

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



## Πτυχιακή Εργασία

---

Ανάλυση εγκατάστασης με φωτοβολταϊκό  
συστημα και μοναδες αποθηκευσης  
ηλεκτρικης ενεργειας

---

Κωνσταντίνος Τουλάνος

A.M.: HN07207

Επιβλέπων: Άγγελος Μπουκουράς, Καθηγητής



*(Υπογραφή)*

.....

**Κωνσταντίνος Τουλάνος**

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2022 – Allrightsreserved

---

## Περίληψη

Η ηλιακή ενέργεια είναι μία από τις σημαντικότερες ΑΠΕ, η οποία φαίνεται πως πρόκειται να διαδραματίσει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο για το σύνολο της ενεργειακής κάλυψης της παγκόσμιας κοινότητας. Πρόκειται για μία αστείρευτη πηγή ενέργειας η οποία αντλείται μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Μέσα από την παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιείται μία πλήρης ανάλυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των δυνατοτήτων τους, ενώ ταυτόχρονα αναφέρονται και οι διάφοροι τρόποι αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας από τα εν λόγω συστήματα.

Τέλος, πραγματοποιείται μία μελέτη περίπτωσης για ένα φωτοβολταϊκό σταθμό ισχύος 250MWp, ενός ιδιώτη στην ευρύτερη περιοχή της Μαγνησίας. Μέσα από τη συγκεκριμένη μελέτη, αναλύονται όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου, ενώ ταυτόχρονα περιγράφονται αναλυτικά τόσο η φάση κατασκευής όσο και η φάση λειτουργίας του έργου και η σύνδεση του με το δίκτυο ηλεκτροδότησης.

**Λέξεις Κλειδιά:** Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, φωτοβολταϊκά συστήματα, σύνδεση σε δίκτυο

---

## Abstract

Solar energy is one of the most important RES, which seems to be playing a particularly important role for the entire energy coverage of the global community. It is an inexhaustible source of energy that is pumped through photovoltaic systems.

Through this thesis, a complete analysis of photovoltaic systems and their capabilities is carried out, while at the same time the various ways of storing the energy produced by these systems are mentioned.

Finally, a case study is carried out for a 250MWp photovoltaic plant, owned by a private individual in the wider area of Magnesia. Through this specific study, all the elements required for the construction of such a project are analyzed, while at the same time both the construction phase and the operation phase of the project and its connection to the electricity network are described in detail.

**Keywords:** Renewable energy sources, photovoltaic systems, grid connection

## Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, συνέβαλλαν τα μέγιστα αρκετοί άνθρωποι, στους οποίους οφείλω σίγουρα ευγνωμοσύνη, ενώ μέσα από τη συγκεκριμένη σελίδα, μου δίνεται η δυνατότητα να υποβάλλω τις ευχαριστίες μου.

Αρχικά, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα της εργασίας, τον κύριο Άγγελο Μπουχουρά. Η εν λόγω εργασία με οδήγησε στην εμβάθυνση των γνώσεων μου αναφορικά με τις ΑΠΕ, και ιδιαίτερα με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ειδικότερα στις μέρες μας, η ενεργειακή κρίση φαίνεται πως οδηγεί με ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς σε αναζήτηση νέων μορφών ενέργειας, ενώ φαίνεται πως τα φωτοβολταϊκά συστήματα, πρόκειται να διαδραματίσουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο προς την κατεύθυνση αυτή. Έτσι, η παρότρυνση του επιβλέποντα εκπαιδευτικού της εργασίας για την ανάληψη του παρόντος θέματος, υπήρξε για εμένα πραγματικά ιδιαίτερα σημαντική. Για το λόγο αυτό, αλλά και για το σύνολο της βοήθειάς του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας, του οφείλω πραγματικά ευγνωμοσύνη.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο των εκπαιδευτικών του ΠΔΜ, για όλες τις προσπάθειες που έκαναν να μας μεταλαμπαδεύσουν τις γνώσεις τους. Βεβαίως, δεν θα μπορούσα να παραλείψω όλους τους συμφοιτητές μου, οι οποίοι συντέλεσαν ώστε να γίνουν τα φοιτητικά μου χρόνια... μοναδικά και αξέχαστα!

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι ήταν παρόντες με όλες τους τις δυνάμεις σε κάθε μου βήμα. Η στήριξη και η αγάπη τους, οι συμβουλές και οι προσπάθειές τους, αποτελούν για εμένα «οδηγό».

---

# Πίνακας Περιεχομένων

## Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
Πίνακας Περιεχομένων	8
Καταλογος Εικόνων	11
Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος Σχηματων	15
Εισαγωγή	17
1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ	21
1.1. Αρχή της ηλιακής ενέργειας	21
1.2. Πυρίτιο	22
1.3. Ημιαγωγοί ντόπινγκ N και P	23
1.4. Η διασταύρωση P και N	26
1.5. Τύποι Φωτοβολταϊκών πάνελ	30
1.5.1. Μονοκρυσταλλικοί ηλιακοί συλλέκτες	31
1.5.2. Πολυκρυσταλλικός Ηλιακός Συλλέκτης	32
1.5.3. Ηλιακοί συλλέκτες λεπτής μεμβράνης	33
2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	36
2.1. Γενικά	36
2.2. Πρωτογενή κύτταρα	36
2.2.1. Κυψέλη υδραργύρου - άνθρακα	36
2.2.2. Αλκαλικό στοιχείο	39
2.3. Δευτερεύοντα Κύτταρα	41
2.3.1. Μπαταρίες Νικελίου - Καδμίου	42
2.3.2. Κυψέλη ιόντων λιθίου	44
2.3.3. Κυψέλη μολύβδου - οξέος	46
3. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	52
3.1. Γενικά	52
3.2. Βασικά Στοιχεία	53
3.3. Βασικά στοιχεία φάσης κατασκευής και λειτουργίας του Φ/Β σταθμού	56
3.3.1. Φάση κατασκευής	56
3.3.2. Έργα διασύνδεσης Φ/Β σταθμού με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	59
3.3.3. Φάση Λειτουργίας	60
3.4. Πρώτες Ύλες – Κατανάλωση νερού - Απόβλητα	60
4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	61
4.1. Τεχνολογία κατασκευής φωτοβολταϊκών πάνελ	61
4.2. Παράμετροι σχεδίασης	61
4.3.1. Ισχύς αιχμής	64



---

4.3.2.Παράγοντας γήρανσης φωτοβολταϊκού πλαισίου, ηγm	67
4.3.3.Διαφοροποίηση ανακλαστικότητα Φ/Β πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη STC	68
4.3.4.Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM 1,5 (Spectral losses)	69
4.4.Σύστημα Στήριξης	69
4.5.Αντιστροφείς Ισχύος (Inverter)	72
4.6.Δίκτυο καλωδιώσεων DC & AC Χαμηλής Τάσης - XT	73
4.7.Υποσταθμοί / Δίκτυο καλωδιώσεων AC μέσης τάσης	76
4.8.Σύστημα Ελέγχου και παρακολούθησης (Monitoring)	77
4.9.Γειώσεις / Αντικεραυνική Προστασία	78
4.10.Σύστημα Φύλαξης	79
4.11.Σύστημα Πυρασφάλειας	80
4.12.Μετρικές Διατάξεις	80
4.13.Κύρια, βοηθητικά, υποστηρικτικά και συνοδευτικά έργα και εγκαταστάσεις	80
4.14.Έργα διασύνδεσης με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς	81
4.14.1.Πρόταση τεχνικής Λύσης Διασύνδεσης A1	81
4.14.2. Πρόταση τεχνικής Λύσης Διασύνδεσης A2	83
4.14.3. Εναλλακτική τεχνική λύση διασύνδεσης B	85
4.15.Χαλύβδινοι πύργοι στήριξης καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (MT & YT)	87
4.16.Τεχνική περιγραφή ΥΣ YT 33/150Kv	88
4.16.1.Γενικά	88
4.16.2.Κτίριο Ελέγχου Υ/Σ	90
4.16.4.Θεμελιώσεις	92
4.16.5.Βάσεις ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	92
5.ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	95
5.1. Προγραμματισμός και χρονοδιάγραμμα εργασιών	95
5.2. Κτιριακά Έργα	96
5.3.Συνδέσεις με οδικό δίκτυο και δίκτυα υποδομών	96
5.4.Χώροι στάθμευσης	97
5.5.Μηχανολογικές Εγκαταστάσεις	97
5.6.Επιφάνεια εδάφους που καταλαμβάνεται	97
5.8.Επεμβάσεις	98
5.8.1.Αναγκαία υλικά κατασκευής και εργασίες	98
5.8.2.Εκροές αποβλήτων και διαχείρισή τους	100
5.8.3.Πλεονάζοντα στερεά απόβλητα και διαχείρισή τους	100
6.ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	102
6.1. Περιγραφή Λειτουργίας	102
6.1.1. Εισροές κατά τη λειτουργία του έργου	102
6.1.2. Εκροές στερεών αποβλήτων	103
6.1.3. Εκπομπές αέριων ρύπων, θορύβου, δονήσεων και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλοι κίνδυνοι για το περιβάλλον	103
7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105



## Καταλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1:</b>	Γενικές πληροφορίες για το πυρίτιο (Britannica, 2021)	20
<b>Εικόνα 2:</b>	Μονοκρυσταλλικός Ηλιακός Συλλέκτης SFM65 (Πηγή: solarsufu.com)	30
<b>Εικόνα 3:</b>	Πολυκρυσταλλικός Ηλιακός Συλλέκτης (Πηγή: gosolar.gr)	31
<b>Εικόνα 4:</b>	Ηλιακός Συλλέκτης Λεπτής Μεμβράνης (Πηγή: gosolar.gr)	32
<b>Εικόνα 5:</b>	Μπαταρίαμολύβδου-οξέος (Off Grid Europe, 2017)	47
<b>Εικόνα 6:</b>	Το φωτοβολταϊκό πάνελ της εταιρίας Suntech τύπου STP550S-C72/Pmh+	51
<b>Εικόνα 7:</b>	StringInverterSUN2000-215KTL	52
<b>Εικόνα 8:</b>	Προκατασκευασμένος Οικίσκος	54
<b>Εικόνα 9:</b>	Γεωγραφική αποτύπωση της προτεινόμενης πρότασης διασύνδεσης A1 του Φ/Β Σταθμού	79
<b>Εικόνα 10:</b>	Γεωγραφική αποτύπωση της πρότασης διασύνδεσης A2 του του Φ/Β Σταθμού	81
<b>Εικόνα 11:</b>	Γεωγραφική αποτύπωση της πρότασης διασύνδεσης B του του Φ/Β Σταθμού	83

---

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b>	Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων ηλιακών πάνελ	33
<b>Πίνακας 2:</b>	Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας ψευδαργύρου-άνθρακα	37
<b>Πίνακας 3:</b>	Συνοπτικός πίνακας αλκαλικής μπαταρίας	38
<b>Πίνακας 4:</b>	Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας Νικελίου - Καδμίου	42
<b>Πίνακας 5:</b>	Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας Ιόντων Λιθίου	44
<b>Πίνακας 6:</b>	Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας μολύβδου-οξέος	47
<b>Πίνακας 7:</b>	Η επιφάνεια και το μήκος περιφραξής των επιμέρους πολυγώνων όπως αντιστοιχούν στο σχέδιο χωροθέτησης του Φ/Β Σταθμού.	55
<b>Πίνακας 8:</b>	Τα χαρακτηριστικά των Inverter τύπου SUN2000-215KTL	70
<b>Πίνακας 9:</b>	Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Έργου	91
<b>Πίνακας 10:</b>	Γενική λίστα ποσοτήτων προϊόντων εδαφολογικών εργασιών	95

---

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 1:</b>	Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα (OurWorldinData, 2013)	16
<b>Σχήμα 2:</b>	Σωρευτική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β (GWp) (Jager – Waldau, 2020)	16
<b>Σχήμα 3:</b>	Τιμή πακέτου μπαταριών Li-ion, μέσος όρος στάθμισης όγκου (Lee, 2020)	17
<b>Σχήμα 4:</b>	ΝτόπινγκτύπουN (Basics Electronics Tutorials, 2013).	22
<b>Σχήμα 5:</b>	ΝτόπινγκτύπουN (Basics Electronics Tutorials, 2013).	23
<b>Σχήμα 6:</b>	Δομήηλιακώνκυψελών PV (Glenergy Solar, 2015)	24
<b>Σχήμα 7:</b>	Διασταύρωση PN (Basic Electronics Tutorials, 2013)	25
<b>Σχήμα 8:</b>	Μεροληπτική διασταύρωση P-N προς τα εμπρός (Shaik, 2013).	26
<b>Σχήμα 9:</b>	Αντίστροφη πόλωση σύνδεσης P-N (Shaik, 2013)	28
<b>Σχήμα 10:</b>	Σχέδιο μπαταρίας ψευδαργύρου-άνθρακα (Wikiwand, 2021)	36
<b>Σχήμα 11:</b>	Σχέδιο αλκαλικής μπαταρίας (Wikiwand, 2021)	39
<b>Σχήμα 12:</b>	Μπαταρία Νικελίου – Καδμίου (LumenLearning, 2021)	41
<b>Σχήμα 13:</b>	Μέρη μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου (Let's Talk Science, 2019)	42
<b>Σχήμα 14:</b>	Διάγραμμα για τη ροή ενέργειας σε Φ/Β πλαίσιο	64
<b>Σχήμα 15:</b>	Σύστημα Στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων (πρόσοψη ανωδομής)	68
<b>Σχήμα 16:</b>	Χωροθέτηση Συστημάτων Στήριξης (κάτοψη ανωδομής)	68
<b>Σχήμα 17:</b>	Γενική διάταξη χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού	69
<b>Σχήμα 18:</b>	Γενική διάταξη χωροθέτησης ΥΣ ΥΤ 33/150Kv (1.Μετασηματιστής Ισχύος, 2. Διακοπές Φορτίου, 3. Γειωτές, 4. ΜΣ Τάσης και Ρεύματος, 5. Κεντρικοί Διακόπτες, 6. Απαγωγείς Υπερτάσεων, 7. Αγωγίμες μπάρες, 8. Ιστός – Αλεξικέραυνο, 9. Πύλες, 10. Αυτόματοι διακόπτες (relay) και οικίσκος ελέγχου – λειτουργίας)	89

---



## Εισαγωγή

Τα αέρια του θερμοκηπίου και οι σχετικές εκπομπές απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κυρίως από ανθρώπινη δραστηριότητα και συμβάλλουν στη συνολική υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτά τα αέρια παγιδεύουν θερμότητα, την οποία τελικά αντανακλούν στη Γη. Έτσι, τα τελευταία χρόνια η ατμόσφαιρα αλλοιώθηκε σημαντικά με αποτέλεσμα να αυξηθεί η μέση θερμοκρασία του πλανήτη.

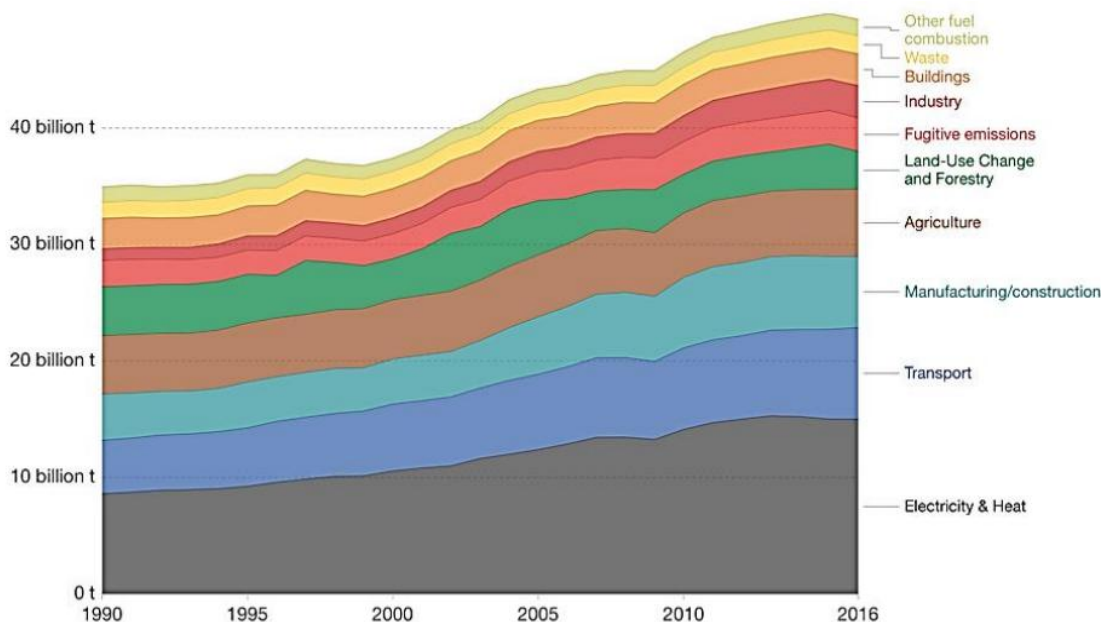
Κατά τον τελευταίο αιώνα, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία της επιφάνειας της γης έχει αυξηθεί κατά περίπου 1,18 βαθμούς Κελσίου. Η εν λόγω αύξηση έγκειται κυρίως στις αυξανόμενες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και περαιτέρω σε ανθρώπινες δραστηριότητες<sup>1</sup>.

Ο κλάδος που συμβάλλει το μεγαλύτερο μέρος στην αύξηση αυτών των αερίων του θερμοκηπίου είναι ο ενεργειακός τομέας, για τη δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, με καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο) και τις διεργασίες που εμπλέκονται σε βιομηχανικές δραστηριότητες.

Σήμερα, χιλιάδες συσκευές χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια ως πηγή ενέργειας, είτε με τη μορφή συνεχούς ρεύματος είτε εναλλασσόμενου ρεύματος, και η χρήση τους έχει οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση της ζήτησης για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

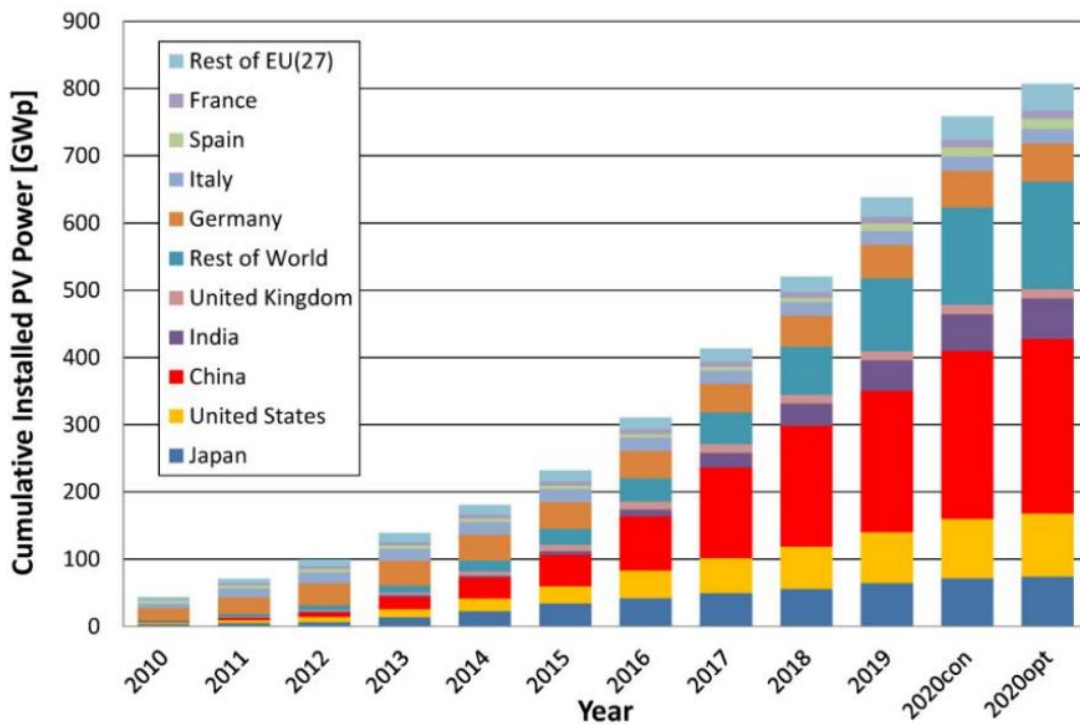
Για το λόγο αυτό, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει ζωτικό ρόλο στη μείωση των επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη<sup>2</sup>.

Όλες οι προβλέψεις βασίζονται σε ευρωπαϊκά σχέδια των χωρών για εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την τελευταία ενημέρωση να δείχνει ποικιλία στρατηγικών για την επίτευξη του συλλογικού στόχου της ΕΕ ώστε το 20 τοις εκατό της ενέργειας έως το 2020 να απορρέει από ανανεώσιμες πηγές έως το 2020<sup>3</sup>.



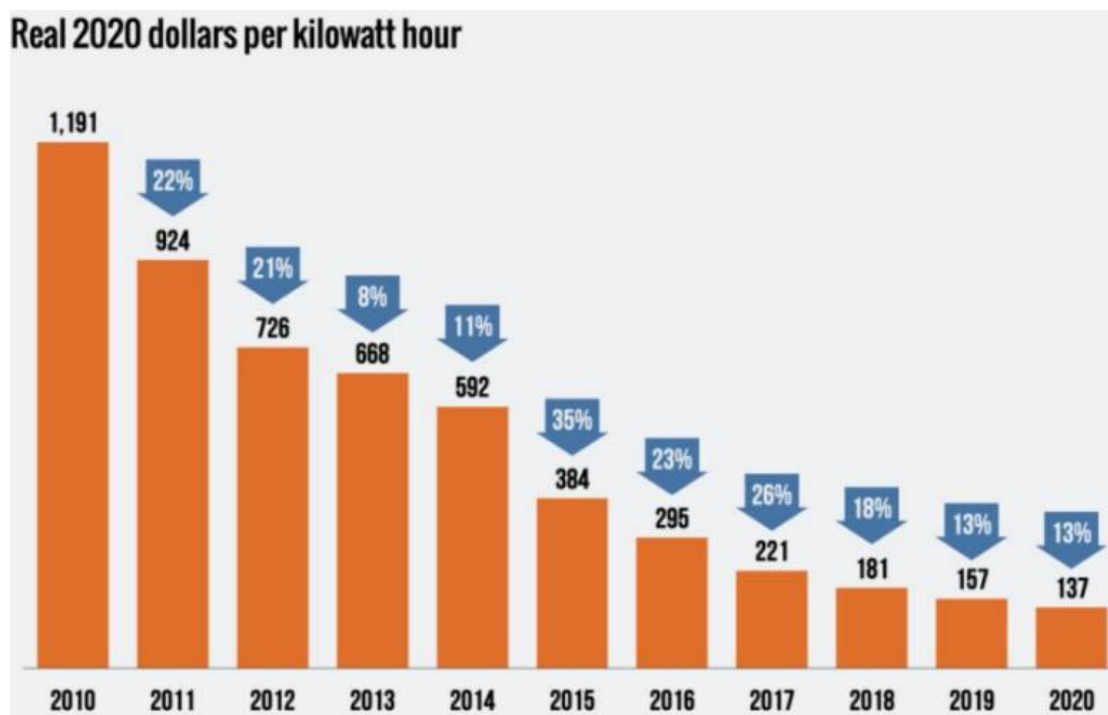
**Σχήμα 1:** Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά τομέα<sup>4</sup>.

