκετά ογκώδεις κατασκευές. Ωστόσο, οι οδεύσεις των απαραίτητων καλωδίων και οι θέσεις του σχετικού εξοπλισμού εντός των υποσταθμών του Φ/Β πάρκου είναι αρκετά κοστοβόρες και είναι καλή πρακτική να συνυπολογίζονται εκ των προτέρων τόσο οικονομικά όσο και χωροθετικά.

Τάσεις στην τεχνολογία ηλιακών κυττάρων - Οργανικά Φ/Β:

Μέχρι και σήμερα η συντριπτική πλειονότητα των Φ/Β πλαίσιων που εγκαθίσταται, κατασκευάζεται κατά το πρότυπο της λεγόμενης «πρώτης γενιάς» ηλιακών κυττάρων. [7] Αυτή συνίσταται στους κρυστάλλους πυριτίου, οι οποίοι συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 2. Ο λόγος είναι ότι διατηρούν τα πρωτεία σε ότι αφορά την αποδοτικότητά τους, καθώς με την πάροδο των χρόνων η σχετική έρευνα και ανάπτυξη έχει καταφέρει να την ωθήσει σε τιμές πλησίον του 25%. Τα πλαίσια αυτά ωστόσο συνοδεύονται από σοβαρά μειονεκτήματα, όπως υψηλό κόστος παραγωγής και ραγδαία πτώση της αποδοτικότητάς τους με αύξηση της θερμοκρασίας.

Κάποια μεταξύ των προβλημάτων αυτών ήρθαν να λύσουν τα ηλιακά κύτταρα «δεύτερης γενιάς». Κατασκευασμένα από λεπτές ταινίες υλικών όπως το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), το CIGS (αποτελούμενο από μείγμα χαλκού, ινδίου, γαλλίου και σεληνίου) ή το άμορφο πυρίτιο (a-Si), είναι λεπτότερα, χρησιμοποιούν λιγότερη πρώτη ύλη και είναι πιο ευέλικτα και ελαφριά. Παρόλο που το κόστος παραγωγής τους είναι μικρότερο και η ζήτηση τους είναι αυξανόμενη καθώς

αντικαθιστούν σε αρκετές εφαρμογές τα κλασικά Φ/Β πλαίσια, η αποδοτικότητά τους παραμένει μικρότερη (10-15%).

Τα ηλιακά κύτταρα «τρίτης γενιάς», είναι στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος και της ερευνητικής προσπάθειας, καθώς αξιοποιούν πρώτες ύλες που είναι σημαντικά φθηνότερες από αυτές των κυττάρων 1ης και 2ης γενιάς. Φέρουν επομένως την δυνατότητα να μειώσουν δραστικά το κόστος της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, φαίνεται να μπορούν δυνητικά να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση, καθώς έχουν εμφανιστεί εφαρμογές στις οποίες, από την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια. [8],[9] Μεταξύ των υλικών που έχουν μελετηθεί και αξιοποιηθεί για την κατασκευή τους είναι ο περοβσκίτης, οι νανοκρύσταλλοι αλλά και τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα που περιέχουν κάποια έγχρωμη οργανική ουσία (Dye-sensitized ηλιακά κύτταρα), τα οποία έρχονται σε επαφή με μια ημιαγώγιμη πλάκα.

Φωτοβολταϊκά που ενσωματώνουν την τελευταία τεχνική έχουν λάβει το όνομα «οργανικά φωτοβολταϊκά». Χαρακτηριστικό παράδειγμα - το οποίο μάλιστα αντλείται από το φυσικό φαινόμενο της φωτοσύνθεσης, όπως αυτή γίνεται από τα φυτά - είναι η χρήση διαλύματος χλωροφύλλης σε συνδυασμό με ημιαγωγό πλάκα TiO_2 . Δεχόμενα ηλιακή ακτινοβολία, ηλεκτρόνια του οργανικού μορίου της χλωροφύλλης διεγείρονται σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη. Έτσι ξεπερνούν το όριο της ζώνης αγωγιμότητας του ημιαγωγού και μεταπηδούν σε αυτή, περνώντας στο αρνητικό ηλεκτρόδιο της διάταξης. Το ηλεκτρικό κύκλωμα ολοκληρώνεται με την μεταφορά φορτίου από το αρνητικό ηλεκτρόδιο στα μόρια που έχασαν ηλεκτρόνιο, από τα ιόντα του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Η παραπάνω διάταξη υλοποιήθηκε το 1961 από τον Melvin Calvin.