Αυτό οδήγησε σε μαζική ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ιδιαίτερα εντυπωσιακή στην περίπτωση των ηλιακών φωτοβολταϊκών (τόσο κοινής ωφέλειας όσο και οικιακής χρήσης) λόγω αυξημένης οικονομικής προσιτότητας (Εικόνα 2) και νομοθετική υποστήριξη.



Σχήμα 2: Σωρευτική εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β (GWp) 4.

Το Σχήμα 2 δείχνει την εκθετική αύξηση στην εγκατάσταση ηλιακών εγκαταστάσεων τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, όπως ο άνεμος, η ηλιακή φωτοβολταϊκή παραγωγή είναι διακοπόμενη, με υψηλή διείσδυσή της επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος<sup>5</sup>. Πολλές κυβερνήσεις έχουν επίσης αρχίσει να επικεντρώνονται στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Από το φάσμα των 2 διαθέσιμων συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, οι μπαταρίες γίνονται οι πιο προσιτές από οικονομική άποψη. Την τελευταία δεκαετία, η τιμή έχει μειωθεί κατά 88% (Σχήμα 3).



---

**Σχήμα 3:** Τιμή πακέτου μπαταριών Li-ion, μέσος όρος στάθμισης όγκου (Lee, 2020)

Στο σχήμα 3, αντικατοπτρίζεται η σταθερή πτώση της τιμής των μπαταριών ανά kWh με την πάροδο του χρόνου, με την πρόβλεψη ότι αυτό είναι σε ρυθμό για να φτάσει σε τιμή κάτω των 100\$ (82€) έως το 20246.

Ο συνδυασμός φθίνουσας τιμής τόσο για τη φωτοβολταϊκή μονάδα όσο και για τη χωρητικότητα αποθήκευσης μπαταρίας αποδεικνύεται όλο και πιο ελκυστικό τόσο για τους χρήστες κοινής ωφέλειας όσο και για τους οικιακούς χρήστες. Υπολογίζεται ότι η αγορά καταναμημένων ηλιακών φωτοβολταϊκών και αποθήκευσης μπαταριών αναμένεται να ξεπεράσει τα 49\$ δισ. (περίπου 40,36 δισ. ευρώ) έως το 2026 και φθάνουν τα 27,4 GW σε κύκλο εργασιών 7.

# 1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

## 1.1. Αρχή της ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια ξεκινά, όπως άλλωστε υποδηλώνει και το όνομα της, από τον ήλιο. Τα ηλιακά πάνελ (γνωστά και ως φωτοβολταϊκά πάνελ) λειτουργούν για να μετατρέψουν το ηλιακό φως, το οποίο αποτελείται από σωματίδια ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια, σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία ηλεκτρικών φορτίων 8.

Σε αντίθεση με τα ηλιακά πάνελ, η ηλιακή θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται συχνά για τη θέρμανση του νερού ή του αέρα με ένα ιδιαίτερα απλό τρόπο: τα πάνελ οροφής είναι οι συλλέκτες του ηλιακού φωτός, που θερμαίνουν το υγρό στους σωλήνες και στη συνέχεια μεταφέρεται στον κύλινδρο, έτοιμο για χρήση 3. Ακόμη και η αρχή πίσω από τους δύο τύπους τεχνολογιών είναι η ίδια. Τόσο η μία όσο και η άλλη τεχνολογία, απορροφούν ακατέργαστη ενέργεια από τον ήλιο και τη χρησιμοποιούν ώστε να δημιουργήσουν αξιοποιήσιμη ενέργεια. Και οι δύο επιλογές είναι διαθέσιμες για αποθήκευση ενέργειας, αλλά για ηλεκτρική αποθήκευση ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά προσφέρουν ευδιάκριτα πλεονεκτήματα όσον αφορά το κόστος και την απόδοση.

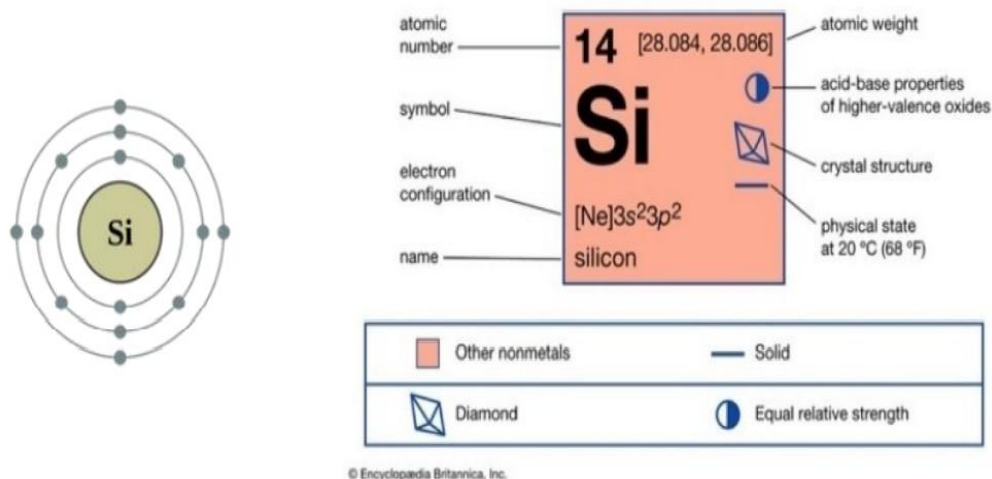
Η πλειονότητα των διαθέσιμων επί του παρόντος ηλιακών πάνελ ταιριάζει σε έναν από τους ακόλουθους τρεις τύπους:

- ✓ Μονοκρυσταλλικό πάνελ
- ✓ Πολυκρυσταλλικό πάνελ
- ✓ Πάνελ λεπτής μεμβράνης

Οι επιλογές ποικίλλουν ως προς την κατασκευή, την εμφάνιση, την απόδοση, το κόστος και τις πιο κατάλληλες εγκαταστάσεις κάθε τύπου ηλιακού πάνελ. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τα ηλιακά κύτταρα είναι κατασκευασμένα από ημιαγωγικό υλικό που μετατρέπει το φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πυρίτιο είναι το πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται ως ημιαγωγός 3. Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό της αγοράς ηλιακών κυττάρων (πάνω από 90%), αποτελείται από πυρίτιο 9.

## 1.2. Πυρίτιο

Το πυρίτιο είναι το δεύτερο πιο άφθονο υλικό στη Γη μετά το οξυγόνο και πριν από το αλουμίνιο, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί τον ευρύτερα χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό σε τσιπ υπολογιστών 10. Το πυρίτιο είναι μεταλλοειδές χημικό στοιχείο, με ατομικό αριθμό 14 και βρίσκεται στην ομάδα 14 του περιοδικού πίνακα στοιχείων με το σύμβολο Si (Εικόνα 1). Η ατομική μάζα του πυριτίου είναι 28,0855u, κάτι το οποίο σημαίνει πως η μάζα ενός μεμονωμένου σωματιδίου και η διαμόρφωση ηλεκτρονίων του είναι  $[Ne]3s^2 3p^2$  με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική τροχιά (Εικόνα 4) (Connor, 2018). Στη θερμοκρασία του δωματίου, υπάρχουν δύο αλλότροπα πυριτίου: το άμορφο και το κρυσταλλικό 12.



**Εικόνα 1:** Γενικές πληροφορίες για το πυρίτιο 12.

Τα κρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου αποτελούνται από άτομα πυριτίου ενωμένα μεταξύ τους, τα οποία δημιουργούν ένα κρυσταλλικό πλέγμα. Το πλέγμα δίνει ένα διατεταγμένο σχέδιο που επιτρέπει τη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα 10. Ωστόσο, καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο άγει το ηλεκτρικό ρεύμα ελάχιστα, επειδή είναι ουσιαστικά ένα ημιαγωγό υλικό. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το πυρίτιο σε ένα ηλιακό στοιχείο περιλαμβάνει ακαθαρσίες, δηλαδή διαφορετικά άτομα, τα οποία έχουν αναμειχθεί σκόπιμα στα άτομα πυριτίου, ώστε να ενισχυθεί η ικανότητά του να απορροφά την ηλιακή ενέργεια και να τη μετατρέπει σε ηλεκτρική 9. Το όνομα που δόθηκε στη διαδικασία κατά την οποία προστίθενται σκόπιμα ακαθαρσίες σε έναν εγγενή ημιαγωγό είναι το ντόπινγκ. Στο ντόπινγκ πυριτίου υπάρχουν δυο τύποι ακαθαρσιών 13:

- ✓ Τύπου N (όπου τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο)
- ✓ Τύπου P (όπου τα ηλεκτρόνια έχουν θετικό φορτίο)

### 1.3. Ημιαγωγοί ντόπινγκ N και P

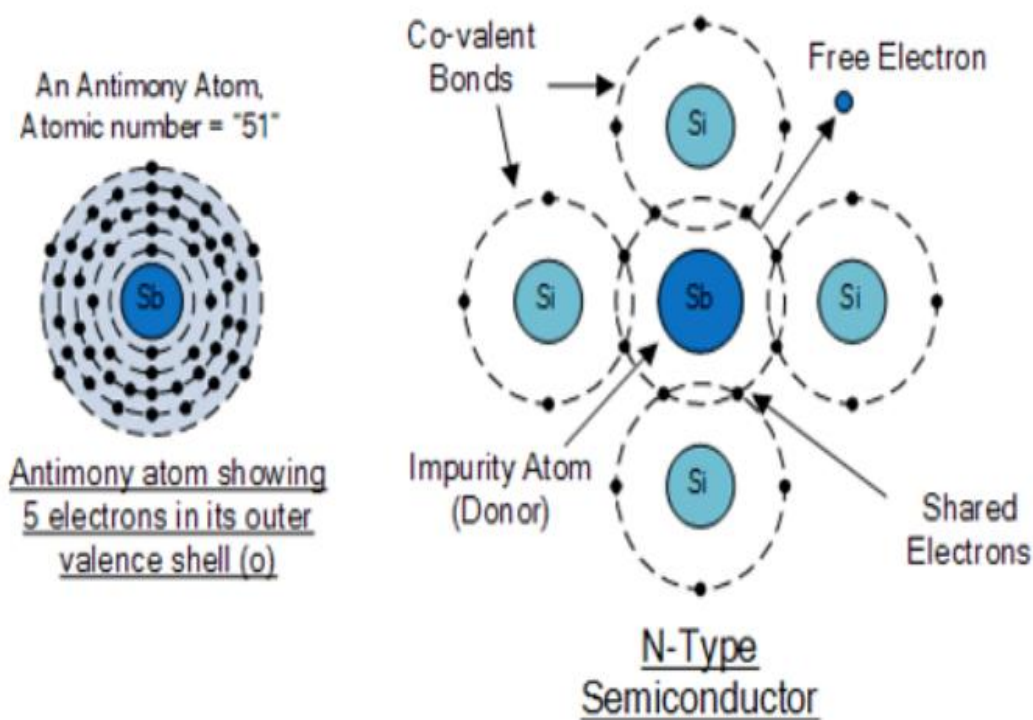
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το ντόπινγκ είναι η διαδικασία εισαγωγής ακαθαρσιών μέσα σε ένα κρύσταλλο ημιαγωγών για την καθορισμένη τροποποίηση της αγωγιμότητας

Λαμβάνοντας το γάλλιο και το αρσενικό αναμειγμένα χωριστά με το πυρίτιο, για παράδειγμα, το άτομο του γαλλίου έχει ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο από ένα άτομο πυριτίου στην εξωτερική του τροχιά (έτσι, ένα άτομο γαλλίου έχει 3 ηλεκτρόνια στο εξωτερική τροχιά), ενώ ένα άτομο αρσενικού έχει ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο στην εξωτερική τροχιά (άρα, ένα άτομο αρσενικού έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική τροχιά του). Έτσι, συμβαίνουν δύο σενάρια:

- Όταν τα άτομα αρσενικού τοποθετούνται ανάμεσα σε πολλά άτομα πυριτίου, θα παρουσιαστούν επιπλέον ηλεκτρόνια στη δομή, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός στρώματος πλούσιου σε ηλεκτρόνια 9.

Αυτό είναι ντόπινγκ τύπου N, όπου το αρσενικό ή ο φώσφορος ντοπάρεται σε πυρίτιο σε χαμηλές ποσότητες στο πυρίτιο σε χαμηλές ποσότητες. Αυτά τα δύο

στοιχεία έχουν πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους τροχιά, που σημαίνει ότι τέσσερα από τα πέντε τροχιακά τους ηλεκτρόνια είναι συνδεδεμένα με τα γειτονικά τους άτομα πυριτίου, αφήνοντας ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο, το οποίο θα κινηθεί όταν θα εφαρμοστεί μία ηλεκτρική τάση (ροή ηλεκτρονίων)<sup>14</sup>. Άρα, η «N» (αρνητική) πλευρά περιέχει περίσσεια ηλεκτρονίων. Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αυτού του δεσμού ηλεκτρονίων με γειτονικά άτομα, που εισάγονται ως ακαθαρσίες στο πυρίτιο, ενώ φαίνεται γραφικά με ένα άτομο αντιμονίου που περιέχει επίσης πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική του τροχιά <sup>14</sup>.

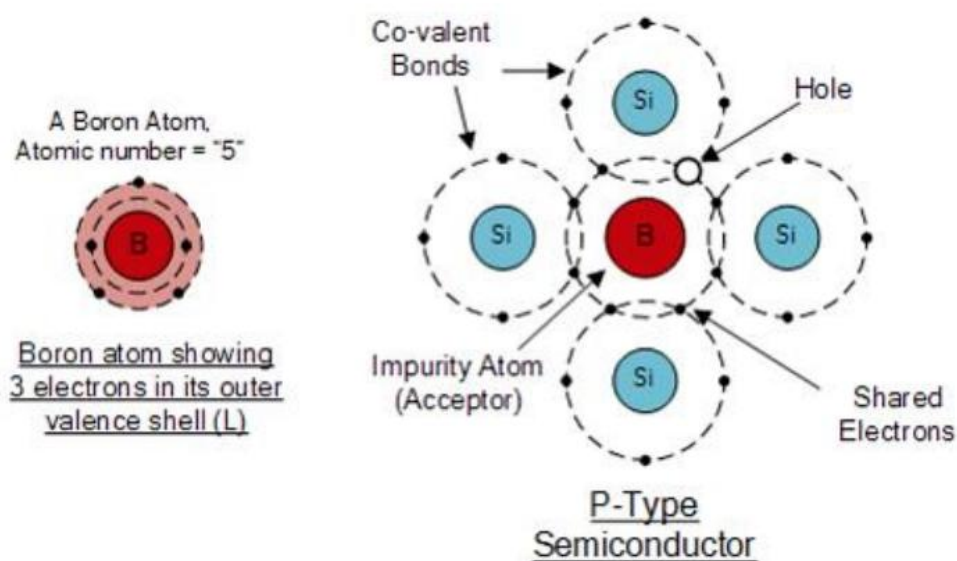


**Σχήμα 4:** Nτόπινγκ τύπου N<sup>14</sup>.

- Αντίθετα, όταν χρησιμοποιούνται άτομα γαλλίου, θα εμφανιστεί έλλειψη ηλεκτρονίων, πράγμα που σημαίνει ότι θα δημιουργηθεί ένα στρώμα φτωχό σε ηλεκτρόνια <sup>9</sup>.

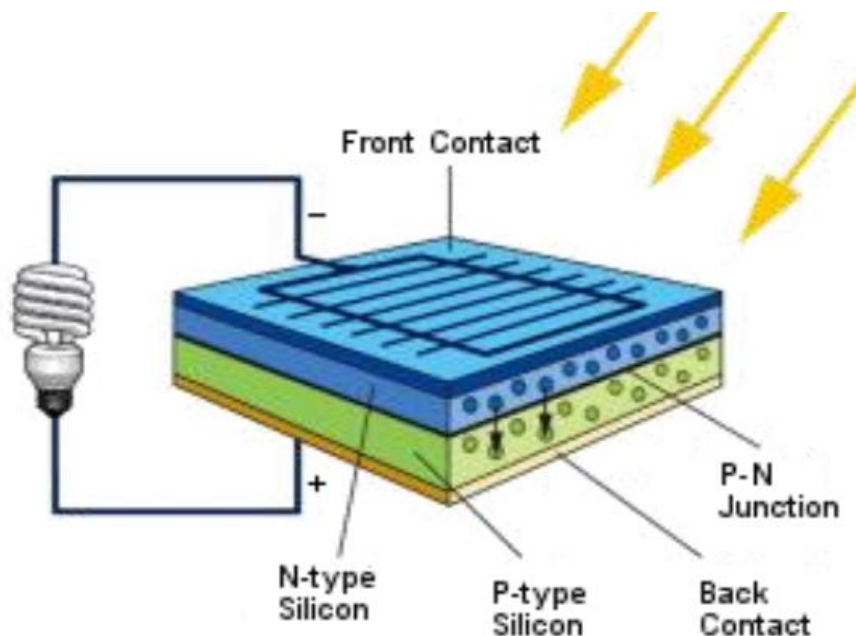
Πρόκειται για ντόπινγκ τύπου P, στο οποίο προστίθεται βόριο ή γάλλιο. Καθένα από αυτά τα στοιχεία κρατά τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του τροχιά εξωτερικά και έτσι, όταν συνδυάζονται στο πλέγμα πυριτίου, σχηματίζονται οπές στη ζώνη σθένους των ατόμων πυριτίου επειδή το τέταρτο κλειστός δεσμός δεν μπορεί να δημιουργηθεί. Έτσι, τα ηλεκτρόνια κινούνται στη ζώνη σθένους κινούνται ενώ οι οπές κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση από την κίνηση των ηλεκτρονίων. Με αυτόν τον τρόπο, εξαιτίας του γεγονότος ότι η πρόσμιξη είναι κλειδωμένη στο κρυσταλλικό πλέγμα, είναι μόνο τα θετικά φορτία που μπορούν να κινηθούν. Αυτοί οι ημιαγωγοί είναι γνωστοί ως τύπου

P λόγω των θετικών οπών 14.



Σχήμα 5: Ντόπινγκ τύπου N 14.

Σε ένα ηλιακό στοιχείο, αυτοί οι δύο τύποι στρωμάτων τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό πεδίο (Σχήμα 6). Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο ηλιακό κύτταρο, απορροφούνται τα φωτόνια και με αυτό τον τρόπο εκκινείται ηλεκτρικό ρεύμα, όπου λαμβάνει χώρα η ροή και η κίνηση των ηλεκτρονίων. Η ενέργεια διεγείρει τα ηλεκτρόνια που αφήνουν οπές. Αυτά μεταναστεύουν στα ηλεκτρόδια του κυττάρου λόγω της παρουσίας του ηλεκτρικού πεδίου. Με αυτόν τον τρόπο παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.



Σχήμα 6: Δομή ηλιακών κυψελών PV 15.

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 6), παρουσιάζεται γραφικά πώς στη στιβάδα N όπου μπορεί να βρεθεί το αρσενικό και το πυρίτιο (υπάρχουν «πρόσθετα» ηλεκτρόνια) μετακινούνται στη στιβάδα P του γαλλίου και του πυριτίου (όπου «λείπουν» ηλεκτρόνια) και έτσι, τα ηλεκτρόνια μεταναστεύουν κατά μήκος της διασταύρωσης

---

επιτρέποντας στο ηλεκτρικό ρεύμα να διέρχεται μόνο προς μία κατεύθυνση.

#### 1.4. Η διασταύρωση P και N

Η διασταύρωση P-N είναι μια περιοχή συνόρων μεταξύ των δύο τύπων ημιαγωγών υλικών που αναφέρονται παραπάνω, του τύπου P και του τύπου N, που τοποθετούνται σε ένα μόνο κρύσταλλο ημιαγωγών. Χωρίς να εφαρμόζεται εξωτερική τάση σε μια διασταύρωση P-N, επιτυγχάνεται μια συνθήκη ισορροπίας στην οποία σχηματίζεται μια διαφορά δυναμικού κατά μήκος της διασταύρωσης 16. Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι γνωστή ως το ενσωματωμένο δυναμικό  $V_{bi}$ .

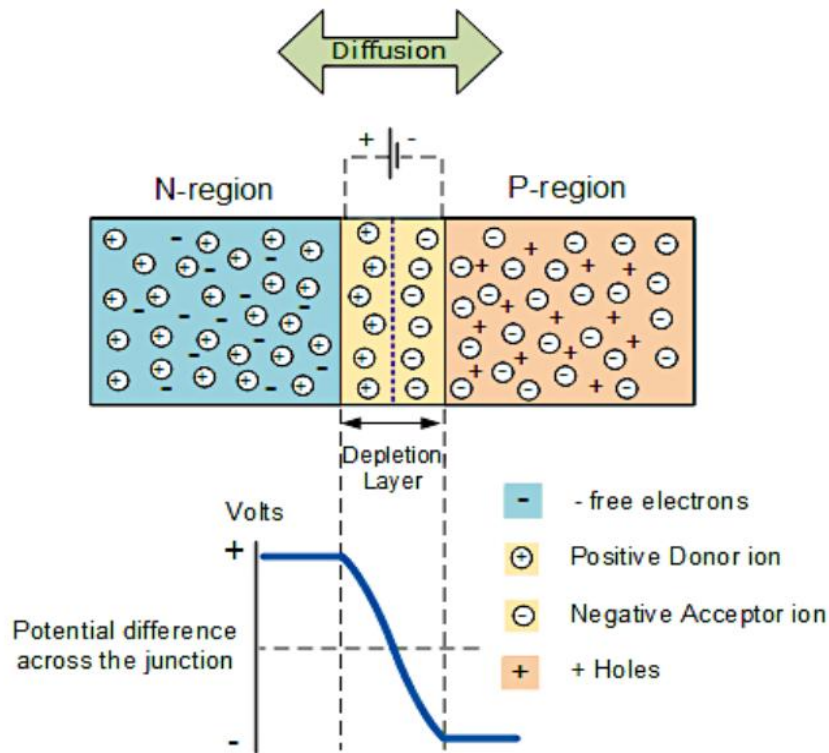
Στη διασταύρωση, κοντά στην περιοχή του δεσμού, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τύπου N έλκονται στις θετικές οπές του τύπου P. Διαχέονται προς τον τύπο P, ενώνονται με τις οπές και αλληλοεξουδετερώνονται. Η κίνηση των ηλεκτρονίων προς την πλευρά τύπου P εκθέτει θετικούς πυρήνες ιόντων στην πλευρά τύπου N, ενώ η κίνηση των οπών προς την πλευρά τύπου N εκθέτει αρνητικών ιόντων (ανιόντα) στην πλευρά τύπου P, με αποτέλεσμα ένα πεδίο ηλεκτρονίων στη διασταύρωση και το σχηματισμό της περιοχής ή του στρώματος εξάντλησης (Σχήμα 7) 14.