Ωστόσο ο όρος οργανικά Φ/Β επεκτείνεται σε κάθε εφαρμογή που ηλιακού κυττάρου που μετατρέπει ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική χρησιμοποιώντας οργανικά υλικά, όπως πολυμερή αλλά και μικρομόρια. Αυτά τυπικά δομούνται από πολλαπλά στρώματα, ένα εκ των οποίων είναι στρώμα οργανικής ουσίας που βρίσκεται ενδιάμεσα από δύο ηλεκτρόδια. Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο μέσω της κίνησης ηλεκτρονίων εντός της οργανικής ουσίας.

4.2 Αναγκαία Μέτρα

Είναι αυτονόητο ότι όταν είναι καθορισμένη η ισχύς και υπάρχει ευχέρεια σε ό,τι αφορά τη διάθεση του χώρου, ο εξοπλισμός τοποθετείται με τον βέλτιστο τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη τυχόν στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου τα οποία ίσως αποκλείσουν διάφορες υπο-περιοχές του διαθέσιμου αγροτεμαχίου (ή στην γενικότερη περίπτωση της επιφάνειας στην οποία θα κατασκευαστεί το φωτοβολταϊκό πάρκο). Ωστόσο, τα Φ/Β είναι σε μεγάλη κλίμακα μια τεχνολογία που απαιτεί δυσανάλογες εκτάσεις γης ώστε να εγκατασταθεί. Οι φωνές που διαμαρτύρονται με επιχείρημα την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος και την οπτική υποβάθμιση της περιοχής εγκατάστασης όλο και πληθαίνουν. Παράλληλα, στο τέλος της ζωής τους, η οποία μπορεί να φτάσει ως και τα 30 χρόνια, τα πάρκα αφήνουν πίσω μια «νεκρή» μάζα υλικών η απομάκρυνση της οποίας εγείρει προβληματισμούς σχετικά με το κατά πόσο συνιστούν μια λύση φιλική προς το περιβάλλον.

Η διεθνής επιστημονική κοινότητα ωστόσο έχει αποφανθεί ότι προκειμένου να αποφευχθούν οι δυσοίωνες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες απειλούν να πλήξουν τον πλανήτη μας στο κοντινό μέλλον, κλειδί αποτελεί η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί δίχως την επένδυση και την περαιτέρω ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Στον αντίποδα, δεκάδες εκατομμύρια μετρικοί τόνοι αποσυνδεδεμένων ηλιακών πάνελ προβλέπεται να συσσωρευτούν ως το 2050. [10] Παράλληλα, ένας μεγάλος όγκος πολύτιμων στοιχείων και υλικών τα οποία εμπεριέχονται στα πάνελ, χάνεται και η παραγωγή τους συχνά είναι κοστοβόρα και επικίνδυνη.

Γίνεται φανερό ότι είναι επιτακτική η ανάγκη ανακύκλωσης όσο το δυνατόν μεγαλύτερου μέρους των Φ/Β που τίθενται εκτός λειτουργίας. Στο πλήθος των υλικών που τα αποτελούν συγκαταλέγονται μάζες πυριτίου, μεταλλικές ράβδοι, αλουμινένια πλαίσια και πλαστικά καλύμματα. Πολλά μεταξύ αυτών μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε συμβατικές μονάδες ανακύκλωσης. Ωστόσο, λόγω απουσίας ειδικευμένων μονάδων και προσωπικού

εφοδιασμένου με τον κατάλληλο εξοπλισμό, η διαδικασία είναι χαμηλής αποδοτικότητας και συχνά οικονομικά ασύμφορη.

Οι μέθοδοι ανακύκλωσης μπορούν να διακριθούν σε 2 κατηγορίες. Ανακαίνιση και επαναλειτουργία και εξαγωγή και εκμετάλλευση πρώτων υλών. Η πρώτη μέθοδος στοχεύει να επισκευάσει τα πάνελ με σκοπό αυτά να επαναχρησιμοποιηθούν σε κάποια εφαρμογή που απαιτεί μικρότερη απόδοση. Η δεύτερη μέθοδος προσπαθεί να επιτύχει την όσο πιο κερδοφόρα εξαγωγή πρώτων υλών ώστε να την κάνει οικονομικά συμφέρουσα και κερδίζει σε δημοφιλία καθώς διάφορες εξειδικευμένες μονάδες ανακύκλωσης εμφανίζονται τα τελευταία χρόνια. Μια ανασκόπηση των παραπάνω παραγόντων υπάρχει στο [11].