Με την πρόοδο της διαδικασίας διάχυσης, η ζώνη φορτίου χώρου αυξάνεται σε πλάτος, οδηγώντας σε βαθύτερα στρώματα στους κρυστάλλους και στις δύο πλευρές της διασταύρωσης 17.

Αυτό σημαίνει ότι στη ζώνη διασταύρωσης P-N έχουμε τα εξής: από τη μία πλευρά υπάρχει αρνητικό φορτίο (στη ζώνη P), όπου συνδυάζονται γάλλιο και πυρίτιο, και από την άλλη θετικό φορτίο (στη ζώνη N), όπου αρσενικό και πυρίτιο συνδυάζονται. Η συσσώρευση θετικών ιόντων στη ζώνη N και αρνητικών ιόντων στη ζώνη P (Σχήμα 7), δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο  $E$  που θα ενεργοποιηθεί έναντι των ελεύθερων ηλεκτρονίων στη ζώνη N με μια ορισμένη δύναμη μετατόπισης, η οποία θα αντισταθεί στην ρεύμα ηλεκτρονίων και τελικά θα τα σταματήσει 18.

Και οι δύο ζώνες πριν από αυτή την κίνηση των ηλεκτρονίων ήταν ουδέτερα φορτισμένες. Αυτή η διασταύρωση μπορεί να ονομαστεί δίοδος, όπως είναι γνωστή στα ηλεκτρονικά.

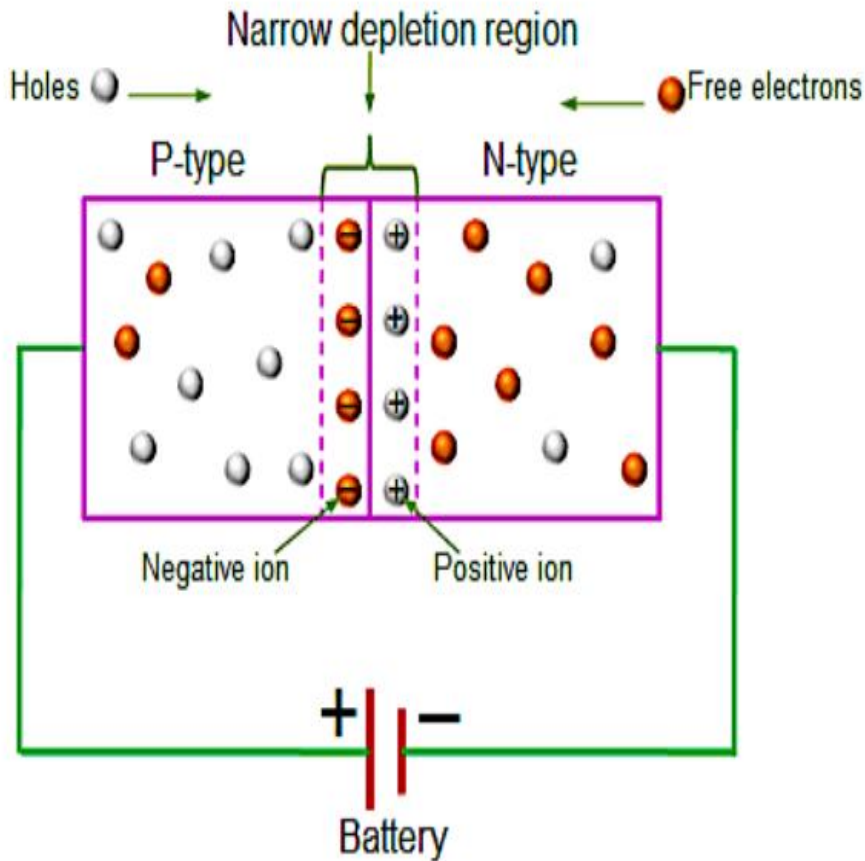




**Σχήμα 7:** Διασταύρωση PN14

Επομένως, όταν ένα νέο ηλεκτρόνιο από τη ζώνη N προσπαθήσει να περάσει στη ζώνη P, θα έρθει αντιμέτωπο με το αρνητικό φορτίο της στιβάδας εξάντλησης στο P που θα το εμποδίσει να περάσει, καθώς ίσα φορτία απωθούνται μεταξύ τους. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι αυτή η περιοχή λειτουργεί ως εμπόδιο. Ο ανασυνδυασμός ηλεκτρονίου-οπής τελειώνει σε αυτό το σημείο και δεν λαμβάνει χώρα άλλη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Τέλος, για να περάσουν περισσότερα ηλεκτρόνια μέσα από το στρώμα εξάντλησης και να συμβεί αγωγιμότητα, είναι απαραίτητο να τους τροφοδοτήσουμε με την ενέργεια που απαιτείται για να ξεπεραστεί η απωστική δύναμη των αρνητικών ιόντων στη ζώνη P. Αυτή η ενέργεια μπορεί να τροφοδοτηθεί από μια πηγή ισχύος, όπως μια μπαταρία ή ένα τροφοδοτικό, συνδεδεμένο στη διασταύρωση ή τη δίοδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



**Σχήμα 8:** Μεροληπτική διασταύρωση P-N προς τα εμπρός 19.

Υπάρχουν δύο συνθήκες πόλωσης με το δεδομένο τροφοδοτικό όταν μια διάοδος είναι συνδεδεμένη σε ένα κύκλωμα:

- ✓ η συνθήκη πόλωσης προς τα εμπρός και
- ✓ η συνθήκη αντίστροφης πόλωσης 20.

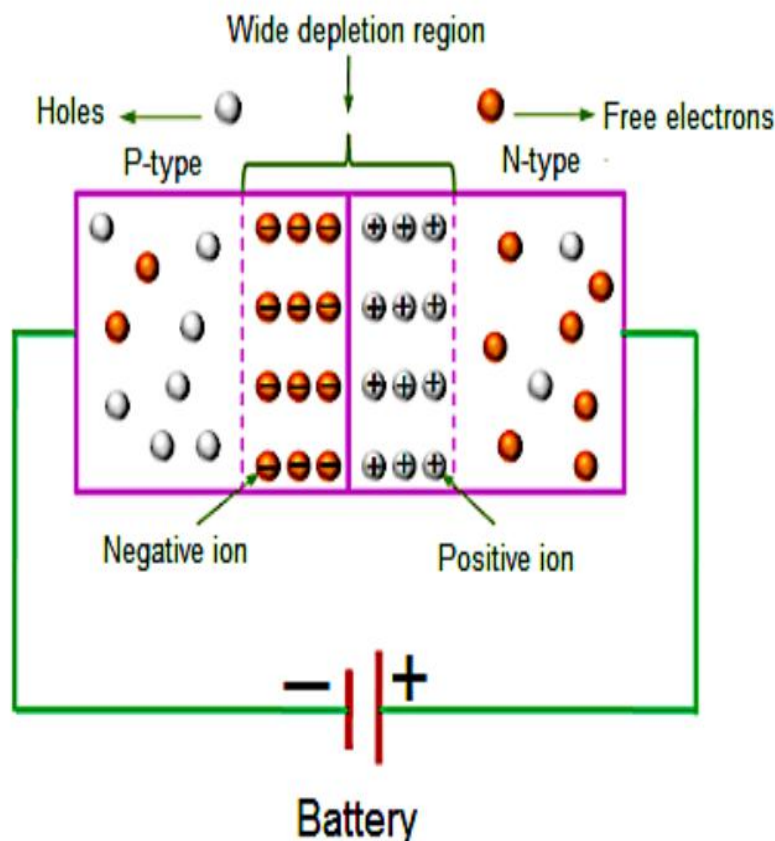
Εάν μια διάοδος είναι συνδεδεμένη σε ένα κύκλωμα, με την άνοδο της στο θετικό ακροδέκτη και την κάθοδο της στον αρνητικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού, είναι γνωστή ως «προκατειλημμένη» συνθήκη (Σχήμα 8), αλλά όταν συνδέεται αντίστροφα - η διάοδος συνδέεται με την άνοδο της στον αρνητικό ακροδέκτη και την κάθοδο στον θετικό ακροδέκτη του τροφοδοτικού. Η συγκεκριμένη σύνδεση είναι γνωστή ως αντίστροφη πόλωση (Σχήμα 8).

Η μπαταρία σε κατάσταση πόλωσης προς τα εμπρός μειώνει το φράγμα δυναμικού της περιοχής φόρτισης χώρου, επιτρέποντας στο ρεύμα ηλεκτρονίων να ρέει κατά μήκος της διασταύρωσης (Εικόνα 9), δηλαδή η άμεσα πολωμένη διάοδος άγει ηλεκτρισμό, συμβάλλει στην υψηλότερη αγωγιμότητα. Η εξωτερική τάση που απαιτείται για να φτάσει πάνω από το υπάρχον φράγμα δυναμικού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον συγκεκριμένο τύπο υλικού ημιαγωγού που χρησιμοποιείται και την πραγματική θερμοκρασία του ημιαγωγού. Σε θερμοκρασία δωματίου, η τάση μέσω του στρώματος εξάντλησης για το πυρίτιο είναι συνήθως περίπου 0,6 - 0,7 V και περίπου 0,3 - 0,35 V για το γερμάνιο 14.

Στο Σχήμα 9 μπορεί να παρατηρηθεί μια άμεση πόλωση (προς τα εμπρός) της σύνδεσης P-N με την μπαταρία, δίνοντας ελεύθερα ηλεκτρόνια στη ζώνη N και προσελκύοντας

ηλεκτρόνια σθένους από τη ζώνη P, μια σταθερή ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της διόδου μέχρι η μπαταρία να καταναλωθεί.

Εάν εφαρμοστεί μια τάση με έμμεση πολικότητα (αντίστροφη πόλωση), θα εμποδίζε περαιτέρω τη ροή ηλεκτρονίων κατά μήκος της διασταύρωσης καθώς θα τραβούσε τα ηλεκτρόνια μακριά από τη διασταύρωση, σταματώντας την αγωγιμότητα (Σχήμα 9). Μια δίοδος δεν μπορεί να διεξάγει αντίστροφη πόλωση 20.



Σχήμα 9: Αντίστροφη πόλωση σύνδεσης P-N19

## 1.5. Τύποι Φωτοβολταϊκών πάνελ

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ηλιακών συλλεκτών στην αγορά σήμερα, αλλά η καταλληλότητα η μη του κάθε τύπου, εξαρτάται από την εκάστοτε εγκατάσταση που μελετάται 22. Κάθε ηλιακό πάνελ έχει τα χαρακτηριστικά του, ενώ υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να λάβει κανείς υπόψη του πριν προβεί στην επιλογή του τύπου πάνελ που πρόκειται να χρησιμοποιήσει. Τα περισσότερα ηλιακά πάνελ που κυκλοφορούν αυτή τη στιγμή στην αγορά για συστήματα ηλιακής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

- Οι μονοκρυσταλλικοί ηλιακοί συλλέκτες,
- Οι πολυκρυσταλλικοί ηλιακοί συλλέκτες και
- Οι ηλιακοί συλλέκτες λεπτής μεμβράνης.

### 1.5.1. Μονοκρυσταλλικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι πλάκες «γκοφρέτες» των μονοκρυσταλλικών ηλιακών συλλεκτών είναι κατασκευασμένες από κυλίνδρους μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζονται με τη μέθοδο Czochralski και αυτό τους δίνει την υψηλή απόδοσή τους. Ωστόσο, ένα μεγάλο μέρος πυριτίου απορρίπτεται καθώς για να χωρέσουν περισσότερες γκοφρέτες στο πάνελ, οι κύλινδροι πυριτίου κόβονται στις τέσσερις πλευρές, τα αφαιρούμενα μέρη απορρίπτονται και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται το χαρακτηριστικό σχήμα των κυττάρων<sup>3</sup>. Με αυτόν τον τρόπο, ο χώρος στον πίνακα χρησιμοποιείται αποτελεσματικά. Δεδομένου ότι το στοιχείο αποτελείται από έναν μόνο κρύσταλλο, τα ηλεκτρόνια που δημιουργούν ροή ρεύματος έχουν περισσότερο χώρο για να κυκλοφορήσουν. Αποτέλεσμα αυτού είναι η υψηλή απόδοση αυτού του τύπου ηλιακού πάνελ.

Όντας από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ έχουν πιο σκούρα εμφάνιση, ενώ αυτό τους επιτρέπει να συλλαμβάνουν λίγη περισσότερη ηλιακή ενέργεια <sup>22</sup>.



**Εικόνα 2:** Μονοκρυσταλλικός Ηλιακός Συλλέκτης SFM65 (Πηγή: solarsufu.com)

### 1.5.2. Πολυκρυσταλλικός Ηλιακός Συλλέκτης

Η κύρια διαφορά μεταξύ μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών πάνελ είναι στην κατασκευή τους. Ενώ τα μονοκρυσταλλικά πάνελ κατασκευάζονται από ένα κελί, τα πολυκρυσταλλικά πάνελ είναι κατασκευασμένα από υπολείμματα λιωμένου πυριτίου. Το γεγονός ότι δεν είναι καθαρό πυρίτιο, δίνει στον συλλέκτη ένα ελαφρώς γαλαζωπό χρώμα<sup>23</sup>. Ταυτόχρονα, αντί να είναι σε κυλίνδρους, μπορεί να διαμορφωθεί σε

---

οποιοδήποτε σχήμα και συνεπώς, τις περισσότερες φορές μπαίνει σε τετράγωνα ώστε να πιάνει όσο περισσότερο χώρο γίνεται. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ πιο γρήγορη από την κατασκευή μονοκρυσταλλικών κυψελών, και επίσης φθηνότερη καθώς δεν χρησιμοποιείται πυρίτιο μονοκυττάρων.

Η ζέστη και οι μεγάλες θερμοκρασίες, επηρεάζουν την απόδοση των συγκεκριμένων κατασκευών σε ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό. τους λίγο περισσότερο από τους μονοκρυσταλλικούς. Ωστόσο, αυτό είναι ένα δευτερεύον ζήτημα και οι χρήστες δεν χρειάζεται συνήθως να το λάβουν υπόψη τους, καθώς η διαφορά που προκύπτει, στα περισσότερα σενάρια είναι ελάχιστη 24.



**Εικόνα 3:** Πολυκρυσταλλικός Ηλιακός Συλλέκτης (Πηγή: gosolar.gr)

### **1.5.3. Ηλιακοί συλλέκτες λεπτής μεμβράνης**

Τα ηλιακά κύτταρα λεπτής μεμβράνης (TFSC) κατασκευάζονται με την εναπόθεση ενός ή περισσότερων λεπτών στρωμάτων φωτοβολταϊκού υλικού σε υπόστρωμα.

Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη σύνθεση των στρωμάτων που εφαρμόζονται σε αυτά 10. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι το άμορφο πυρίτιο, το τελλουρίδιο

του καδμίου και σεληνιούχο γάλλιο ινδίου χαλκού.

- Το άμορφο πυρίτιο είναι η φθηνότερη και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη επιλογή παρόλο που έχουν μάλλον χαμηλή απόδοση της τάξης του 7%.
- Το τελλουρίδιο του καδμίου είναι επίσης μια φθηνή εναλλακτική λύση και με υψηλότερη απόδοση η οποία φτάνει περίπου το 11%, αλλά η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται είναι αρκετά σπάνια και έτσι, κατασκευάζεται σπάνια.
- Το σεληνιούχο γάλλιο του χαλκού ινδίου είναι ο πιο ακριβός τύπος καθώς έχουν φθάσει σε απόδοση υψηλότερη από 20%

Είναι εύκολα και φτηνά κατασκευαστικά, καθώς χρειάζεται πολύ λιγότερο υλικό για την παραγωγή τους και επομένως, η μαζική παραγωγή είναι απλή. Είναι ελαφριά και μπορούν να είναι εύκαμπτα, ώστε να είναι λιγότερο πιθανό να σπάσουν, αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι μικρότερη καθώς τείνουν να αποικοδομούνται πιο γρήγορα από τους κρυσταλλικούς τύπους.

Αυτό το είδος ηλιακού πάνελ έχει πολύ χαμηλότερη απόδοση και επομένως θα καταλάμβανε πολύ περισσότερο χώρο για την παραγωγή της ίδιας ισχύος με οποιαδήποτε από τις άλλες δύο ποικιλίες.



**Εικόνα 4:** Ηλιακός Συλλέκτης Λεπτής Μεμβράνης (Πηγή: gosolar.gr)

Στον παρακάτω πίνακα, συνοψίζονται τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου φωτοβολταϊκού ηλιακού πάνελ ανάλογα με την κατασκευή του. Έτσι, ο παρακάτω πίνακας περιέχει πληροφορίες για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τύπου σε σύγκριση με τους άλλους.

**Πίνακας 1:** Σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων ηλιακών πάνελ

Τύπος Ηλιακού Πάνελ	Μονοκρυσταλλικό	Πολυκρυσταλλικό	Λεπού Φίλμ
Πλεονεκτήματα	Υψηλή απόδοση (15-	Χαμηλό Κόστος	Πολύ φθηνό

	20%) Πιο κομψή αισθητική Καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο	Γρήγορη κατασκευή	Το πιο αισθητικό
<b>Μειονεκτήματα</b>	Υψηλό κόστος Πολλά απόβλητα πυριτίου	Χαμηλή απόδοση (13- 17%)	Πολύ χαμηλή απόδοση (7- 13%)
<b>Χαρακτηριστικά</b>	Λαμβάνεται από καθαρό πυρίτιο	Λιγότερες φάσεις κρυστάλλωσης και γαλαζωπή επιφάνεια	Ελαφρύ Ευέλικτο

## 2. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ – ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

### 2.1. Γενικά

Η θεμελιώδης αρχή μιας μπαταρίας αποτελείται από τις αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής (οξειδοαναγωγής) ορισμένων χημικών ουσιών, η μία από τις οποίες χάνει ηλεκτρόνια (οξειδωτική), ενώ η άλλη αποκτά ηλεκτρόνια (αναγωγική). Έτσι, αντιδράσεις που περιλαμβάνουν μεταφορά ηλεκτρονίων 25.

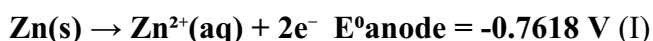
Οι διαδικασίες μείωσης της οξείδωσης είναι ταυτόχρονες, πράγμα που σημαίνει ότι για να χάσει ένα χημικό είδος ηλεκτρόνια, ένα άλλο είδος πρέπει να είναι παρόν για να τα δεχτεί 26. Οι μπαταρίες περιέχουν χημικά στοιχεία που παρουσιάζουν θετικό πόλο (κάθοδος) και αρνητικό πόλο (άνοδος), μαζί με ηλεκτρολύτες που επιτρέπουν και διευκολύνουν την ηλεκτρική ροή. Η άνοδος και η κάθοδος δεν έρχονται ποτέ σε επαφή μεταξύ τους. συνδέονται μέσω του ηλεκτρολύτη 27. Αυτά τα κύτταρα μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας αναστρέψιμης ή μη αναστρέψιμης διαδικασίας, ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας. Με αυτόν τον τρόπο, έχουμε δύο τύπους κυττάρων, που δεν είναι άλλα από τα πρωτογενή και τα δευτερογενή κύτταρα.

### 2.2. Πρωτογενή κύτταρα

Μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή πρωτεύουσες κυψέλες είναι εκείνες που, μόλις λάβει χώρα η αντίδραση, δεν μπορούν να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση, εξαντλώντας έτσι την ικανότητά τους να αποθηκεύουν ηλεκτρικό ρεύμα 28. Έτσι, όταν χρησιμοποιηθούν, αυτές οι μπαταρίες πρέπει να πεταχτούν γιατί οι ηλεκτροχημικές διεργασίες που έκαναν την μπαταρία να παράγει ενέργεια δεν μπορούν να αντιστραφούν.

#### 2.2.1. Κυψέλη υδραργύρου - άνθρακα

Μια κοινή κύρια μπαταρία είναι η ξηρή κυψέλη ψευδαργύρου-άνθρακα. Παρέχει περίπου 1,5 βολτ συνεχούς ρεύματος από μια ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ ψευδαργύρου και διοξειδίου του μαγγανίου. Μια ράβδος άνθρακα συλλέγει το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διοξειδίου του μαγγανίου, δίνοντας στην κυψέλη το όνομά της. Ο ψευδάργυρος μπορεί να χρησιμεύσει ως δοχείο καθώς και ως αρνητικό ηλεκτρόδιο (Εικόνα 11). Μια ράβδος άνθρακα είναι το θετικό ηλεκτρόδιο και περικλείεται από πάστα οξειδίου του μαγγανίου (IV), χλωριούχο ψευδάργυρο, χλωριούχο αμμώνιο, σκόνη άνθρακα και μια μικρή ποσότητα νερού 29. Η αντίδραση ανόδου αντιπροσωπεύεται ως η τυπική οξείδωση του ψευδαργύρου:



Τα ηλεκτρόνια μετακινούνται από το τμήμα ψευδαργύρου στο τμήμα του οξειδίου του μαγγανίου (IV), με αποτέλεσμα ένα έλλειμμα ηλεκτρονίων στο τμήμα ψευδαργύρου και μια περίσσεια ηλεκτρονίων στο τμήμα του οξειδίου του μαγγανίου (IV). Για να διασφαλιστεί ότι η μπαταρία λειτουργεί σωστά για μεγάλο χρονικό διάστημα, και τα δύο τμήματα θα πρέπει να είναι σε ισορροπία.

Στη δεύτερη ενότητα, περισσότερες από μία αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στην κάθοδο - επομένως είναι λίγο πιο περίπλοκη 29. Το μαγγάνιο αναμιγνύεται με σκόνη



---

άνθρακα για να αυξήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σε αυτή την αντίδραση, το μαγγάνιο μειώνεται, κερδίζοντας ηλεκτρόνια, και μετατρέπει την κατάσταση οξειδωσης από +4 σε +3. Η αλληλουχία των αντιδράσεων που συμβαίνουν μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:



Το χλωριούχο αμμώνιο χρησιμοποιείται κυρίως ως πηγή πρωτονίων  $\text{H}^+$  που μπορεί να εξισορροπήσει την περίσσεια ηλεκτρονίων στο τμήμα του οξειδίου του μαγγανίου (IV). Ταυτόχρονα, τα παραγόμενα ιόντα χλωρίου  $\text{Cl}^-$  (εξίσωση II) εξισορροπούν την έλλειψη ηλεκτρονίων στο τμήμα ψευδαργύρου. Επιπλέον, από την πλευρά του ψευδάργυρου, η αντίδραση δημιουργεί  $\text{Zn}^{2+}$  (βλέπε εξίσωση I), που σχηματίζει αδιάλυτες ενώσεις υπό αυτές τις συνθήκες. Εάν αυτές οι ενώσεις συσσωρευτούν, το ηλεκτρικό ρεύμα θα σταματήσει τελικά. Χάρη, για άλλη μια φορά, στο χλωριούχο αμμώνιο, η αμμωνία  $\text{NH}_3$  που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης (εξίσωση II) θα σχηματίσει μια ένωση με  $\text{Zn}^{2+}$  που είναι εύκολα διαλυτή στο νερό.

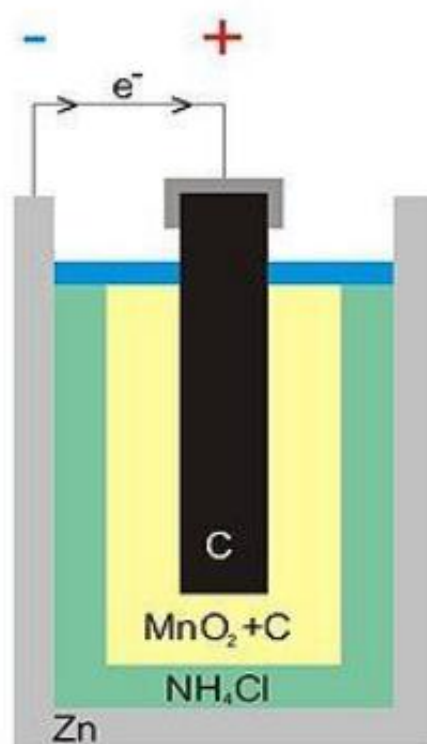
Τέλος, η συνολική αντίδραση της μπαταρίας ψευδαργύρου-άνθρακα μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:



Το συνολικό δυναμικό της κυψέλης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι αρχικά 1,5 V, αλλά σταδιακά πέφτει καθώς χρησιμοποιείται η μπαταρία.

Εφόσον το δοχείο ψευδαργύρου οξειδώνεται, τελικά θα χάσει το περιεχόμενό του, γι' αυτό και αυτός ο τύπος μπαταρίας μπορεί να μην μείνει με καμία ηλεκτρική συσκευή για παρατεταμένες περιόδους 29.

Αυτός ο τύπος μπαταρίας έχει επίσης μικρή διάρκεια ζωής και φθείρεται σημαντικά σε κρύο καιρό 30.



**Σχήμα 10:** Σχέδιο μπαταρίας ψευδαργύρου-άνθρακα 30

Στον πίνακα 2, παρουσιάζονται οι χημικές ενώσεις και οι αντίστοιχοι τύποι τους, οι οποίοι συναντώνται σε κάθε μέρος της μπαταρίας.

**Πίνακας 2:** Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας ψευδαργύρου-άνθρακα

Μέρος της Μπαταρίας	Χημική Ένωση	Τύπος
<b>Άνοδος</b>	Ψευδάργυρος	Zn
<b>Κάθοδος</b>	Διοξείδιο του μαγγανίου	MnO <sub>2</sub>
<b>Ηλεκτρολύτης</b>	Χλωριούχο αμμώνιο ή Χλωριούχος Ψευδάργυρος διαλυμένος σε νερό	NH <sub>4</sub> Cl ή ZnCl <sub>2</sub>

### 2.2.2. Αλκαλικό στοιχείο

Στη δεκαετία του 1950, οι αλκαλικές μπαταρίες εισήχθησαν εν μέρει για να ξεπεραστούν ορισμένα από τα προβλήματα απόδοσης των ξηρών κυψελών ψευδαργύρου-άνθρακα 29.

Τα αλκαλικά κύτταρα και οι μπαταρίες χρησιμοποιούν αλκαλικούς ηλεκτρολύτες, όπως υποδηλώνει το όνομα, συνήθως υδροξείδιο του καλίου KOH, αντί για το χλωριούχο (χλωριούχο αμμώνιο ή χλωριούχος ψευδάργυρος) των μπαταριών ψευδαργύρου-άνθρακα.

Όπως και στην μπαταρία ψευδαργύρου-άνθρακα, ο άνθρακας χρησιμοποιείται στην κάθοδο επειδή το διοξείδιο του μαγγανίου δεν είναι από μόνο του καλός αγωγός.

Συνήθως έχει τη μορφή γραφίτη ή μαύρου ακετυλενίου. Ο ηλεκτρολύτης, KOH, επιτρέπει υψηλή ιοντική αγωγιμότητα. Συχνά προστίθεται οξείδιο ψευδαργύρου για να σταματήσει τη διάβρωση της ανόδου του ψευδαργύρου 31.

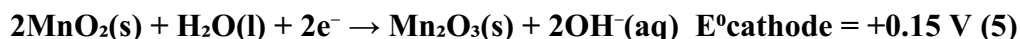
Στην απλοποιημένη μορφή οι αντιδράσεις είναι:

➤ Στην άνοδο:

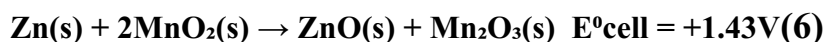


Γίνεται η οξείδωση του Zn χάνοντας δύο ηλεκτρόνια.

➤ Στην κάθοδο



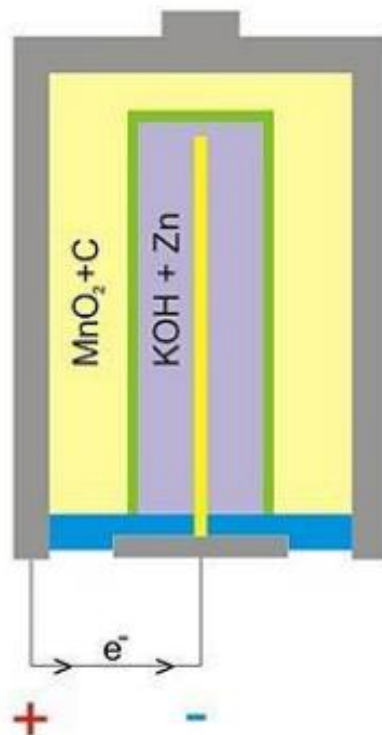
Η αναγωγή του οξειδίου του μαγγανίου (IV) συμβαίνει, κερδίζοντας ηλεκτρόνια, για να δώσει μαγγάνιο (III) οξείδιο. Η συνολική αντίδραση είναι:



Η αλκαλική μπαταρία έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την μπαταρία ψευδαργύρου-άνθρακα: μπορεί να προσφέρει τρεις έως πέντε φορές την ενέργεια μιας ξηρής μπαταρίας ψευδαργύρου-άνθρακα παρόμοιου μεγέθους<sup>29</sup>, έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, βελτιωμένη απόδοση σε συνεχείς και διακοπτόμενους κύκλους λειτουργίας και χαμηλότερη εσωτερική αντίσταση, επιτρέποντάς του να λειτουργεί σε υψηλότερες τιμές εκφόρτισης σε ένα ευρύτερο εύρος λειτουργίας θερμοκρασίας. Επιπλέον, έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και καλύτερη απόδοση σε κρύο καιρό και αποχέτευση<sup>30</sup>. Από την άλλη πλευρά, η τιμή αυτών των μπαταριών είναι υψηλότερη από αυτή των μπαταριών άνθρακα - ψευδαργύρου. Δεδομένου ότι οι αλκαλικές μπαταρίες είναι ευαίσθητες σε διαρροή υδροξειδίου του καλίου, πρέπει επίσης να αφαιρούνται από τις συσκευές για μακροχρόνια αποθήκευση. Αν και ορισμένες αλκαλικές μπαταρίες είναι επαναφορτιζόμενες, οι περισσότερες δεν είναι. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για επαναφόρτιση μιας αλκαλικής μπαταρίας που δεν είναι επαναφορτιζόμενη και οδήγησε στη ρήξη της μπαταρίας και τη διαφυγή του ηλεκτρολύτη υδροξειδίου του καλίου<sup>29</sup>.

**Πίνακας 3:** Συνοπτικός πίνακας αλκαλικής μπαταρίας

Μέρος της Μπαταρίας	Χημική Ένωση	Τύπος
Άνοδος	Ψευδάργυρος σε σκόνη	Zn
Κάθοδος	Σκόνη Διοξειδίου του μαγγανίου	MnO <sub>2</sub>
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλίου	KOH



**Σχήμα 11:** Σχέδιο αλκαλικής μπαταρίας 30

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι διάφορες χημικές ενώσεις και οι αντίστοιχες φόρμουλες που βρίσκονται σε κάθε μέρος της μπαταρίας.

### 2.3. Δευτερεύοντα Κύτταρα

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ή οι δευτερεύουσες μπαταρίες είναι εκείνες που μπορούν να λάβουν παροχή ηλεκτρικής ενέργειας για να αποκαταστήσουν την αρχική τους χημική σύνθεση, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές πριν εξαντληθούν πλήρως.

Για παράδειγμα, αυτό συμβαίνει όταν συνδεθεί η μπαταρία του κινητού τηλεφώνου σε φορτιστή που είναι συνδεδεμένος σε τροφοδοτικό 32. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι δευτερογενών μπαταριών είναι οι μπαταρίες νικελίου (νικελίου-σιδήρου, νικελίου-καδμίου και υδριδίου νικελίου), μολύβδου-οξέος, ιόντων λιθίου (LiION) και λιθίου-πολυμερούς (LiPo).

#### 2.3.1. Μπαταρίες Νικελίου - Καδμίου

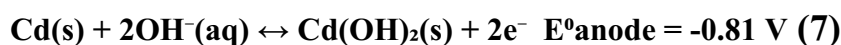
Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCd) (Εικόνα 13), αποτελούνται από μια επινικλωμένη κάθοδο, μια επικαλυμμένη με κάδμιο άνοδο και ένα ηλεκτρόδιο υδροξειδίου του καλίου 29. Παρόλο που ο ηλεκτρολύτης, KOH, δρα μόνο ως αγωγός ιόντων και δεν συμβάλλει ουσιαστικά στην αντίδραση του κυττάρου, περιστασιακά χρησιμοποιείται το NaOH ως ηλεκτρολύτης, το δεν έχει την ίδια αγωγιμότητα, αλλά δεν διοχετεύεται τόσο πολύ μέσω της σφράγισης. Για την αποφυγή βραχυκυκλώματος, οι θετικές και αρνητικές πλάκες τυλίγονται μαζί και εισάγονται στη θήκη. Πρόκειται για ένα σχέδιο «ζελέ-ρολό» (Εικόνα 13) το οποίο επιτρέπει στην μπαταρία NiCd να

---

παρέχει πολύ περισσότερο ρεύμα σε σχέση με μια αλκαλική μπαταρία παρόμοιου μεγέθους 29.

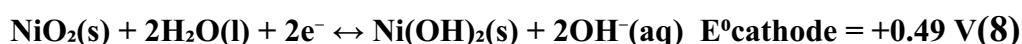
Σε αυτόν τον τύπο μπαταρίας λαμβάνουν χώρα οι ακόλουθες αντιδράσεις:

➤ Στην άνοδο



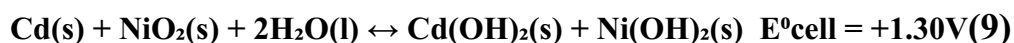
Το μέταλλο του καδμίου μετατρέπεται σε υδροξείδιο του καδμίου χάνοντας δύο ηλεκτρόνια, οπότε λαμβάνει χώρα οξείδωση.

➤ Στην κάθοδο

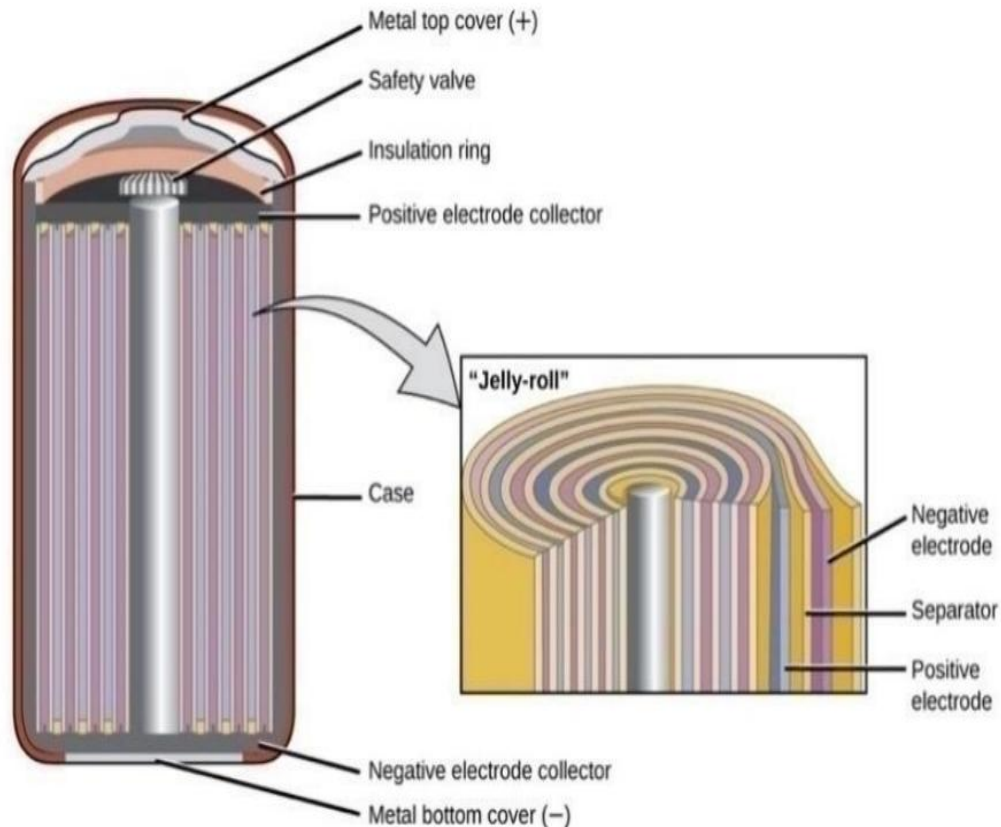


Σε αυτή την αντίδραση αναγωγής, το νικέλιο μεταβαίνει από μια κατάσταση οξείδωσης +3 σε +2.

➤ Η γενική αντίδραση είναι:



Όπως φαίνεται από την εξίσωση 9, η τάση αυτής της μπαταρίας κυμαίνεται από 1,2 έως 1,5 V. Εάν αντιμετωπιστεί σωστά, μια μπαταρία NiCd μπορεί να επαναφορτιστεί περίπου 1000 φορές 29. Έχει επίσης άλλα πλεονεκτήματα, όπως η καλή απόδοση σε εφαρμογές υψηλής εκφόρτισης και χαμηλής θερμοκρασίας (PowerStream, 2021). Είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μπαταρίες για βιομηχανικές εφαρμογές καθώς έχει πολλά χαρακτηριστικά καλύτερα από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος που αναφέρονται παρακάτω. Σε σύγκριση με μια μπαταρία μολύβδου-οξέος, μια μπαταρία NiCd είναι πολύ πιο εύκολη στη συντήρηση και έχει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, πράγμα που σημαίνει λιγότερη συντήρηση. Τα μειονεκτήματα είναι ότι είναι πιο ακριβές από τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος και προσφέρουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Ένας από τους πιο γνωστούς περιορισμούς είναι πιθανώς το φαινόμενο μνήμης, που σημαίνει ότι η κυψέλη διατηρεί τα χαρακτηριστικά του προηγούμενου κύκλου 33. Επίσης, το κάδμιο είναι ένα τοξικό βαρύ μέταλλο, επομένως οι μπαταρίες NiCd δεν πρέπει να ανοίγονται ή να πετιούνται και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή κατά την απόρριψη των μπαταριών 34.



**Σχήμα 12:** Μπαταρία Νικελίου – Καδμίου 35

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται οι διάφορες χημικές ενώσεις και οι αντίστοιχες φόρμουλες που βρίσκονται σε κάθε μέρος της μπαταρίας.

**Πίνακας 4:** Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας Νικελίου - Καδμίου

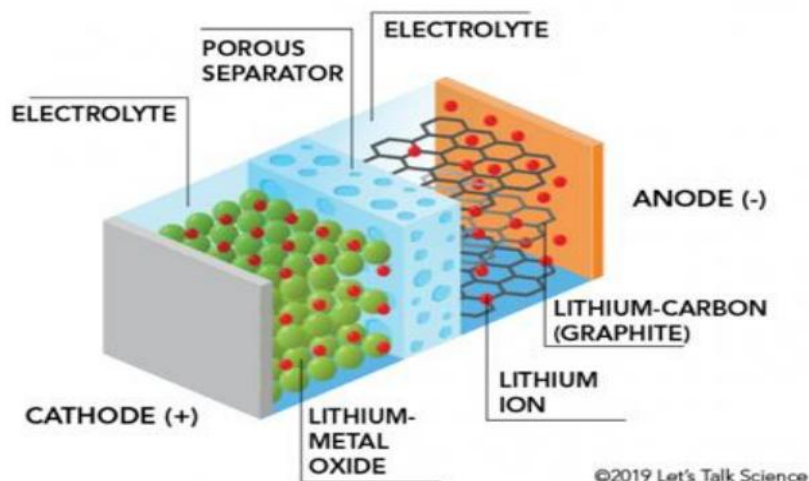
Μέρος της Μπαταρίας	Χημική Ένωση	Τύπος
Άνοδος	Κάδμιο	Cd
Κάθοδος	Νικέλιο	Ni
Ηλεκτρολύτης	Υδροξείδιο του καλλίου	KOH

### 2.3.2. Κυψέλη ιόντων λιθίου

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου (LIBs) (Εικόνα 14) αντιπροσωπεύουν έναν από τους πιο δημοφιλείς επαναφορτιζόμενους τύπους μπαταριών που χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές. Η χρήση τους είναι επίσης γνωστή για ηλεκτρικά οχήματα και γίνεται όλο και πιο δημοφιλής για στρατιωτικές και αεροδιαστημικές χρήσεις.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου χρησιμοποιούν μια ένωση λιθίου που παρεμβάλλεται ως υλικό καθόδου και συνήθως γραφίτη ως υλικό ανόδου (Σχήμα 13). Τα κύτταρα σε πειραματικές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει επίσης οξείδιο λιθιωμένου μετάλλου όπως  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{NiNi}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ,  $\text{LiV}_6\text{O}_{13}$ ,  $\text{LiMn}_4\text{O}_9$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiNiO}_{0.2}\text{CoO}_2$  (PowerStream, 2021). Στις μπαταρίες ιόντων λιθίου δίνεται το όνομα των ενεργών υλικών τους και οι λέξεις γράφονται πλήρως ή σε συντόμευση ανάλογα

με τα χημικά τους σύμβολα 33.



**Σχήμα 13:** Μέρη μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου 37

Σήμερα, οι μπαταρίες κοινής χρήσης περιέχουν μικροπορώδεις μεμβράνες πολυαιθυλενίου. Αυτά απαιτούνται για τον διαχωρισμό των ηλεκτρονίων από τα ιόντα. Γενικά, το  $\text{LiPF}_6$  χρησιμοποιείται ως ηλεκτρολύτης, αλλά έχει πρόβλημα διάβρωσης με το αλουμίνιο και ως εκ τούτου διερευνώνται διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Μία από αυτές είναι το  $\text{LiBF}_4$  33.

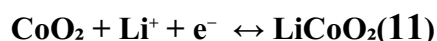
Η χημεία, η απόδοση, το κόστος και οι ιδιότητες ασφάλειας της μπαταρίας διαφέρουν για κάθε τύπο μπαταρίας ιόντων λιθίου. Οι φορητές ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούν κυρίως μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (με ένα πολυμερές gel ως ηλεκτρολύτη), ένα υλικό οξειδίου του κοβαλτίου λιθίου ( $\text{LiCoO}_2$ ) και μια άνοδο γραφίτη, προσφέροντας μαζί με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα. Οι αντιδράσεις της μπαταρίας οξειδίου του λιθίου κοβαλτίου ( $\text{LiCoO}_2$ ) θα εξηγηθούν στα διάφορα μέρη της μπαταρίας.

Η ακόλουθη ημιαντίδραση λαμβάνει χώρα στην άνοδο:



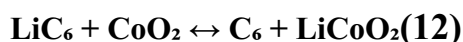
Η ένωση ενδιάμεσης στιβάδας γραφίτη  $\text{LiC}_6$  έχει ως αποτέλεσμα γραφίτη ( $\text{C}_6$ ) και ιόντα λιθίου, ενώ λαμβάνει χώρα οξείδωση.

Η ακόλουθη ημιαντίδραση λαμβάνει χώρα στην κάθοδο:



Σε αυτή την αντίδραση αναγωγής, το οξείδιο του κοβαλτίου συνδυάζεται με ιόντα λιθίου για να σχηματίσει οξείδιο κοβαλτίου λιθίου ( $\text{LiCoO}_2$ ).

Η γενική αντίδραση είναι:



Η τάση της μπαταρίας είναι περίπου 3,7 V 29. Αυτός ο τύπος μπαταρίας έχει τεράστια ενεργειακή πυκνότητα, εκτός από το ελαφρύ, μικρό μέγεθος και καλή απόδοση, αλλά αρχίζουν να αποτυγχάνουν μετά από δύο ή τρία χρόνια 38. Αφού πρέπει να αντικατασταθούν και τόσο η παραγωγή όσο και η απόρριψη των μπαταριών ιόντων λιθίου έχουν μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον, πράγμα που σημαίνει ότι όσο περισσότερο διαρκούν αυτές οι μπαταρίες, τόσο το καλύτερο 37. Ένα άλλο

πλεονέκτημα είναι το χαμηλό αποτέλεσμα μνήμης τους.