4.3 Σχολιασμός Σημείων Ενδιαφέροντος

Η αξιόπιστη και αδιάκοπη παροχή ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομία και για την κοινωνική ευημερία γενικότερα. Τις περισσότερες φορές η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να ανταγωνιστεί τις συμβατικές μορφές ενέργειας, των οποίων το κόστος συχνά δεν περιλαμβάνεται στην εμπορική τιμή. Ως εκ τούτου, η κυβέρνηση θεσπίζει επιδοτήσεις, φορολογικούς κανονισμούς και άλλα υποστηρικτικά μέτρα για να επηρεάσει την επιχειρηματική υπόθεση.

Μέτρα μπορούν να εφαρμοστούν πανελλαδικά (ή και σε ευρωπαϊκό επίπεδο), αλλά και ανά επαρχία, περιφέρεια ή σε τοπικό επίπεδο. Εκτός αυτού, σε συγκεκριμένους τομείς της οικονομίας είναι δυνατόν μερικές φορές να γίνει χρήση επιδοτήσεων μέσω συγκεκριμένων κανονισμών, (π. χ. για νοικοκυριά, εταιρείες ή ιδρύματα).

Οι επιδοτήσεις που έχουν άμεση επίδραση στην επιχειρηματική περίπτωση μπορούν, γενικά, να ταξινομηθούν σε επιδοτήσεις αγοράς και επιδοτήσεις λειτουργίας. Οι επιδοτήσεις αγοράς μειώνουν την επένδυση για τον ιδιοκτήτη ενώ οι λειτουργικές επιδοτήσεις στηρίζουν τα έσοδα της εγκατάστασης. Εκτός από τις επιδοτήσεις, μπορεί να υπάρχουν νόμοι (τροφοδοσίας) που αναγκάζουν τις εταιρείες ενέργειας να αγοράσουν ηλιακή ενέργεια σε μια συγκεκριμένη τιμή. Είναι προφανές ότι τα μέτρα αυτά έχουν σημαντικό αντίκτυπο σχετικά με τα έσοδα κατά τη λειτουργία.

Τέλος, οι φορολογικοί κανονισμοί μπορούν να στοχεύουν στη μείωση των καθαρών επενδύσεων και στην προβολή της λειτουργίας ως πιο ελκυστική. Επιπλέον, μερικές φορές υπάρχουν και γενικοί φόροι και κανονισμοί που επηρεάζουν το μοντέλο εισοδήματος.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα, Προτάσεις και Μελλοντικές Ενέργειες

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη συγγραφή της διπλωματικής εργασίας και προτείνονται λύσεις και μελλοντικές ενέργειες με στόχο τη βέλτιστη δυνατή αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών.

5.1 Συμπεράσματα

Με το πέρας της μελέτης και σχεδιασμού του φωτοβολταϊκού πάρκου και μετά την ανασκόπηση σχετικά με τις τεχνολογίες που έπεται να πρωταγωνιστήσουν στο άμεσο μέλλον, η σκέψη μας έρχεται ένα βήμα πιο κοντά στους προβληματισμούς ενός μηχανικού Φ/Β και ΑΠΕ γενικότερα. Από τη μια μεριά του ζυγού, η ευθύνη που επιβαρύνει κάθε μηχανικό που αναλαμβάνει να παραδώσει το έργο του με ασφάλεια, αξιοπιστία και αποτελεσματική οικονομική διαχείριση, ενώ από την άλλη οι ελπίδες της κοινωνίας για ένα καλύτερο αύριο. Λίγες εφαρμογές θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως πιο αντιπροσωπευτικές ως προς τα παραπάνω από την κατασκευή ενός Φ/Β έργου.

Πρώτον, η αδειοδότηση ενός έργου απαιτεί να αντιμετωπιστούν με ταχύτητα οι φραγμοί που δημιουργεί η σύγχρονη γραφειοκρατία. Ο μηχανικός οφείλει να έχει κατανοήσει από πολύ νωρίς τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες που θα παρουσιάσει το έργο και να παράσχει τα απαιτούμενα δικαιολογητικά. Αλλά και κατά τη διάρκεια του συνόλου της κατασκευής ως και την ημέρα της παράδοσης και της ηλεκτροδότησης του πάρκου οφείλει να είναι πάντα διαθέσιμος και να συνδυάζει γνώσεις και πληροφορίες από πολλά διαφορετικά πεδία.