Ένα μειονέκτημα αυτών των μπαταριών είναι το υψηλό κόστος κεφαλαίου τους και ότι το λίθιο είναι εξαιρετικά αντιδραστικό, επομένως οι κατασκευαστές πρέπει να λάβουν ειδικά μέτρα ασφαλείας για να διασφαλίσουν ότι οι μπαταρίες είναι ασφαλείς στη λειτουργία τους. Οι άνθρωποι μπορεί να έχουν ακούσει για ηλεκτρονικές συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές ή κινητά τηλέφωνα, που φλέγονται λόγω των μπαταριών τους. Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου περιέχουν έναν διαχωριστή που κρατά τα ηλεκτρόδια των στοιχείων της μπαταρίας μακριά από την επαφή μεταξύ τους. Ωστόσο, τα ηλεκτρόδια μπορούν να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους εάν αυτός ο διαχωριστής σπάσει ή καταστραφεί. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη συσσώρευση θερμότητας και, σε περίπτωση σπινθήρα, μπορεί να συμβεί ανάφλεξη του πολύ εύφλεκτου ηλεκτρολύτη 39. Οι κατασκευαστές βελτιώνουν συνεχώς τα ιόντα λιθίου, ενώ νέοι και βελτιωμένοι χημικοί συνδυασμοί εμφανίζονται περίπου κάθε έξι μήνες 40. Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας συνοπτικός πίνακας με τις χημικές ενώσεις και τους αντίστοιχους τύπους τους που βρίσκονται σε κάθε μέρος της μπαταρίας.

**Πίνακας 5:** Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας Ιόντων Λιθίου

Μέρος της Μπαταρίας	Χημική Ένωση	Τύπος
Άνοδος	Σύνθεση άνθρακα, γραφίτης	C
Κάθοδος	Οξειδίο του Λιθίου	Li <sub>2</sub> O
Ηλεκτρολύτης	Γέλη	KOH

### 2.3.3. Κυψέλη μολύβδου - οξέος

Η μπαταρία μολύβδου-οξέος (Εικόνα 15) ήταν ο πρώτος τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που αναπτύχθηκε για εμπορική χρήση. Είναι φθηνή και ταυτόχρονα ικανή να παράγει το υψηλό ρεύμα που απαιτείται από τους κινητήρες εκκίνησης αυτοκινήτων<sup>29</sup>. Μόνο λίγες μπαταρίες παρέχουν μαζική ισχύ τόσο οικονομική όσο και η συγκεκριμένη μπαταρία, ενώ το συγκεκριμένο ζήτημα είναι αυτό που την καθιστά οικονομική για αυτοκίνητα, αυτοκίνητα του γκολφ, περνοφόρα ανυψωτικά μηχανήματα, βάρκες και τροφοδοτικά αδιάλειπτης ισχύος (UPS) 38.

Αυτός ο τύπος μπαταρίας αποτελείται από μια πλάκα μολύβδου επικαλυμμένη με οξειδίο μολύβδου (II), PbO<sub>2</sub>, στο θετικό ηλεκτρόδιο και ένα σφουγγάρι ή πορώδες ηλεκτρόδιο στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Ο συγκεκριμένος μολύβδος είναι πορώδης ώστε να διευκολύνεται τόσο ο σχηματισμός όσο και η διάλυσή του. Ως ηλεκτρολύτης έχειθεικό οξύ διαλυμένο στο νερό, ενώ τα δύο ηλεκτρόδια βυθίζονται στο διάλυμα.

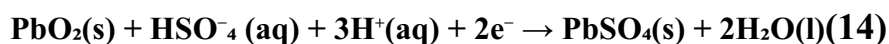
Οι αντιδράσεις για μια μπαταρία μολύβδου-οξέος είναι:

➤ Στην άνοδο:



Στην αρνητική πλάκα, τα θειικά ιόντα στον ηλεκτρολύτη αντιδρούν με τον μολύβδο, οξειδώνοντάς τον και σχηματίζοντας θεικό μολύβδο (PbSO<sub>4</sub>). Αυτή η αντίδραση απελευθερώνει δύο ηλεκτρόνια.

➤ Στην κάθοδο:



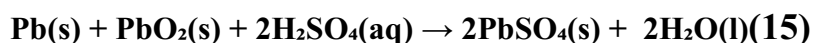
Στη θετική πλάκα, τα θειικά ιόντα αντιδρούν με το διοξειδίο του μολύβδου, μειώνοντάς



---

το και σχηματίζοντας θειικό μόλυβδο, ενώ το υδρογόνο στο θειικό οξύ αντιδρά με το οξυγόνο από το διοξείδιο του μολύβδου για την παραγωγή νερού. Η θετική πλάκα χρειάζεται ηλεκτρόνια και φυσικά, τα αποκτά από την αρνητική πλάκα.

Η γενική αντίδραση έχει ως εξής:



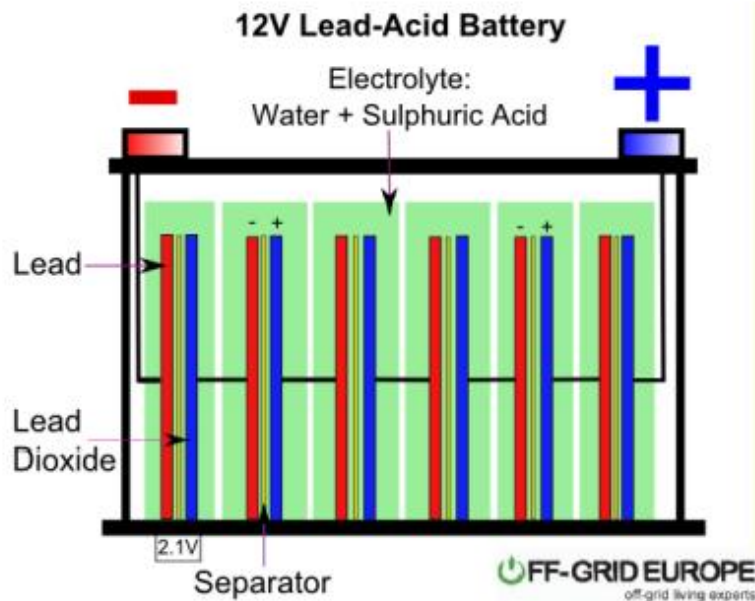
Τέτοιες αντιδράσεις εξαλείφουν το θειικό οξύ από τον ηλεκτρολύτη και σταματούν τελικά όταν δεν υπάρχει άλλο οξύ ή μόλυβδος (διοξείδιο) για να αντιδράσει. Ο θειικός μόλυβδος, το υποπροϊόν αυτών των αντιδράσεων, επικαλύπτει τις πλάκες, καταστρέφοντας τις, μειώνοντας την χωρητικότητά τους και αυξάνοντας την αντίστασή τους εάν αφηθεί να σχηματίσουν σκληρούς κρυστάλλους 41.

Αν αναπτυχθούν μεγάλοι κρύσταλλοι, θα συμβεί μείωση του ενεργού υλικού της μπαταρίας που ευθύνεται για την απόδοση της μπαταρίας 42. Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, τότε αυτό σημαίνει ότι η μπαταρία είναι θειωμένη και πρέπει να αντικατασταθεί με καινούργια.

Κάθε στοιχείο παράγει 2V, που σημαίνει ότι η σύνδεση έξι κυψελών σε σειρά θα παράγει μια μπαταρία αυτοκινήτου 12V. Τέτοιες μπαταρίες είναι συνήθως βαριές και περιέχουν έναν καυστικό υγρό ηλεκτρολύτη, ωστόσο, συχνά εξακολουθούν να επιλέγονται για την υψηλή πυκνότητα ρεύματος. Καθώς αυτές οι μπαταρίες περιέχουν όντως σημαντική ποσότητα μολύβδου, πρέπει πάντα να πραγματοποιείται η σωστή απόρριψη 29.

Είναι λιγότερο μακροχρόνιες από τις μπαταρίες νικελίου και λιθίου όταν υποβάλλονται σε βαθιά ανακύκλωση. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μια πλήρης εκφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την καταπόνηση και κάθε κύκλος εκφόρτισης/φόρτισης θα αδειάζει μόνιμα την μπαταρία από μια μικρή ποσότητα χωρητικότητας. Αν και αυτή η απώλεια είναι μικρή εφόσον η μπαταρία βρίσκεται σε καλή κατάσταση λειτουργίας, η εξασθένιση θα αυξηθεί μόλις η απόδοση πέσει στο μισό της ονομαστικής χωρητικότητας. Όλες οι μπαταρίες υπόκεινται σε αυτό το χαρακτηριστικό ξεθώριασμα σε διαφορετικούς βαθμούς 38. Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, ειδικά οι μπαταρίες LiFeSO<sub>4</sub>, είναι τεχνικά πιο συμφέρουσες για χρήση στο διακοπτόμενο ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα από μια συμβατική μπαταρία μολύβδου-οξέος.

Όταν χρησιμοποιούνται μπαταρίες μολύβδου-οξέος, παράγονται μικροί κρύσταλλοι θεικών αλάτων, αλλά αυτοί είναι φυσιολογικοί και όχι επιβλαβείς. Ωστόσο, με εκτεταμένη στέρηση φορτίου, ο άμορφος θειικός μόλυβδος μετατρέπεται σε σταθερό κρυσταλλικό και κατακάθεται στις αρνητικές πλάκες. Ως αποτέλεσμα, μεγάλοι κρύσταλλοι αναπτύσσονται και μειώνουν το ενεργό υλικό της μπαταρίας, το οποίο είναι υπεύθυνο για την απόδοση της μπαταρίας 42. Αυτή είναι η περίπτωση που στην καθομιλουμένη λέγεται ότι η μπαταρία είναι θειωμένη και πρέπει να αντικατασταθεί με νέα.



**Εικόνα 5:** Μπαταρία μολύβδου-οξέος 41

Έχει ετοιμαστεί ένας τελικός συνοπτικός πίνακας με τις χημικές ενώσεις και τους αντίστοιχους τύπους τους που βρίσκονται σε κάθε μέρος της μπαταρίας.

**Πίνακας 6:** Συνοπτικός πίνακας μπαταρίας μολύβδου-οξέος

Μέρος της Μπαταρίας	Χημική Ένωση	Τύπος
<b>Άνοδος</b>	Σπογγώδης μολύβδος	Pb
<b>Κάθοδος</b>	Διοξειδίο του μολύβδου	PbO <sub>2</sub>
<b>Ηλεκτρολύτης</b>	Θεικό οξύ διαλυμένο σε νερό	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

Με την ίδια αρχή λειτουργίας με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος, έχουν προκύψει και άλλοι τύποι μπαταριών, όπως οι μπαταρίες AGM και Gel 43. Οι μπαταρίες AGM είναι σφραγισμένες μπαταρίες των οποίων ο ηλεκτρολύτης απορροφάται σε διαχωριστές γυάλινων ινών (Absorbed Glass Material). Υπάρχει υγρό θεικό οξύ στο εσωτερικό, αλλά είναι εμποτισμένο στη γυάλινη ίνα του διαχωριστή. Οι μπαταρίες gel είναι επίσης σφραγισμένες μπαταρίες των οποίων ο ηλεκτρολύτης είναι ένα μία γέλη (gel), η οποία δεν είναι υγρή, ενώ το υλικό διαχωρισμού είναι το ίδιο όπως στις AGM, ίνες γυαλιού.

Αυτές οι μπαταρίες, καθώς είναι σφραγισμένες, έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολύβδου-οξέος, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- ✓ ταχύτερη φόρτιση,
- ✓ μεγαλύτερη διατήρηση φόρτισης στην αποθήκευση,
- ✓ πολύ χαμηλή θείωση,
- ✓ καλύτερη αντοχή σε μερικές καταστάσεις φόρτισης,
- ✓ καλύτερη απόδοση σε χαμηλά επίπεδα θερμοκρασιών,
- ✓ υψηλότερη ικανότητα παροχής ρεύματος.

Αυτό τους κάνει ένα πολύ ενδιαφέρον κομμάτι του εξοπλισμού το οποίο συμπεριλαμβάνεται σε πολλά έργα.

---



## **3. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

### **3.1. Γενικά**

Η παρούσα μελέτη αφορά την ανάπτυξη, ανέγερση και λειτουργία Φωτοβολταϊκού (Φ/Β) Σταθμού της εταιρείας «Αύγουστος Μ.ΙΚΕ., στην θέση «Γελαδάρια» της Δημοτικής Ενότητας Φερών του Δήμου Ρήγα Φεραίου της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας. Η δυναμικότητα του φωτοβολταϊκού σταθμού θα ανέρχεται σε 250MWp και αποτελεί ιδιωτική επένδυση.

Στόχος του έργου είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων. Βασικές παράμετροι και κατευθυντήριες γραμμές της επένδυσης είναι:

- ✓ Το νομοθετικό πλαίσιο, οι υποχρεώσεις και τα κίνητρα περί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.
- ✓ Η συμβολή στην περιβαλλοντική πολιτική που χαράσσεται διεθνώς.
- ✓ Η υποστήριξη του υφιστάμενου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διασύνδεση του Φ/Β Σταθμού θα πραγματοποιηθεί στις υφιστάμενες εναέριες Γραμμές Μεταφοράς 150kV του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (Ε.Σ.Μ.Η.Ε.), Λάρισα – Βόλος & Βόλος ΙΙ – Λάρισα ΙΙ. Η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β Σταθμού θα διοχετεύεται μέσω ενός Υποσταθμού Υψηλής Τάσης (ΥΣ ΥΤ) 33/150kV που θα υλοποιηθεί σε 2 μέρη:

- Το πρώτο μέρος του υποσταθμού το οποίο θα αφορά την εγκατάσταση του Μ/Σ για την ανύψωση της τάσης θα ανεγερθεί εντός του οικοπέδου εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού σταθμού στο ανατολικό σύνορο του έργου.
- Το δεύτερο μέρος που αφορά τον λοιπό εξοπλισμό (αγωγίμες μπάρες, πύλες κτλ.) θα ανεγερθεί σε έκταση πλησίον και κάτω από τις υφιστάμενες Εναέριες Γραμμές του Ε.Σ.Μ.Η.Ε.

Η σύνδεση μεταξύ των ανωτέρω υποδομών διασύνδεσης του Φ/Β Σταθμού θα πραγματοποιηθεί με υπόγεια καλώδια ΥΤ, με σκοπό τη χαμηλότερη δυνατή όχληση στη γειτονική περιοχή του Φ/Β Σταθμού.

Εκτός από τη συγκεκριμένη σύνδεση, μέρα από την παρούσα έρευνα, δίνεται μία εναλλακτική πρόταση διασύνδεσης του Φ/Β Σταθμού στο Ε.Σ.Μ.Η.Ε. για λόγους επάρκειας, μέσω υποδομής υπογείων καλωδίων και εναέριων γραμμών ΥΤ και σύνδεση σε Κέντρο Υπερψηλής Τάσης (ΚΥΤ).

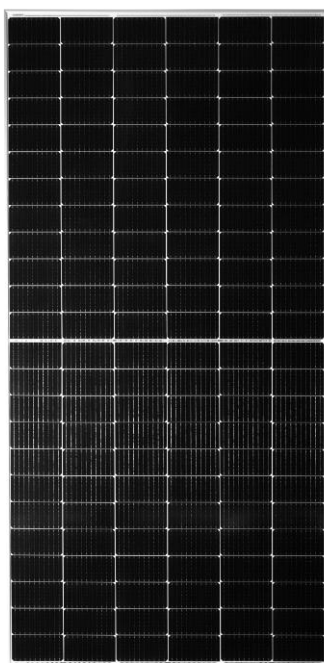
### **3.2. Βασικά Στοιχεία**

Η ονομαστική ισχύς του Φ/Β Σταθμού ανέρχεται στα 249,988MWp. Θα χρησιμοποιηθούν 454.524 φωτοβολταϊκά πλαίσια ονομαστικής ισχύος 550Wp το καθένα ( $454.524 \times 550 \text{ Wp} = 249,988 \text{ MWp}$ ).

Τα φωτοβολταϊκά panel θα εγκατασταθούν σε ομάδες (συστοιχίες), με τη βοήθεια σταθερών συστημάτων στήριξης. Σε κάθε σύστημα στήριξης (τραπέζι) θα τοποθετηθούν 2 σειρές των 28 πλαισίων της εταιρείας Suntech τύπου STP550S-C72/Pmh+ (Bifacial-διπλής όψεως) σε κάθετη διάταξη (portrait). Επομένως, κάθε

---

τραπέζι θα περιλαμβάνει 56 panel ενώ συνολικά θα εγκατασταθούν 8.117 τραπέζια (ανωδομή).



**Εικόνα 6:** Το φωτοβολταϊκό πάνελ της εταιρίας Suntech τύπου STP550S-C72/Pmh+

Η ανωδομή θα είναι κατασκευασμένη εξ ολοκλήρου από υψηλής αντοχής χάλυβα και θα στηρίζεται στο έδαφος με την χρήση πασσάλων οι οποίοι θα τοποθετηθούν μέσα εκσκαφής (έγχυτοι πάσσαλοι). Έτσι, πρόκειται να γίνει αφαίρεση εδαφικού υλικού με γεώτρηση μέγιστους βάθους 170-200 εκατοστών και μέγιστης διαμέτρου 30 εκατοστών. Στη συνέχεια, θα τοποθετηθεί χαλύβδινη δοκός εντός του διατρήματος και τέλος, θα πραγματοποιηθεί πλήρωση του κενού μεταξύ του εδάφους και της χαλύβδινης δοκού με άοπλο σκυρόδεμα.

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά panel σε εναλλασσόμενο (AC) θα πραγματοποιείται με τη χρήση 1.162 σειριακών αντιστροφών (string inverters) του οίκου HUAWEI, υπαίθριας τοποθέτησης υψηλής απόδοσης χωρίς μετασηματιστή (τύπος SUN2000-215KTL).



**Εικόνα 7:** StringInverterSUN2000-215KTL

Σε επίπεδο ηλεκτρολογικής συνδεσμολογίας, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα συνδεθούν σε σειρές (string) των 28 πλαισίων η κάθε μία, δημιουργώντας έτσι ένα σύνολο 16.233 string. Κάθε ένας string inverter πακτώνεται κάτω από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, επί των σταθερών συστημάτων στήριξης της ανωδομής. Οι string inverters ομαδοποιούνται ηλεκτρολογικά ανά 31 με 32, δημιουργώντας έτσι συνολικά 37

ομάδες. Κάθε τέτοια ομάδα string inverter θα τροφοδοτεί έναν μετασχηματιστή (Μ/Σ) ελαίου ΧΤ/ΜΤ 0.8/33kV τριπλού τυλίγματος, σχηματίζοντας έτσι 37 συνολικά σταθμούς Μ/Σ.

Κάθε τέτοιος σταθμός θα εδράζεται σε βάση από σκυρόδεμα διαστάσεων 6.4m x 6.0m και πάχους 20cm, εκ των οποίων τα 10cm θα είναι εντός του εδάφους. Ο Μ/Σ του κάθε σταθμού θα τοποθετηθεί για λόγους ασφαλείας εντός μεταλλικού κλωβού με μεταλλική οροφή/σκέπαστρο και ενιαίο συρματόπλεγμα σε κάθε πλευρά του και καθ' όλο το ύψος, για την πλήρη απομόνωσή του. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται αφενός ότι οι Μ/Σ δεν θα είναι προσβάσιμοι από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες και αφετέρου η αποφυγή ατυχημάτων από διερχόμενα ζώα που θα μπορούσαν να έρθουν σε άμεση επαφή μαζί τους. Επιπλέον, ο κλωβός αυτός θα διαθέτει δίφυλλη θύρα και ράγες κύλισης στο δάπεδο επί των οποίων θα επικάθεται ο Μ/Σ, ώστε να είναι δυνατή η συντήρηση ή/και επισκευή του. Οι διαστάσεις του κάθε string inverter θα είναι της τάξης 1m (Μ) x 0,7m (Υ) x 0.4m (Π) ενώ του μεταλλικού κλωβού που θα περικλείει τον κάθε Μ/Σ της τάξης 3.0m (Μ) x 2,5m (Υ) x 2.5m (Π).

Από κάθε Μ/Σ θα αναχωρεί υπογείως μία τριφασική γραμμή ΜΤ η οποία θα καταλήγει στο προκατασκευασμένο Υποσταθμό Ζεύξης. Ειδικότερα, από τους 37 Μ/Σ των έργου ισάριθμες γραμμές ΜΤ θα καταλήγουν στον Υποσταθμό Ζεύξης που χωροθετείται στο ανατολικό σύνορο του πολυγώνου ΡΑΕ.

Στον Υποσταθμό Ζεύξης θα βρίσκονται τα πεδία ΜΤ και θα αντιστοιχεί ένα πεδίο ΜΤ για κάθε Μ/Σ. Επιπλέον, θα βρίσκεται προκατασκευασμένος πίνακας ΧΤ με το κατάλληλο διακοπτικό υλικό για την τροφοδότηση των ιδιοκαταναλώσεων του σταθμού, ο οποίος θα απορροφά ισχύ από Μ/Σ ιδιοκαταναλώσεων 0.4/33kV. Επίσης, θα βρίσκεται και πεδίο του αυτόματου διακόπτη διασύνδεσης (ηλεκτρονόμος προστασίας SEPAM), ο οποίος θα χειρίζεται αυτόματα με βάση την παραμετροποίηση ως προς τάση και τη συχνότητα του δικτύου. Κάθε Υποσταθμός Ζεύξης στεγάζεται εντός προκατασκευασμένου οικίσκου (ISOBOX) σε κατάλληλα διαμορφωμένη έκταση του γηπέδου.

Σε κατάλληλα διαμορφωμένη έκταση, θα τοποθετηθούν επίσης δύο προκατασκευασμένοι οικίσκοι (ISOBOX) (6m x 2.5m έκαστος) που θα στεγάσουν τον μηχανολογικό, ηλεκτρονικό και λοιπό εξοπλισμό της μονάδας που απαιτεί προστασία από τις καιρικές συνθήκες.



**Εικόνα 8:** Προκατασκευασμένος Οικίσκος

Για κάθε τμήμα του γηπέδου εγκατάστασης, θα κατασκευαστεί περίφραξη, που θα αποτελείται από σιδερένιους (γαλβανιζέ) στύλους μήκους 3m, οι οποίοι θα

τοποθετηθούν ανά 2,5m περίπου και θα πακτωθούν εντός του εδάφους, σε βάθος 0,5m.

### 3.3. Βασικά στοιχεία φάσης κατασκευής και λειτουργίας του Φ/Β σταθμού

#### 3.3.1. Φάση κατασκευής

Ο χώρος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών θα καθαριστεί από αυτοφυή βλάστηση, αλλά δε θα υποστεί έντονη τοπική διαμόρφωση διότι τα Φ/Β συστήματα θα εγκατασταθούν σε αγροτεμάχια πολύ χαμηλής βλάστησης. Τα συστήματα στήριξης θα συναρμολογηθούν επί τόπου ακολουθώντας το ανάγλυφο του εδάφους και σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη επέμβασης στο ανάγλυφο του τοπίου.

Ωστόσο οι τελικές ρήσεις του εδάφους θα εξασφαλίζουν την απορροή των όμβριων προς τους αύλακες αποστράγγισης που θα περιβάλουν το χώρο εγκατάστασης, αλλά το θέμα αυτό θα είναι αντικείμενο γεωλογικής και γεωτεχνικής μελέτης πριν την οριστικοποίηση της κατασκευής.

Εντός του πολυγώνου της Βεβαίωσης Παραγωγού από τη Ρ.Α.Ε. θα δημιουργηθούν δώδεκα (12) επιμέρους πολύγωνα εγκατάστασης, σύμφωνα με το σχέδιο χωροθέτησης, τα οποία θα οριοθετούνται από ξεχωριστές περιφράξεις.

Στον πίνακα 7 παρατίθενται τόσο η επιφάνεια όσο και το μήκος περίφραξης των επιμέρους πολυγώνων όπως αντιστοιχούν στο σχέδιο χωροθέτησης του Φ/Β Σταθμού.

Η περίφραξη θα αποτελείται από γαλβανισμένους σιδερένιους στύλους με κάμψη μήκους 3m, οι οποίοι θα τοποθετηθούν ανά 2,5m περίπου και θα πακτωθούν εντός του εδάφους, σε βάθος 0,7m. Οι στύλοι θα καλυφθούν από γαλβανισμένο δικτυωτό πλέγμα, τύπου ρόμβου 8.0x8.0cm, πάχους 2.2 έως 3mm, το οποίο θα φθάνει σε ύψος 2m και εν συνεχεία, θα τοποθετηθεί τριπλή σειρά αγκαθωτού σύρματος. Επίσης, επί της περίφραξης θα τοποθετηθούν προειδοποιητικές πινακίδες σήμανσης του Φ/Β σταθμού. Πύλες εισόδου γενικά θα τοποθετηθούν σε σημείο που η περίφραξη εφάπτεται με την υφιστάμενη οδοποιία.

**Πίνακας 7:** Η επιφάνεια και το μήκος περίφραξης των επιμέρους πολυγώνων όπως αντιστοιχούν στο σχέδιο χωροθέτησης του Φ/Β Σταθμού.

Πολύγωνο	Εμβαδόν Περίφραξης (m <sup>2</sup> )	Μήκος Περίφραξης (m)
A	117307.5	2839.9
B	24445.7	808.3
Γ	20933.5	747.4
Δ	12918.8	555.9
E	149182.0	3423.7
ΣΤ	26819.4	1004.9
Z	796559.0	12327.1
H	97206.2	1977.4
Θ	40703.1	1257.5
I	1185942.3	10856.6
K	386932.6	5369.0
Λ (Εγκατάσταση Ανύψωσης του Σταθμού Υψηλής Τάσης)	8556.3	372.6



---

Εντός του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού διαμορφωθεί το απαιτούμενο εσωτερικό οδικό δίκτυο, που θα συνδέει τους Μετασχηματιστές (ΜΣ) τόσο μεταξύ τους όσο και με τις θύρες πρόσβασης στα αντίστοιχα σημεία περιφράξης του σταθμού. Για την κατασκευή των εσωτερικών οδών θα χρησιμοποιηθούν αδρανή υλικά (κροκάλες και θραυστά υλικά λατομείου), τα οποία θα υποστούν επιφανειακή συμπύκνωση με οδοστρωτήρα, σε πάχος 25 cm. Για την είσοδο στο γήπεδο εγκατάστασης αλλά και σε κάθε τμήμα περιφράξης θα τοποθετηθεί τουλάχιστον μία μεταλλική δίφυλλη θύρα πρόσβασης αντίστοιχα, συνολικού ανοίγματος 5m.

Όλες οι οδεύσεις καλωδίων στο έδαφος θα γίνουν εντός χανδάκων πλάτους από 0.4 έως 0.6m. και βάθους από 0.5 έως 1,1m. Ανάλογα με τον τύπο καλωδίων και το επίπεδο φόρτισής τους σύμφωνα με την απαιτούμενη ηλεκτρολογική μελέτη, η τοποθέτηση τους θα γίνει σε διαφορετικό βάθος, είτε εντός είτε εκτός ειδικού εύκαμπτου σωλήνα, ως εξής:

- Τα καλώδια DC που οδεύουν από τις σειρές (strings) των Φ/Β πλαισίων προς τα κυτία σύνδεσης (Combiner Box) θα τοποθετηθούν εντός εύκαμπτου σωλήνα διατομής 75mm και σε βάθος 0.5m. Ο χάνδακας θα έχει 3 στρώσεις υλικών, ξεκινώντας από την επιφάνεια τους εδάφους, ένα στρώμα πάχους 0.2m από αδρανή υλικά εκσκαφής, ένα δεύτερο στρώμα από άμμο πάχους 0.2m και το κατώτερο στρώμα 0.1m από αδρανή υλικά στο οποίο τοποθετούνται οι σωλήνες με τα καλώδια.
- Τα καλώδια DC που οδεύουν από τα κυτία σύνδεσης (Combiner Box) προς τους αντιστροφείς, θα τοποθετηθούν σε βάθος από 0.6 έως 0.9m χωρίς σωλήνα μέσα σε άμμο. Ο χάνδακας θα έχει 2 στρώσεις υλικών, ξεκινώντας από την επιφάνεια τους εδάφους ένα στρώμα πάχους 0.4m από αδρανή υλικά εκσκαφής και ένα δεύτερο στρώμα από άμμο πάχους 0.6m στο οποίο τοποθετούνται τα καλώδια.
- Τα καλώδια AC XT τροφοδοσίας των ιδιοκαταναλώσεων του έργου τοποθετούνται σε βάθος 0.3 έως 0.5m χωρίς σωλήνα, ομοίως ως άνω σε στρώμα άμμου, ενώ τα καλώδια ασθενών ρευμάτων (σήματα ελέγχου, data και επικοινωνίας) σε ίδιο βάθος εντός εύκαμπτου σωλήνα στο στρώμα άμμου. Ο χάνδακας θα έχει 2 ή 3 στρώσεις υλικών, όπως αδρανή υλικά εκσκαφής - άμμος ή αδρανή υλικά εκσκαφής- άμμος-αδρανή υλικά εκσκαφής αντίστοιχα.
- Τα καλώδια AC MT που οδεύουν από τους ΜΣ στον κεντρικό Υποσταθμό MT (ΥΣ Ζεύξης) θα τοποθετηθούν σε βάθος από 0.6 έως 1.1m χωρίς σωλήνα μέσα σε άμμο. Ο χάνδακας θα έχει 3 στρώσεις υλικών, ξεκινώντας από την επιφάνεια τους εδάφους ένα στρώμα πάχους 0.4m από αδρανή υλικά εκσκαφής, ένα δεύτερο στρώμα από άμμο πάχους 0.6m και το κατώτερο στρώμα 0.1m από αδρανή υλικά στο οποίο τοποθετούνται τα καλώδια MT.
- Η σύνδεση του Φ/Β Σταθμού με το τμήμα ανύψωσης του Υ/Σ ΥΤ 33/150kV εντός του γηπέδου εγκατάστασης, θα πραγματοποιηθεί μέσω υπόγειων καλωδίων MT 33kV συνολικού μήκους όδευσης περίπου 0.7km, αφού ο Υποσταθμός Ζεύξης θα συνδέεται απευθείας στη πλευρά MT 33kV και συνεπώς η συνολική ισχύς του Φ/Β Σταθμού να διοχετεύεται στον ΥΣ ΥΤ33/150kV.

Εκτός των καλωδίων DC που οδεύουν από τις σειρές (strings) των Φ/Β πλαισίων προς τα κυτία σύνδεσης (Combiner Box), τα υπόλοιπα επιτρέπεται να τοποθετηθούν σε ίδιο χάνδακα με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι αποστάσεις μεταξύ τους, σε βάθος και σε πλάτος, σύμφωνα με τα πρότυπα και τις νόρμες εξωτερικών ηλεκτρικών

---

εγκαταστάσεων καλωδίωσης.

Οι προκατασκευασμένοι οικίσκοι όλων των Υποσταθμών του Φ/Β σταθμού θα τοποθετηθούν επί βάσεων από σκυρόδεμα, πάχους 20cm εκ των οποίων τα 10cm θα είναι εντός του εδάφους.

### **3.3.2. Έργα διασύνδεσης Φ/Β σταθμού με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας**

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή της παρούσας τεχνικής περιγραφής, η παραγόμενη ισχύς του Φ/Β Σταθμού θα διοχετεύεται μέσω ενός Υποσταθμού Υψηλής Τάσης (ΥΣ ΥΤ) 33/150kV που θα ανεγερθεί κατά ένα μέρος εντός του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β Σταθμού και η διασύνδεση θα πραγματοποιηθεί στις υφιστάμενες εναέριες Γραμμές Μεταφοράς 150kV του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας, Λάρισα – Βόλος & Βόλος II – Λάρισα II. Η διασύνδεση του νέου Υ/Σ ΥΤ με τις υφιστάμενες Εναέριες Γραμμές θα πραγματοποιηθεί με υπόγεια καλώδια ΥΤ, με σκοπό τη χαμηλότερη δυνατή όχληση στη γειτονική περιοχή του Φ/Β Σταθμού. Υπάρχει και μια εναλλακτική πρόταση διασύνδεσης του Φ/Β Σταθμού στο ΕΣΜΗΕ για λόγους επάρκειας, μέσω υποδομής υπογείων καλωδίων και εναέριων γραμμών ΥΤ με σύνδεση σε Κέντρο Υπερυψηλής Τάσης και κατά συνέπεια σύνδεση του έργου στο υφιστάμενο δίκτυο Υπερυψηλής Τάσης 400Kv.

### **2. 3.3.3. Φάση Λειτουργίας**

Ο Φ/Β σταθμός θα εγκατασταθεί με κατάλληλο προσανατολισμό, ώστε να αξιοποιεί με βέλτιστο τρόπο την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς και τη διαχεόμενη/ανακλώμενη λόγω της τεχνολογίας Bifacial των Φ/Β πλαισίων.

Στην εξεταζόμενη δραστηριότητα δεν θα πραγματοποιηθεί χρήση υδατικών πόρων. Ο καθαρισμός των πάνελ θα γίνεται εφόσον κρίνεται απαραίτητο με ειδικό βυτιοφόρο όχημα μεταφοράς απιονισμένου ύδατος χωρίς καθαρτικό μέσο όπως υπαγορεύουν οι κατασκευάστριες εταιρείες Φ/Β πλαισίων.

Σχετικά με τη χρήση ενέργειας, θα καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο της ΑΔΜΗΕ/ΔΕΗ για τη λειτουργία του συστήματος ασφαλείας της εγκατάστασης (συναγερμός), του εσωτερικού φωτισμού και μικρών καταναλώσεων όταν απαιτείται, έτσι ώστε ο Φ/Β Σταθμός να λειτουργεί απρόσκοπτα και κατά την διάρκεια των ωρών που δεν θα υπάρχει ηλιοφάνεια.

### **3.4. Πρώτες Ύλες – Κατανάλωση νερού - Απόβλητα**

Στον φωτοβολταϊκό σταθμό δεν πραγματοποιείται χρήση πρώτων υλών πέρα από την ενέργεια του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, δεν προβλέπεται υδροδότηση της μονάδας και δεν προκύπτουν απόβλητα κατά τη λειτουργία του έργου. Μετά το πέρας της λειτουργίας του σταθμού, θα πραγματοποιηθεί εξυγίανση του χώρου ώστε να επανέλθει στην αρχική του μορφή. Τα πλεονάζοντα υλικά (πάνελ, βάσεις στήριξης, οικίσκοι κτλ.) κατά την φάση της εξυγίανσης, θα συγκεντρωθούν και θα προωθηθούν για την ανάλογη διαχείριση σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τη σχετική ισχύουσα νομοθεσία.

---

## 4. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 4.1. Τεχνολογία κατασκευής φωτοβολταϊκών πάνελ

Οι βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής Φ/Β πλαισίων, που παρουσιάζουν εμπορικό ενδιαφέρον για την κατασκευή Φ/Β Σταθμών είναι:

1. Κρυσταλλικού πυριτίου
2. Thin Film CdTe/CdS

Τα Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού τύπου παρουσιάζουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από αυτά της τεχνολογίας thin film CdTe/CdS, Έτσι μπορούν να οδηγήσουν σε περιορισμό των απαιτήσεων, αναφορικά με τις διαστάσεις του χώρου εγκατάστασης (έως και 35%). Ειδικά η νέα τεχνολογία Bifacial στα Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού έχει αυξήσει αρκετά την παραγόμενη ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας προσφέροντας έως 25% περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα συμβατικά Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου.

### 4.2. Παράμετροι σχεδίασης

Η πραγματική απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου προκύπτει από την ονομαστική ισχύ, αφού ληφθούν υπόψη μια σειρά από παράγοντες. Η ονομαστική ισχύς ενός Φ/Β πλαισίου ορίζεται για τις λεγόμενες κανονικές συνθήκες (STC – Standard Test Conditions). Οι κανονικές συνθήκες ορίζονται ακολούθως σε:

1. Εργαστηριακό περιβάλλον
2. Θερμοκρασία 25°C
3. Συγκεκριμένη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας και πυκνότητας αέρα (1.000W/m<sup>2</sup> και 1,5 αντίστοιχα)

Επειδή αυτές οι συνθήκες δεν αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός Φ/Β πλαισίου, η πραγματική απόδοσή του είναι διαφορετική από την ονομαστική, για δε τον υπολογισμό της θα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

#### ➤ Οι Κατασκευαστικές ανοχές

Οι κατασκευαστές Φ/Β πλαισίων προδιαγράφουν τα προϊόντα τους, πέραν της ονομαστικής ισχύος τους, και με έναν συντελεστή θετικής ανοχής (π.χ. 0 έως +3%), που σημαίνει πως η Ελάχιστη Εγγυημένη Ισχύς ενός πλαισίου, υπό κανονικές συνθήκες, είναι τουλάχιστον ίση της ονομαστικής.

#### ➤ Σκιάσεις/ Προσανατολισμός

Η ύπαρξη έστω και μικρών σκιάσεων επί των Φ/Β πλαισίων, μεταξύ των ωρών ηλιοφάνειας, μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη απώλεια ενέργειας. Αντίστοιχη επίδραση έχει και η απόκλιση από τον ιδανικό προσανατολισμό. Συνεπώς κατά τη σχεδίαση του Φ/Β Σταθμού λαμβάνονται υπόψη ο ιδανικός προσανατολισμός προς Νότο και οι

---

αποστάσεις μεταξύ των στοιχειοσειρών (strings) των Φ/Β πλαισίων ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ενεργειακή απόδοση του συστήματος.

#### ➤ **Θερμοκρασία**

Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του Φ/Β πλαισίου.

#### ➤ **Σκόνη και Ακαθαρσίες**

Η επικάλυψη σκόνης και ακαθαρσιών στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσής τους, ειδικά τις περιόδους περιορισμένης βροχόπτωσης (καλοκαίρι). Η έντονη σκόνη μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης έως και 6%.

#### ➤ **Απώλειες Καλωδιώσεων / Προσαρμογών**

Η ηλεκτρική αντίσταση των καλωδιώσεων και οι μικρές αποκλίσεις στα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων έχουν σαν αποτέλεσμα απώλειες ισχύος της τάξης του 3%.

#### ➤ **Απώλειες Inverter**

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC), που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες σε εναλλασσόμενο (AC-50Hz), κατάλληλο για την τροφοδοσία του Δικτύου, πραγματοποιείται από τους Inverters, οι οποίοι προδιαγράφονται μεταξύ άλλων από τον συντελεστή απόδοσής τους (99%).

#### ➤ **Γήρανση**

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες εμφανίζουν μια προοδευτική πτώση της απόδοσής τους, η οποία είναι περίπου της τάξης του 0.07% ανά έτος, σαν αποτέλεσμα ενός φαινομένου εσωτερικής αποδόμησης του υλικού, που επιδρά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

**Για το βέλτιστο σχεδιασμό και την ελαχιστοποίηση της επίδρασης των παραγόντων μείωσης της απόδοσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν:**

#### ➤ **Σκιάσεις/ Προσανατολισμός**

1. Επιλογή των σταθερών συστημάτων στα οποία θα τοποθετηθούν τα Φ/Β panel με βάση την τοπική τοπογραφία του γηπέδου, για μεγιστοποίηση της μέσης ετήσιας απόδοσής τους.
2. Τήρηση μέγιστης απόστασης από το έδαφος της ανωδομής έως 2.5 μ. βάσει περιβαλλοντικής νομοθεσίας, για την αποφυγή σκίασης από αυτοφυή βλάστηση ή φερτά υλικά ομβρίων αλλά και σε περίπτωση πλημμύρας.
3. Τήρηση αποστάσεων μεταξύ των συστοιχιών των συστημάτων στήριξης, για την αποφυγή σκίασης μεταξύ τους – βήμα επαρκούς μεγέθους (pitch) 9.1 μ. κατά τη διεύθυνση προσανατολισμού Βορρά-Νότου.

---

➤ **Θερμοκρασία**

Καλός φυσικός αερισμός των Φ/Β πλαισίων, με κατάλληλη τοποθέτηση των συστοιχιών στο χώρο, για τη δημιουργία και εκμετάλλευση φυσικών ρευμάτων αέρα.

➤ **Σκόνη και Ακαθαρσίες**

Πρόνοια καθαρισμού των Φ/Β πλαισίων με τακτικό πλύσιμό τους τις περιόδους παρατεταμένης ανομβρίας.

➤ **Απώλειες Καλωδιώσεων / Προσαρμογών**

Κατάλληλη διαστασιολόγηση και σχεδίαση των DC και AC ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

➤ **Απώλειες Inverter**

Επιλογή κατασκευαστή inverter με υψηλό βαθμό απόδοσης.

### **4.3. Φωτοβολταϊκά πάνελ**

Συνολικά θα εγκατασταθούν 454.524 Φ/Β πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου της εταιρείας Suntech τύπου Ultra-V Series STPXXXS – C72/Pmh+ τεχνολογίας Bifacial, ονομαστικής ισχύος 550Wr, ή όμοιου τύπου Φ/Β πλαίσια με αντίστοιχα ή ποιοτικότερα χαρακτηριστικά, χωρίς να μεταβληθεί η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού.

#### **4.3.1. Ισχύς αιχμής**

Ισχύς αιχμής, (Peak) ενός Φ/Β πλαισίου, είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ισχύς αιχμής του καθενός Φ/Β πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου, είναι 550 Wr. Αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο Φ/Β πλαίσιο, όταν δέχεται μη πολωμένη ΗΜ ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος,  $E = 1 \text{ kW/m}^2$ , φάσματος AM 1,5 και η θερμοκρασία του είναι 25°C, τότε παράγει ηλεκτρική ενέργεια με ισχύ 550 W.

Είναι προφανές ότι ένα Φ/Β πλαίσιο, τμήμα μιας Φ/Β συστοιχίας εγκατεστημένης στο ύπαιθρο, κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθ' όλο το έτος, βρίσκεται διαρκώς σε συνθήκες διαφορετικές απ' αυτές που αντιστοιχούν στον ορισμό της ισχύος αιχμής του. Κατά τη λειτουργία του Φ/Β πλαισίου σε πραγματικές συνθήκες, η θερμοκρασία της Φ/Β κυψελίδας και φυσικά του Φ/Β πλαισίου, είναι διαφορετική των 25°C, ενώ και η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, κάθε στιγμή, είναι διαφορετική και μάλιστα κατά κανόνα μικρότερη της ισχύος αιχμής του. Σε κάθε Φ/Β πλαίσιο, εκτός των στοιχείων που αναφέρονται στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (ισχύς  $P_{peak}$  ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης,  $I_{sc}$  και τάση ανοικτού κυκλώματος,  $V_{oc}$ ), αναγράφεται η θερμοκρασία, την οποία αποκτά το Φ/Β πλαίσιο, ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, που προσεγγίζουν μια μέση πραγματική κατάσταση. Αντιπροσωπευτική περιοχή των θερμοκρασιών αυτών: 45°C έως 50 °C. Η

---

θερμοκρασιακή αυτή περιοχή αφορά, προσεγγιστικά, τη μέση θερμοκρασιακή κατάσταση του υλικού του Φ/Β στοιχείου του πλαισίου, στο χρονικό διάστημα 2-3 ώρες πριν και μετά το μεσημέρι μιας αίθριας καλοκαιρινής μέρας, σε μέσα γεωγραφικά πλάτη. Χαρακτηρίζεται ως ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας Φ/Β κυψελίδας (Nominal Operating Cell Temperature, NOCT) και προσδιορίζεται κάτω από τις επόμενες συνθήκες:

Συνθήκες λειτουργίας Φ/Β κυψελίδας κάτω απ' τις οποίες η θερμοκρασία της ισούται με την ονομαστική τιμή της (Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) conditions)

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

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

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

Η τιμή του στιγμιαίου συντελεστή απόδοσης του Φ/Β πλαισίου,  $\eta_m$  καθορίζεται από τις αποκλίσεις που υφίσταται από την τιμή  $\eta_m$ , που προσδιορίζεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Σε συντομία, οι απώλειες αυτές αφορούν:

- ✓ στη γήρανση του Φ/Β πλαισίου, δηλαδή στη μείωση της απόδοσής του λόγω αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των κυψελίδων του Φ/Β πλαισίου,
- ✓ στις απώλειες οπτικού δρόμου και θερμοκρασίας κυψελίδας, που προκύπτουν λόγω της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντα αέρα, των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου σε σχέση με αυτά των πρότυπων συνθηκών,
- ✓ στις απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής του Φ/Β πλαισίου.