Ακολούθως, η εργασία του οφείλει να ακολουθεί αυστηρά πρότυπα και κανόνες των οποίων, προκειμένου να είναι σε θέση να τους τηρήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, οφείλει να κατανοεί την μαθηματική βάση αλλά και την φυσική τους σημασία. Μικρά λάθη στα στάδια του υπολογισμού προμηθειών, αλλά και του βέλτιστου τεχνικά σχεδιασμού, μεταφράζονται σε δυνητικά υπέρογκες οικονομικές

επιβαρύνσεις, που θα στερήσουν χρήματα τόσο από τους ιδιοκτήτες, όσο και από τους αναδόχους του έργου. Παράλληλα, σε μεγαλύτερη κλίμακα, οι επενδύσεις στην πράσινη ενέργεια δεν επιτυγχάνουν τους στόχους που έχουν θέσει στον ίδιο βαθμό.

Καθ' όλη τη διάρκεια της καριέρας του ο μηχανικός πρέπει να παραμένει ενήμερος για νέες τεχνολογίες και να έχει τη διορατικότητα που θα του επιτρέπει να κάνει το έργο του μια διαχρονική οντότητα. Μόνο έτσι θα είναι σε θέση να προβλέψει και να ενσωματώσει σε αυτό τις απαραίτητες υποδομές, ώστε πιθανές μελλοντικές μετατροπές και προσθήκες να μην βρίσκουν εμπόδια κατά την εφαρμογή τους. Στηριζόμενος στα στοιχεία και τους περιορισμένους πόρους που του δίνονται επιχειρεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα εφοδιασμένος με έναν προγραμματισμό που εκτείνεται σε βάθος χρόνου και με γνώμονα το ευρύτερο καλό.

5.2 Προτάσεις και Μελλοντικές Ενέργειες

Οι προτάσεις σε ότι αφορά το μέλλον των φωτοβολταϊκών γίνονται σε 3 βασικούς άξονες. Πρώτον, η χρήση πρώτων υλών να ελαχιστοποιεί τον αντίκτυπο στο περιβάλλον και στην οικονομία. Δεύτερον, η παραγωγή ενέργειας να γίνεται με την μέγιστη δυνατή απόδοση, ενώ παράλληλα οι απώλειες να ελαχιστοποιούνται. Τρίτο και τελευταίο, να δίνεται η μεγαλύτερη δυνατή μέριμνα ώστε οι επιπτώσεις στη φύση να είναι μηδαμινές και το Φ/Β πάρκο να συμβάλλει στην πράσινη και αειφόρο ανάπτυξη.

Η πρόοδος στην επιστήμη των υλικών και στις τεχνολογίες κατασκευής Φ/Β πλαισίων αναμένεται τα επόμενα χρόνια να παράξει φωτοβολταϊκά που θα είναι και φθηνότερα και αποδοτικότερα σε σχέση με τα σημερινά. Η αγορά και οι κατασκευαστές θα πρέπει να προτιμήσουν μεταξύ αυτών τα προϊόντα που κατασκευάζονται από πρώτες ύλες που υπάρχουν σε αφθονία στην φύση και δεν περιέχουν βλαβερά χημικά στοιχεία και ενώσεις. Παράλληλα, πόροι που απαιτούν οικολογικές καταστροφές μικρής ή μεγάλης κλίμακας ή συλλέγονται θέτοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές οφείλουν να εγκαταλειφθούν. Τέλος, η εγκατάσταση των πάρκων δύναται να γίνεται σε εκτάσεις γης που είναι έρημες και άγονες και με την ελάχιστη δυνατή επενέργεια στο τοπικό οικοσύστημα. Έτσι αποφεύγεται η αλλοίωση

του φυσικού περιβάλλοντος και η στέρηση πολύτιμων πόρων από άλλους τομείς, όπως η γεωργία, η κτηνοτροφία και ο τουρισμός.

Σε ό,τι αφορά την απόδοση των έργων Φ/Β, η ηλιακή ακτινοβολία και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς παράγουν ένα αποτέλεσμα το οποίο σε βάθος χρόνου είναι προσδιορισμένο με εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια σε ό,τι αφορά την παραγόμενη ισχύ. Ο μηχανικός έχει στα χέρια του επαρκή δεδομένα ώστε να σχεδιάσει την εγκατάσταση με τρόπο τέτοιο ώστε σε όλη τη διάρκεια ενός χρόνου να ελαχιστοποιείται το μερίδιο της ισχύος που ψαλιδίζεται λόγω του πλεονάσματος προσφοράς. Επιπρόσθετα, οι τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας πρέπει να γίνουν αναπόσπαστο κομμάτι κάθε υποδικτύου και μονάδας παραγωγής, ώστε να εξασφαλίζουν τόσο την αδιάκοπη λειτουργία της παραγωγικής μονάδας, όσο και την περίσωση του προκύπτοντος πλεονάσματος ενέργειας.