Οι ενεργειακές απώλειες παρουσιάζονται με τη μορφή διαγράμματος Sankey, στο σχήμα 2.1. Ο συντελεστής απόδοσης  $\eta_m$  μπορεί να γραφεί, κατά τα γνωστά, ως γινόμενο των επιμέρους στιγμιαίων συντελεστών ενεργειακών απωλειών.



**Σχήμα 14:** Διάγραμμα για τη ροή ενέργειας σε Φ/Β πλαίσιο

#### 4.3.2. Παράγοντας γήρανσης φωτοβολταϊκού πλαισίου, ηγm

Αφορά στη μείωση της απόδοσής των Φ/Β πλαισίων στο χρόνο ζωής τους και εκφράζεται, συνήθως, με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του Φ/Β πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης της Φ/Β κυψελίδας ως ενσωματωμένο τμήμα του Φ/Β πλαισίου. Στο κρυσταλλικό πυρίτιο η επίδραση αυτή είναι, θεωρητικά, μικρή. Στην πράξη όμως εμφανίζονται αλλοιώσεις στη δομή του υλικού των κρυσταλλικών Φ/Β στοιχείων του πλαισίου, που οφείλονται σε διάφορα αίτια, κυρίως σε υπερθέρμανση.

Η υπερθέρμανση κάποιων Φ/Β στοιχείων ή τμημάτων του πλαισίου, μπορεί να προκληθεί, είτε εξαιτίας σκίασής τους κάτω από ισχυρό ηλιακό φωτισμό, είτε λόγω της τοπικής θερμομόνωσής τους, από την παρουσία του κιβωτίου σύνδεσης πίσω από τα υπερθερμασμένα Φ/Β στοιχεία. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυρίτιου, δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες, ~ 1 % κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης). Είναι χαρακτηριστικό ότι, οι εγγυήσεις των εταιρειών αναφέρονται πια στα 25 χρόνια για την διατήρηση της ισχύος αιχμής σε αποδεκτά επίπεδα.

Συγκεκριμένα, για τα Φ/Β πλαίσια πυρίτιου, κρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού τύπου (mc-Si), δίδεται, σήμερα, εγγύηση αντικατάστασης εκείνου του Φ/Β πλαισίου, του οποίου η απόδοση θα πέσει κάτω του 80% της ονομαστικής ισχύος αιχμής του, μέσα στα πρώτα 25 χρόνια χρήσης του.

Συνεπώς, κατά τον υπολογισμό ενός Φ/Β συστήματος σε ορισμένη εφαρμογή, επιβάλλεται να ληφθεί υπόψη η διαχρονική μείωση της αποδοτικότητάς τους, με



εκτίμηση ενός τυπικού συντελεστή γήρανσης. Ως τυπική τιμή του για τα Φ/Β πλαίσια που αναφέρθηκαν, λαμβάνεται η μέση τιμή του συντελεστή γήρανσης στο χρόνο εγγύησης, δηλαδή,  $\eta_{gm} = 0,9$ .

#### 4.3.3. Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας Φ/Β πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη STC

Η αυξημένη ανακλαστικότητα του οπτικού συστήματος όψεως του Φ/Β πλαισίου (υαλοπίνακας + αντανάκλαστικό επίστρωμα + υλικό Φ/Β κυψελίδων), σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της σε πρότυπες συνθήκες αυξάνεται, καθώς αυξάνει η γωνία

πρόσπτωσης, ιδιαίτερα, μάλιστα, σε γωνίες μεγαλύτερες των 60°. Η αύξηση της ανακλαστικότητας του Φ/Β πλαισίου εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών, στην επιφάνειά του. Αποδεικνύεται ασήμαντη για μικρές γωνίες πρόσπτωσης και αυξάνεται αρκετά για γωνίες πέραν των 60°. Μπορεί να εκφραστεί με το λόγο  $\tau(\theta)/\tau(0)$  (σχετική διαπερατότητα), της διαπερατότητας  $\tau(\theta)$ , του οπτικού συστήματος, σε γωνία πρόσπτωσης,  $\theta$ , της ακτινοβολίας, προς τη διαπερατότητα  $\tau(0)$ , σε πρότυπες συνθήκες (κάθετη πρόσπτωσης ακτινοβολίας). Δηλαδή, ο συντελεστής απωλειών ανάκλασης,  $\eta_R$  εκφράζεται ως  $\eta_R = \tau(\theta)/\tau(0)$ . Ο (στιγμιαίος) συντελεστής  $\eta_R$  παίρνει τιμή, πρακτικά ίση με τη μονάδα, για γωνίες πρόσπτωσης της ακτινοβολίας σχεδόν μέχρι τις 60°, ενώ ελαττώνεται αρκετά μέχρι τις 90°. Η μηνιαία μέση τιμή των απωλειών λόγω αυξημένης ανακλαστικότητας, σε σχέση με αυτή των πρότυπων συνθηκών, σε μέσα γεωγραφικά πλάτη, με νότιο προσανατολισμό και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, κυμαίνεται από 2-6%. Η αντίστοιχη μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών, βρίσκεται στο επίπεδο του 3%. Γενικά, το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας στο επίπεδο του πλαισίου. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης του Φ/Β πλαισίου αναμένεται να αποκλίνει από την αναλογία με το συνθ. Απόκλιση παρατηρείται στις μεγάλες γωνίες, διότι τότε αυξάνεται έντονα η ανακλαστικότητα της επιφάνειας του πλαισίου. Ο λόγος  $I_{sc}/I_{scSTC}$  των ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε κατάσταση λειτουργίας και σε πρότυπες συνθήκες, αντίστοιχα, εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης,  $\theta$ . Η επίδραση του οπτικού δρόμου στις μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης δεν θεωρείται αμελητέα.

#### 4.3.4. Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM 1,5 (Spectral losses)

Αφορούν στην επίδραση της διαφοροποίησης του φάσματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Διαφορετικό AM, σε σχέση με το AM 1,5 των πρότυπων συνθηκών). Για Φ/Β στοιχεία ευρείας περιοχής φασματικής απορρόφησης, όπως τα Φ/Β πλαίσια c-Si, εμφανίζουν, γενικά, ασήμαντη ετήσια ή ακόμη και μηνιαία μεταβολή, μικρότερη του 1%. Αντίθετα, σε Φ/Β πλαίσια στενής περιοχής φασματικής απορρόφησης, όπως τα a-Si, ή CdTe, οι ετήσιες απώλειες είναι σημαντικότερες, ιδιαίτερα σε ημερήσια βάση.

### 4.4. Σύστημα Στήριξης

Τα φωτοβολταϊκά panel θα εγκατασταθούν σε ομάδες (συστοιχίες), με τη βοήθεια σταθερών συστημάτων στήριξης. Σε κάθε σύστημα στήριξης (τραπέζι) θα τοποθετηθούν 2 σειρές των 28 πλαισίων της εταιρείας Suntech τύπου STP550S-C72/Pmh+ (Bifacial-διπλής όψεως) σε κάθετη διάταξη (portrait).

Επομένως, κάθε τραπέζι θα περιλαμβάνει 56 panel ενώ συνολικά θα εγκατασταθούν 8117 τραπέζια (ανωδομή).

Η ανωδομή θα είναι κατασκευασμένη εξ ολοκλήρου από υψηλής αντοχής χάλυβα και θα στηρίζεται επί του εδάφους με την χρήση πασσάλων δι' εκσκαφής (έγχυτοι πάσσαλοι).

Θα γίνει αφαίρεση εδαφικού υλικού με γεώτρηση μέγιστους βάθους 170-200 εκατοστών και μέγιστης διαμέτρου 30 εκατοστών.

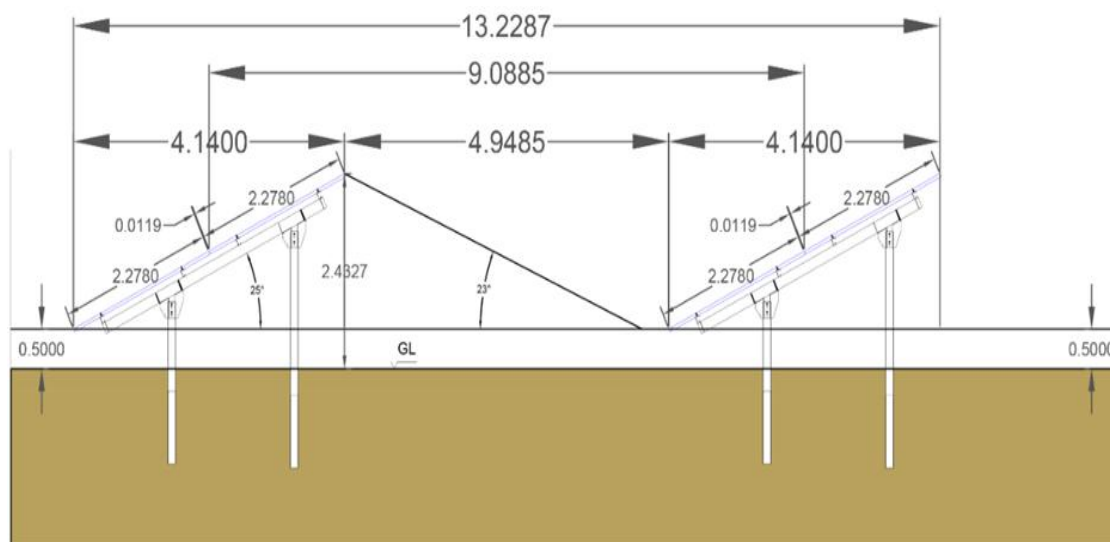
Θα τοποθετηθεί χαλύβδινη δοκός εντός του διατρήματος και στη συνέχεια θα γίνει πλήρωση του κενού μεταξύ του εδάφους και της χαλύβδινης δοκού με άοπλο σκυρόδεμα.

Τα συστήματα στήριξης θα κατασκευαστούν ειδικά για το συγκεκριμένο έργο, με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα της θέσης εγκατάστασης (ανεμοπιέσεις, φορτίο χιονιού κλπ).

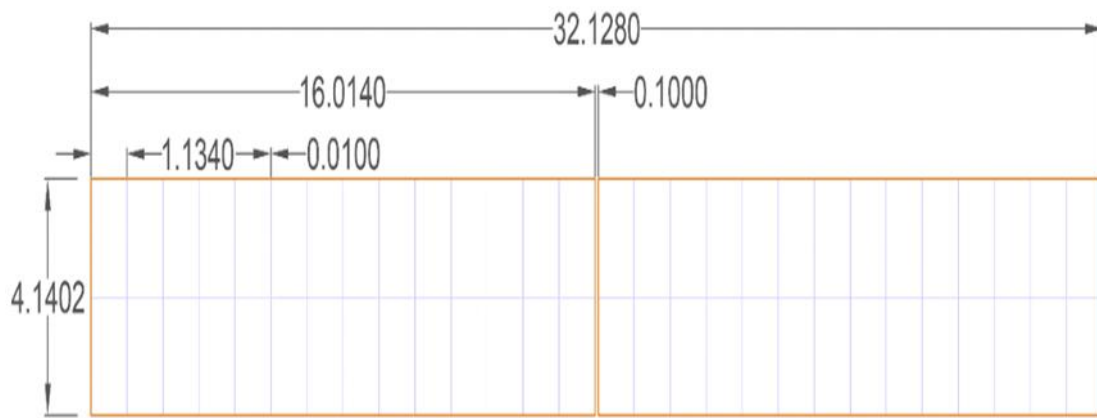
Θα συναρμολογηθούν επί τόπου ακολουθώντας το ανάγλυφο του εδάφους(εικόνα «κύματος») και σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του κατασκευαστή. Θα τοποθετηθούν με τρόπο ώστε:

- ✓ Το ανώτερο άκρο της ανωδομής να απέχει από το έδαφος ~2.5 μ. σε όλη την έκταση του χώρου εγκατάστασης,
- ✓ Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σειρών στην διεύθυνση προσανατολισμού (βήμα/pitch) να είναι 9.1μ

Στα παρακάτω δύο σχήματα παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες του συστήματος στήριξης που θα χρησιμοποιηθεί.



**Σχήμα 15:** Σύστημα Στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων (πρόσοψη ανωδομής)



**Σχήμα 16:** Χωροθέτηση Συστημάτων Στήριξης (κάτοψη ανωδομής)

Το μέγεθος του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης επιτρέπει την εγκατάσταση των συστοιχιών με το επιλεγμένο βήμα.

Το βήμα αυτό, σε συνδυασμό με την επιλογή κλίσης  $25^\circ$  σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οδηγεί σε ελαχιστοποίηση των απωλειών για την δεδομένη τοπογραφία.

Η γενική διάταξη των φωτοβολταϊκών συστοιχιών στο χώρο εγκατάστασης παρουσιάζεται στο σχήμα 17.



**Σχήμα 17:** Γενική διάταξη χωροθέτησης φωτοβολταϊκού σταθμού

#### 4.5. Αντιστροφείς Ισχύος (Inverter)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά panel σε εναλλασσόμενο (AC) θα πραγματοποιείται με τη χρήση με τη χρήση 1162 σειριακών αντιστροφέων (string inverters) του οίκου HUAWEI, υπαίθριας τοποθέτησης και υψηλής απόδοσης χωρίς μετασχηματιστή (τύπος SUN2000-215KTL) ή άλλος με αντίστοιχα ή ποιοτικότερα χαρακτηριστικά.

Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των inverter τύπου SUN2000-215KTL φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 8:** Τα χαρακτηριστικά των Inverter τύπου SUN2000-215KTL

<b>Χαρακτηριστικά Inverter τύπου SUN2000-215KTL</b>	
Μέγιστος συντελεστής απόδοσης	99,0 %
Ευρωπαϊκός συντελεστής απόδοσης	98,6 %
Κατηγορία προστασίας	IP 66
Θερμοκρασία / σχετική υγρασία	-25 έως +60 °C / 0 έως 95 %

λειτουργίας	
Όνομαστική AC ισχύς / τάση εξόδου	215kVA / 800V
Συχνότητα δικτύου	50 ÷ 60 Hz
Πρότυπα IEC 61727	CE, IEC 62109, IEC 62116,
Εγγύηση inverter	5 έτη

Κάθε αντιστροφέας θα καλύπτει τις απαιτήσεις λειτουργίας της ΔΕΗ. Ο αντιστροφέας στην είσοδό του από την πλευρά της συνεχούς τάσης DC έχει την κατάλληλη αντικεραυνική προστασία και στην έξοδό του από την πλευρά του AC θα τοποθετηθεί αντικεραυνική προστασία στον πίνακα ισχύος πλησίον του μετρητή της ΔΕΗ, σύμφωνα με τα πρότυπα EN 61643-11, IEC 61643-1.

Τα δεδομένα απόδοσης των αντιστροφέων θα μεταφέρονται σε μονάδα συλλογής τεχνικών πληροφοριών (data-logger). Όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες του φωτοβολταϊκού πάρκου είναι δυνατόν να ελέγχονται εξ' αποστάσεως μέσω μόντεμ ή θυρών επικοινωνίας (πχ RS-485).

Οι αντιστροφείς DC/AC του σταθμού είναι σε θέση να ρυθμίσουν απόλυτα την ανταλλαγή έργου ισχύος με το δίκτυο. Η ρύθμιση του συντελεστή ισχύος είναι δυνατή από 0,80 επαγωγικό έως 0,80 χωρητικό. Συνεπώς, δεν απαιτείται διάταξη κεντρικής αντιστάθμισης έργου ισχύος.

#### 4.6. Δίκτυο καλωδιώσεων DC & AC Χαμηλής Τάσης - XT

Τα Φ/Β πλαίσια θα ενωθούν ηλεκτρικά ανά ομάδες σε σειρές, παράγοντας συνεχές ρεύμα DC. Έτσι, σύμφωνα και με το σχεδιασμό του συστήματος (σειριακοί αντιστροφείς) θα έχουμε ομάδες Φ/Β πλαισίων που συνδέονται παράλληλα σε μπάρα DC του αντιστροφέα, ώστε το ρεύμα τελικά να μετατρέπεται σε AC χαμηλής τάσης. Σε αυτή την περίπτωση θα έχουμε ένα μείγμα κυκλωμάτων DC και AC.

Το ρεύμα θα φτάνει στη συνέχεια στους πίνακες XT και τελικά στους Μ/Σ ανύψωσης τάσης. Τα κανάλια (DC και AC) είτε θα είναι υπόγεια είτε θα χρησιμοποιούνται ειδικά υπέργεια κανάλια που θα περνούν, χωρίς να φαίνονται, από την πίσω πλευρά των Φ/Β πλαισίων σε μικρό ύψος, ανάλογα και με το λεπτομερή σχεδιασμό (engineering design) του συστήματος.

Τα φωτοβολταϊκά panel θα συνδεθούν σε σειρές (string) των 28 πλαισίων η κάθε μία, δημιουργώντας έτσι ένα σύνολο 16233 string των 28 panels.

Για την όδευση των string θα χρησιμοποιηθούν καλώδια τύπου H1Z2Z2-K - διατομής 4mm<sup>2</sup>. Τα καλώδια αυτά παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην υπεριώδη (UV) ακτινοβολία, την υγρασία και τις ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες (-40 / +120 °C), χαρακτηρίζονται δε από μικρό βάρος, ευκαμψία και ευκολία τοποθέτησης, καθώς και υψηλή πυραντίσταση και χαμηλή τοξικότητα σε περίπτωση φωτιάς.

Τα string των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα οδηγηθούν απευθείας στις εισόδους DC των string inverters. Υπάρχει δυνατότητα να συνδεθούν έως 18 string πλαισίων σε κάθε inverter, αλλά με βάση την ηλεκτρολογική σχεδίαση για την εγκατεστημένη ισχύ στο συγκεκριμένο πολύγωνο, θα συνδεθούν από 17 έως 18 string Φ/Β πλαισίων σε αντίστοιχο αριθμό εισόδων στο θετικό και αρνητικό πόλο σε κάθε inverter. Κάθε

---

inverter διαθέτει ασφάλειες τήξης των 16 A για κάθε είσοδο DC στο θετικό και αρνητικό πόλο, καθώς και αντικευραυνικά στοιχεία προστασίας από υπερτάσεις τόσο στη DC όσο και στην AC πλευρά. Οι συγκεκριμένοι string inverters προσφέρουν δυνατότητα τηλε-επιτήρησης των ηλεκτρικών παραμέτρων των string και διακόπτη φορτίου, ενώ η κλάση μόνωσης είναι IP66 προσφέροντας τη βέλτιστη ανθεκτικότητα υλικού σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Η διασύνδεση με τους inverter θα γίνει με καλώδια κατάλληλων διατομών, ώστε οι μέσες απώλειες των κυκλωμάτων DC του φωτοβολταϊκού σταθμού να μην υπερβαίνουν το 1%. Θα χρησιμοποιηθούν καλώδια αλουμινίου (τύπος NAYY) ή ισοδύναμου. Τα συγκεκριμένα καλώδια διαθέτουν οπλισμό από ατσάλινα συρματίδια, τα οποία προσφέρουν υψηλή μηχανική αντοχή και προστασία από τρωκτικά, και βραδύκαυστο εξωτερικό μανδύα. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην υγρασία και τις ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες (-40 / +70 °C).

Τα καλώδια σύνδεσης των φωτοβολταϊκών panel μεταξύ τους όπως και η συνέχεια της καλωδίωσης για το σχεδιασμό των string, θα στερεωθούν με δεματικά επί των προφίλ του μεταλλικού συστήματος στήριξης.

Όλες οι εναέριες οδεύσεις των string (συμπεριλαμβανομένων των διελεύσεων μεταξύ διαδοχικών συστημάτων στήριξης της ίδιας σειράς) θα γίνουν εντός κατάλληλων οδηγών πάνω στο μεταλλικό σύστημα στήριξης της ανωδομής. Η όδευση εντός του προστατευτικού σωλήνα στην πλευρά των συστοιχιών θα εκκινεί τουλάχιστον 0.8 m πάνω από το έδαφος και θα στεγανοποιείται με κατάλληλο θερμοσυστελλόμενο μακαρόνι.

Όλες οι οδεύσεις καλωδίων στο έδαφος θα γίνουν εντός χανδάκων πλάτους από 0.4 έως 0.6 μ. και βάθους από 0.5 έως 1,1 μ. Ανάλογα με τον τύπο του καλωδίου και το μέγεθος φόρτισης, η τοποθέτηση καλωδίων θα γίνει σε διαφορετικό βάθος, είτε εντός είτε εκτός ειδικού εύκαμπτου σωλήνα, ως ακολούθως:

- ✓ Τα καλώδια DC που οδεύουν από τις σειρές (strings) των Φ/Β πλαισίων προς τους string inverters, θα τοποθετηθούν εντός εύκαμπτου σωλήνα διατομής 75mm και σε βάθος 0.5m. Ο χάνδακας θα έχει 3 στρώσεις υλικών: ξεκινώντας από την επιφάνεια τους εδάφους ένα στρώμα πάχους 0.2m από αδρανή υλικά εκσκαφής, ένα δεύτερο στρώμα από άμμο πάχους 0.2m και το κατώτερο στρώμα 0.1m από αδρανή υλικά στο οποίο τοποθετούνται οι σωλήνες με τα καλώδια.
- ✓ Οι string inverters θα συνδεθούν μέσω τριφασικών καλωδίων XT απευθείας στον κεντρικό πίνακα XT του εκάστοτε σταθμού Μ/Σ με τα καλώδια να οδεύουν μέσω μεταλλικών σχαρών.
- ✓ Τα καλώδια AC XT τροφοδοσίας των ιδιοκαταναλώσεων του έργου τοποθετούνται σε βάθος 0.3 έως 0.5m χωρίς σωλήνα, ομοίως ως άνω σε στρώμα άμμου, ενώ τα καλώδια ασθενών ρευμάτων (σήματα ελέγχου, data και επικοινωνίας) σε ίδιο βάθος εντός εύκαμπτου σωλήνα στο στρώμα άμμου. Ο χάνδακας θα έχει 2 ή 3 στρώσεις υλικών, όπως αδρανή υλικά εκσκαφής - άμμος ή αδρανή υλικά εκσκαφής- άμμος-αδρανή υλικά εκσκαφής αντίστοιχα.
- ✓ Τα καλώδια AC MT που οδεύουν από τους Μ/Σ στον Υποσταθμό Ζεύξης, θα τοποθετηθούν σε βάθος από 0.6 έως 1.1m χωρίς σωλήνα μέσα σε άμμο. Ο χάνδακας θα έχει 3 στρώσεις υλικών: ξεκινώντας από την επιφάνεια του εδάφους ένα στρώμα πάχους 0.4m από αδρανή υλικά εκσκαφής, ένα δεύτερο στρώμα από άμμο πάχους 0.6m και το κατώτερο στρώμα 0.1m από αδρανή υλικά στο οποίο τοποθετούνται τα καλώδια MT.