Τέλος, η πολιτεία, οι κάτοχοι των έργων ΑΠΕ, αλλά και οι ανάδοχοι μηχανικοί οφείλουν να αντιμετωπίζουν τις επενδύσεις στην πράσινη ενέργεια με ευθύνη και με στόχο το ευρύτερο καλό. Τακτικές όπως η ανακύκλωση, ο σεβασμός του φυσικού περιβάλλοντος και η ομαλή και οικολογική λειτουργία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούν οικολογική συνείδηση, συνεργασία και παιδεία σε εταιρικό και ατομικό επίπεδο. Όλα τα στοιχεία καταδεικνύουν τις ΑΠΕ και τα φωτοβολταϊκά ως τις τεχνολογίες που θα κάνουν το ομαλό πέρασμα προς ένα μέλλον με σεβασμό προς τον πλανήτη μας και τους συνανθρώπους μας.

• ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Φραγκιαδάκης, Ιωάννης. 2019. Φωτοβολταϊκά Συστήματα. 4th ed. N.p.: Εκδόσεις Ζήτη.
- [2] Καραϊσάς, Πέτρος. 2014. Φωτοβολταϊκά Συστήματα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αθήνα, Ελλάδα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ.
- [3] Rahmat Khezri, Amin Mahmoudi, Hirohisa Aki, Optimal planning of solar photovoltaic and battery storage systems for grid-connected residential sector: Review, challenges and new perspectives, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 153, 2022, 111763, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111763>.
- [4] Carl Johan Rydh, Björn A. Sandén, Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part I: Performance and energy requirements, Energy Conversion and Management, Volume 46, Issues 11–12, 2005, Pages 1957-1979, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.10.003>.
- [5] H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, Energy storage systems—Characteristics and comparisons, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 12, Issue 5, 2008, Pages 1221-1250, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>.
- [6] J. Mitali, S. Dhinakaran, A.A. Mohamad, Energy storage systems: a review, Energy Storage and Saving, Volume 1, Issue 3, 2022, Pages 166-216, ISSN 2772-6835, <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>.
- [7] Solak, Ebru Kondolot, and Erdal Irmak. "Advances in organic photovoltaic cells: a comprehensive review of materials, technologies, and performance." RSC advances vol. 13,18 12244-12269. 19 Apr. 2023, doi:10.1039/d3ra01454a
- [8] Hashmi, S. G., Halme, J., Ma, Y., Saukkonen, T., Lund, P. (2014). A Single-Walled Carbon Nanotube Coated Flexible PVC Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells. Adv. Mater. Interfaces, 1: 1300055, doi: 10.1002/admi.201300055
- [9] Min Zhong, Dong Yang, Jian Zhang, Jingying Shi, Xiuli Wang, Can Li, Improving the performance of CdS/P3HT hybrid inverted solar cells by interfacial modification, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 96, 2012, Pages 160-165, ISSN 0927-0248, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.09.041>.
- [10] Heath, G.A., Silverman, T.J., Kempe, M. et al. Research and development priorities for silicon photovoltaic module recycling to support a circular economy. Nat Energy 5, 502–510 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0645-2>
- [11] Tao M, Fthenakis V, Ebin B, et al. Major challenges and opportunities in silicon solar module recycling. Prog Photovolt Res Appl. 2020; 28: 1077–1088, <https://doi.org/10.1002/pip.3316>

Ψηφιακές Πηγές:

- (1) <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2024-2028/detail>: Solar Photovoltaic (PV) Market Report | May 2024, Global Data
- (2) <https://stateofgreen.com/en/news/the-current-pv-global-supply-chain/>: The current PV global supply chain
- (3) <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-manufacturing-basics>: Solar Photovoltaic Manufacturing Basics
- (4) [JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis): Photovoltaic Geographical Information System
- (5) https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/05/FEK-2023-Tefxos-B-03328-downloaded-22_05_2023.pdf: Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Β' 3328/19.05.2023. 10. Τον ν. 4964/2022
- (6) <https://energypress.gr/news/ekdothike-i-ya-gia-toys-periorismoys-eghysis-ton-stathmon-ape-ti-problepetai-gia-fotoboltaika>: Energy press, Δημοσιογραφικό ενημερωτικό portal για την ενέργεια
- (7) S2S - SWITCH2SOLAR - The Solar Energy Academy