---

Εκτός των καλωδίων DC (τα οποία οδεύουν από τις σειρές των Φ/Β προς τους string inverters), τα υπόλοιπα επιτρέπεται να τοποθετηθούν σε ίδιο χάνδακα με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι αποστάσεις μεταξύ τους, σε βάθος και σε πλάτος, σύμφωνα με τα πρότυπα και τις νόρμες υπαίθριων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων καλωδίωσης.

#### 4.7. Υποσταθμοί / Δίκτυο καλωδιώσεων AC μέσης τάσης

Από κάθε σταθμό Μ/Σ θα αναχωρεί μία τριφασική γραμμή ΜΤ, η οποία καταλήγει σε προκατασκευασμένο Υποσταθμό Ζεύξης. Στον Υποσταθμό Ζεύξης θα βρίσκονται τα πεδία ΜΤ και θα αντιστοιχεί ένα πεδίο ΜΤ για κάθε Μ/Σ. Επιπλέον, θα βρίσκεται προκατασκευασμένος πίνακας ΧΤ με το κατάλληλο διακοπτικό υλικό για την τροφοδότηση των ιδιοκαταναλώσεων του σταθμού, ο οποίος θα απορροφά ισχύ από Μ/Σ ιδιοκαταναλώσεων 0.4/33kV. Επίσης, θα βρίσκεται και πεδίο του αυτόματου διακόπτη διασύνδεσης (ηλεκτρονόμος προστασίας SEPAM), ο οποίος θα χειρίζεται αυτόματα με βάση την παραμετροποίηση ως προς τάση και τη συχνότητα του δικτύου. Το SEPAM παραμετροποιείται αυστηρά από τους τεχνικούς του αρμόδιου Διαχειριστή και δεν επεμβαίνει τρίτος ούτε κατά τη φάση λειτουργίας του έργου.

Τα καλώδια AC ΜΤ που οδεύουν από τους Μ/Σ στον Υποσταθμό Ζεύξης, θα τοποθετηθούν σε βάθος από 0.6 έως 1.1 μ. χωρίς σωλήνα μέσα σε άμμο. Ο χάνδακας θα έχει 3 στρώσεις υλικών: ξεκινώντας από την επιφάνεια τους εδάφους ένα στρώμα πάχους 0.4 μ. από αδρανή υλικά εκσκαφής, ένα δεύτερο στρώμα από άμμο πάχους 0.6 μ. και το κατώτερο στρώμα 0.1μ. από αδρανή υλικά στο οποίο τοποθετούνται τα καλώδια ΜΤ.

Τέλος, στον Υποσταθμό Ζεύξης θα βρίσκεται το πεδίο μέτρησης των μεγεθών ισχύος, τάσης και ρεύματος αντίστοιχα τόσο συνολικά όσο και για κάθε φάση ξεχωριστά, ενώ θα υπάρχει και το πεδίο αναχώρησης για τη ζεύξη/διασύνδεση του Φ/Β σταθμού με τοτμήμα ανύψωσης του Υποσταθμού ΥΤ 33/150kV. Από τον Υποσταθμό Ζεύξης θα αναχωρούν υπόγεια τριφασικά καλώδια ΜΤ σύμφωνα με τις υποδείξεις του αρμόδιου Διαχειριστή. Σε κάθε περίπτωση, αρμόδιος φορέας για τη διασύνδεση του Φ/Β σταθμού αλλά και τον καθορισμό του σημείου διασύνδεσης είναι ο διαχειριστής συστήματος μεταφοράς ΑΔΜΗΕ.

Ο προκατασκευασμένος οικίσκος του υποσταθμού ζεύξης θα είναι διαστάσεων 6.0m x 2.5m και θα τοποθετηθεί επί βάσης από σκυρόδεμα πάχους 20cm, εκ των οποίων τα 10cm θα είναι εντός του εδάφους.

#### 4.8. Σύστημα Ελέγχου και παρακολούθησης (Monitoring)

Για την τηλε-παρακολούθηση του φωτοβολταϊκού σταθμού θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλο σύστημα τηλε-επιτήρησης.

Το σύστημα θα συλλέγει και θα καταγράφει τα στοιχεία λειτουργίας του σταθμού (ρεύματα, τάσεις κλπ.) και τα δεδομένα μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στο χώρο του σταθμού (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία panel κλπ.), αλλά και των συνθηκών περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία κλπ.) στο εσωτερικό των Υποσταθμών.

Προβλέπεται η εγκατάσταση των ακόλουθων μετρητικών διατάξεων:

- ✓ 2 πυρανόμετρων στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων και 1 πυρανόμετρο σε επίπεδη διεύθυνση

- ✓ 3 αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας φωτοβολταϊκών πλαισίων (PT100)
- ✓ 1 αλμπιντόμετρο (albedometer) για την μέτρηση της ολικής και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας

Για τη συλλογή των δεδομένων από τα κυτία διασύνδεσης σε κάθε inverter θα κατασκευαστεί δίκτυο, δομής bus, RS485 (καλώδιο Li2YCYv). Ένα data logger θα συλλέγει τα δεδομένα κάθε Ζεύγους inverter / Υποσταθμού και θα τα αποστέλλει με τη βοήθεια δικτύου κατασκευασμένου από οπτικές ίνες σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο εντός του κεντρικού ΥΣ ζεύξης (μονάδα ελέγχου).

Το σύστημα τηλε-επιτήρησης και καταγραφής θα αποστέλλει συστηματικά, μέσω ασύρματου modem τα δεδομένα λειτουργίας του σταθμού, σε απομακρυσμένο υπολογιστή, όπου και θα αποθηκεύονται για περαιτέρω επεξεργασία και παρουσίαση. Το σύστημα τηλε-επιτήρησης επιτρέπει τον προγραμματισμό πολλαπλών συστηματικών ελέγχων επί των συλλεγόμενων δεδομένων. Οι έλεγχοι αυτοί προγραμματίζονται κατάλληλα και πραγματοποιούνται αυτόματα καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Οι πραγματικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών συγκρίνονται με τρισεναμενόμενες και προληπτικά μηνύματα σφάλματος εμφανίζονται στη μονάδα ελέγχου. Οι ανωτέρω έλεγχοι κάνουν εφικτή την έγκαιρη αναγνώριση προβλημάτων λειτουργίας του σταθμού, πριν την εκπομπή μηνύματος σφάλματος από τμήμα της εγκατάστασης (π.χ. alarm του inverter).

Το σύστημα τηλε-επιτήρησης παρέχει, επίσης, τη δυνατότητα απομακρυσμένης πρόσβασης και, συνεπώς, παρακολούθησης όλων των μετρούμενων μεγεθών σε πραγματικό χρόνο αλλά και επέμβασης.

#### **4.9. Γειώσεις / Αντικεραυνική Προστασία**

Θα υπάρχει κοινή γείωση για όλους τους σκοπούς (λειτουργίας, προστασίας από σφάλματα και αντικεραυνικής προστασίας). Η γείωση των Υ/Σ και του Φ/Β σταθμού θα είναι συνδυασμός θεμελιακής γείωσης με δακτυλιοειδή ηλεκτρόδια και ακτινικά ηλεκτρόδια γειώσεως. Η σχεδίαση, η εγκατάσταση και τα υλικά θα είναι σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Κάθε Σύστημα Στήριξης γειώνεται άμεσα μέσω των πασσάλων θεμελίωσής του, που λειτουργούν και ως ηλεκτρόδια γείωσης. Τα διαδοχικά Συστήματα Στήριξης κάθε σειράς θα διασυνδεθούν μεταξύ τους, με τη βοήθεια εναέριου αγωγού αλουμινίου, διατομής 50 mm<sup>2</sup>, για την ομογενοποίηση του δυναμικού τους.

Η ομογενοποίηση του δυναμικού διαδοχικών σειρών θα επιτευχθεί με τη σύνδεση του πλησιέστερου πασσάλου σε αμόνωτους αγωγούς επικασσιτερωμένου χαλκού, διατομής 16mm<sup>2</sup>, που θα διατρέχουν ενταφιασμένοι το χώρο του σταθμού ανά 100 m περίπου, με διεύθυνση του βασικού προσανατολισμού. Η σύνδεση των πασσάλων με τον χαλκό θα γίνεται εκτός του εδάφους με ειδικούς διμεταλλικούς συνδέσμους, για την εξάλειψη της διαδικασίας της ηλεκτρόλυσης.

Το δίκτυο γείωσης των φωτοβολταϊκών συστοιχιών θα διασυνδεθεί με το αντίστοιχο των συγκροτημάτων inverter / Υποσταθμός.

Η μελέτη και εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας βασίζεται στις νόρμες του διεθνούς προτύπου EN62305. Το εξωτερικό σύστημα προστασίας από κεραυνούς πρέπει να είναι κλάσης II και περιλαμβάνει ράβδους συλλογής από γαλβανισμένο χάλυβα διατομής περίπου 800 mm, διατεταγμένων κατά μήκος των σειρών των Φ/Β πλαισίων ανά περίπου 12 μέτρα. Η απόσταση αυτή είναι βασισμένη στην αρχή της



---

κυλιόμενης σφαίρας για τη προστασία του εξοπλισμού. Για την κλάση II η ακτίνα της σφαίρας κεραυνού είναι ίση με 30m.

Οι ράβδοι γειώνονται μέσω του μεταλλικών βάσεων στήριξης των ΦΒ πλαισίων στην ισοδυναμική γείωση της εγκατάστασης. Οι οικίσκοι των υποσταθμών και των αντιστροφών επίσης γειώνονται απευθείας στον αγωγό της ισοδυναμικής γείωσης.

Για την προστασία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, θα εγκατασταθεί ειδικός εξοπλισμός προστασίας έναντι υπερτάσεων στους ηλεκτρικούς πίνακες. Αυτές οι συσκευές έχουν την ικανότητα να παρεμποδίζουν τόσο τις υπερτάσεις άμεσα από κεραυνούς στην εγκατάσταση όσο και από υπερτάσεις προερχόμενες από το ηλεκτρικό δίκτυο, και να το οδηγούν με ασφάλεια στη γη.

Ανάλογα με τη θέση και τον τύπο του πίνακα διανομής, θα χρησιμοποιηθούν είτε απαγωγείς υπερτάσεων τύπου T1 είτε T1 + T2. Για ευαίσθητο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, απαγωγείς υπερτάσεων τύπου T3 θα εγκατασταθούν επίσης στους αντίστοιχους ηλεκτρικούς πίνακες.

#### **4.10. Σύστημα Φύλαξης**

Θα τοποθετηθεί σύστημα φύλαξης το οποίο θα αποτελείται από υποσυστήματα Συναγερμού (Alarm) και κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης (CCTV).

Το υποσύστημα Alarm θα χρησιμοποιεί ως αισθητήρες φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές δέσμης (BEAM) για τη φύλαξη της περιμέτρου και θα παράγει, σε περίπτωση ενεργοποίησης, οπτικοακουστικό σήμα (φαροσειρήνα) τοπικά ενημερώνοντας το Κέντρο Λήψης Σημάτων σχετικά με το συμβάν, μέσω ασύρματης σύνδεσης.

Το υποσύστημα CCTV θα χρησιμοποιεί έγχρωμους εικονολήπτες PTZ (κάμερες Pan Zoom Tilt) με δυνατότητα νυχτερινής όρασης, τοποθετημένους εντός κατάλληλων στεγανών ερμαριών, επί μεταλλικών στύλων, που θα βρίσκονται στη περίμετρο του γηπέδου. Το υποσύστημα CCTV θα διαθέτει καταγραφικό εικόνας με δυνατότητα συνεχούς εγγραφής έως και 10 ημερών ενώ θα παρέχει, παράλληλα, τη δυνατότητα μετάδοσης εικόνας σε πραγματικό χρόνο, μέσω ευρυζωνικής τηλεπικοινωνιακής σύνδεσης.

#### **4.11. Σύστημα Πυρασφάλειας**

Ένα σύστημα πυρασφάλειας και πυρόσβεσης κρίνεται απαραίτητο όχι μόνο για την ασφάλεια του εξεταζόμενου σταθμού, αλλά και για τον περιβάλλοντα του έργου χώρο. Το σύστημα πυρασφάλειας του σταθμού θα πληροί όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις που προβλέπει η κείμενη νομοθεσία και θα περιλαμβάνει πυροσβεστήρες ξηράς κόνεως, φορητούς και οροφής στους οικίσκους των ΥΣ, πυροσβεστήρες CO2 καθώς και συσκευές πυρανίχνευσης όπου κριθεί απαραίτητο.

#### **4.12. Μετρικές Διατάξεις**

Στο σημείο διασύνδεσης με το δίκτυο θα εγκατασταθούν και οι μετρητικές διατάξεις. Θα εγκατασταθούν δύο μετρητές, εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας, εφοδιασμένοι με μηχανισμό εμπλοκής. Ο μετρητής που καταχωρεί την παρεχόμενη στο δίκτυο ενεργό ενέργεια (kWh) θα είναι τριπλού τιμολογίου.

Ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης ΑΔΔ, το σύστημα προστασίας και οι μετρητικές διατάξεις θα εγκατασταθούν στον ΥΣ Ζευξης που θα είναι προσιτός σε αρμόδια

---

πρόσωπα της υπηρεσίας δικτύου για μετρήσεις και ελέγχους, καθώς και χειρισμό ζεύξης/απόζευξης του ΑΔΔ.

#### **4.13. Κύρια, βοηθητικά, υποστηρικτικά και συνοδευτικά έργα και εγκαταστάσεις**

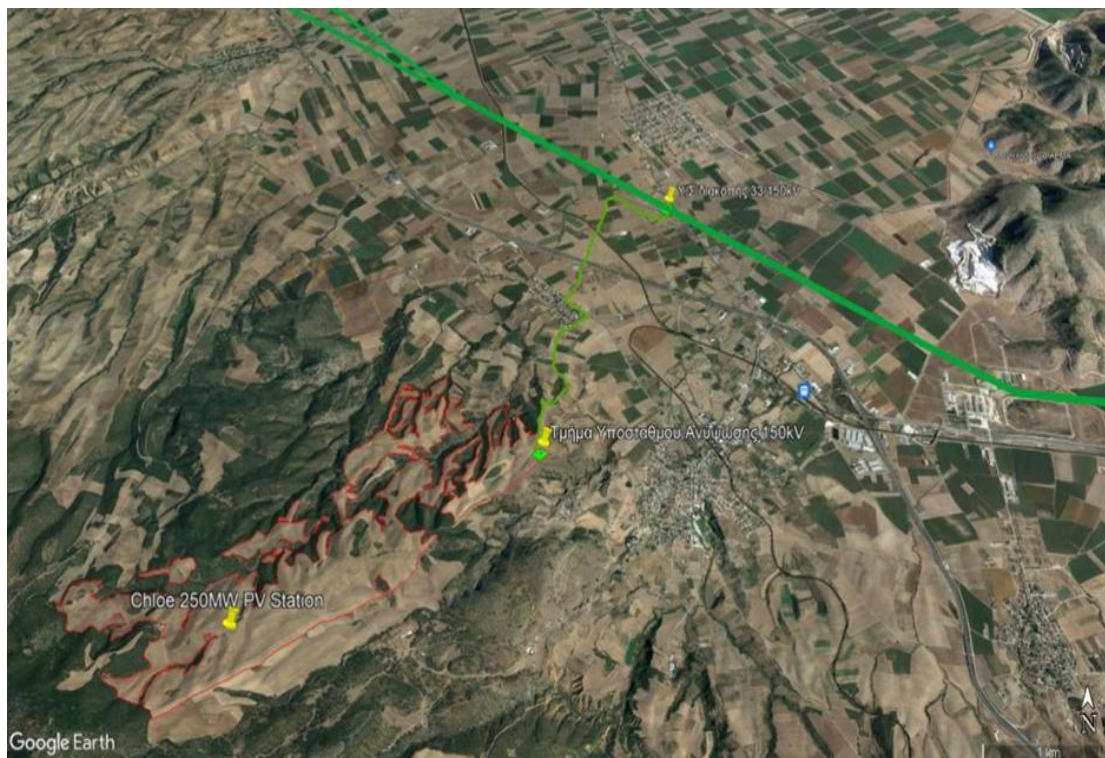
Τα κύρια έργα περιγράφονται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, όπως και τα βοηθητικά και υποστηρικτικά. Τα συνοδά έργα αφορούν στο οδικό δίκτυο και διασύνδεση του Φ/Β σταθμού με το υφιστάμενο σύστημα μεταφοράς. Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει ένα αγροτικό δίκτυο, μη ασφαλτοστρωμένο, σε επαφή και εντός του γηπέδου, πρακτικά δεν απαιτούνται ιδιαίτερα έργα οδοποιίας, ειδικά ως προς τη σύνδεση των γηπέδων με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο. Τα έργα οδοποιίας αφορούν στο εσωτερικό οδικό δίκτυο του σταθμού, τα οποία θα αφορούν σε εσωτερικές οδούς, που θα κατασκευαστούν για την ασφαλή πρόσβαση στους Μετασχηματιστές (ΜΣ) τόσο μεταξύ τους όσο και με τις θύρες πρόσβασης στα αντίστοιχα σημεία περιφράξης του Φ/Β Σταθμού. Για την κατασκευή των εσωτερικών οδών θα χρησιμοποιηθούν αδρανή υλικά (κροκάλες και θραυστά υλικά λατομείου), τα οποία θα υποστούν επιφανειακή συμπύκνωση με οδοστρωτήρα, σε πάχος 25 cm. Το πλάτος των οδών αυτών θα είναι 4,0-4,5 m. Η κατασκευή θα περιλαμβάνει εκσκαφές πολύ μικρού βάρους (περίπου 15 cm), ώστε οι οδοί να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με το έδαφος.

Σε κατάλληλα διαμορφωμένη έκταση του γηπέδου θα τοποθετηθούν δύο προκατασκευασμένοι οικίσκοι (ISOBOX) (6m x 2.5m έκαστος) που θα στεγάσουν τον μηχανολογικό, ηλεκτρονικό και λοιπό εξοπλισμό της μονάδας που απαιτεί προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Σε αντίστοιχο οικίσκο στεγάζεται και ο Υποσταθμός Ζεύξης κάθε πολυγώνου του Φ/Β σταθμού.

#### **4.14. Έργα διασύνδεσης με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς**

##### **4.14.1. Πρόταση τεχνικής Λύσης Διασύνδεσης Α1**

Η προτεινόμενη λύση διασύνδεσης που προτείνεται από τους τεχνικούς του έργου απαιτεί την ανύψωση της τάσης εξόδου 33kV του Φ/Β Σταθμού σε υψηλή τάση 150kV και εν συνεχεία τη σύνδεσή του στο υφιστάμενο σύστημα μεταφοράς ενέργειας υψηλής τάσης. Η τεχνική λύση απεικονίζεται γεωγραφικά στον Χάρτη της Εικόνας 9 και είναι η εξής:



**Εικόνα 9:** Γεωγραφική αποτύπωση της προτεινόμενης πρότασης διασύνδεσης Α1 του Φ/Β Σταθμού

Το τμήμα ανύψωσης της τάσης του υποσταθμού θα πραγματοποιείται σε χώρο εντός του Φ/Β σταθμού εκτάσεως περίπου 7 στρεμμάτων, στο νοτιοανατολικό όριο, ενώ το τμήμα των ζυγών και των πυλών θα υλοποιείται σε χώρο όμοιας επιφάνειας κάτω από τις υφιστάμενες εναέριας γραμμές μεταφοράς.

Το παραγόμενο ρεύμα του Φ/Β Σταθμού θα διοχετεύεται μέσω ΥΣ 33/150kV που θα ανεγερθεί εντός του βορειοανατολικού τμήματος του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β Σταθμού στις υφιστάμενες εναέριας Γραμμές Μεταφοράς 150kV, Λάρισα – Βόλος & Βόλος II – Λάρισα II. Στη συγκεκριμένη τοπολογία, δύναται να κατασκευαστεί υποσταθμός διακοπής (switching station) σε κατάλληλο αγροτεμάχιο κάτω από το ζεύγος των γραμμών. Η συνδεσμολογία του Φ/Β Σταθμού θα είναι τύπου Είσοδος – Έξοδος και για τα 4 κυκλώματα, καθώς η παραγόμενη ισχύς είναι μεγάλη συγκριτικά με την χωρητικότητα του κάθε κυκλώματος. Η σύνδεση των Εναερίων Γραμμών με τον Υ/Σ θα πραγματοποιηθεί με υπόγεια καλώδια υψηλή τάσης, λόγω της μικρής απόστασης από οικισμούς της περιοχής και για να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή περιβαλλοντική επέμβαση.

Ο Υ/Σ 33/150kV εντός του γηπέδου εγκατάστασης, θα διαθέτει κατ' ελάχιστον 2 μετασχηματιστές ισχύος 125MVA ο καθένας, ενώ από αυτόν θα ξεκινούν 2 κυκλώματα υπογείων καλωδίων υψηλής τάσης και μήκους όδευσης 5.14 χλμ., τα οποία θα καταλήγουν στον υποσταθμό διακοπής ο οποίος θα βρίσκεται πλησίον των υφιστάμενων Γραμμών Μεταφοράς 150kV, Λάρισα – Βόλος & Βόλος II – Λάρισα II.

Τα υπόγεια καλώδια απλού κυκλώματος το κάθε ένα θα διαθέτουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- ✓ Τύπος αγωγών: XLPE
- ✓ Αριθμός κυκλωμάτων: 1 κύκλωμα (3 φάσεις + οπτική ίνα) – Συνολικά 2 κυκλώματα
- ✓ Αριθμός υπογείων καλωδίων: 1 κύκλωμα – 3 χ 800mm<sup>2</sup> Copper Core (Trefoil)

configuration)

- ✓ Μεταφορική ικανότητα: 160MW για τα 150kV ανά κύκλωμα
- ✓ Διαστάσεις χαντακιού: 1 κύκλωμα 0,8μ χ 1,8μ (πλάτος χ βάθος)  
2 κυκλώματα 1,0 χ 2,5μ (πλάτος χ βάθος)
- ✓ Μήκος Γραμμής Μεταφοράς:  $L=2 \times 5,14\text{km} = 10,28\text{km}$

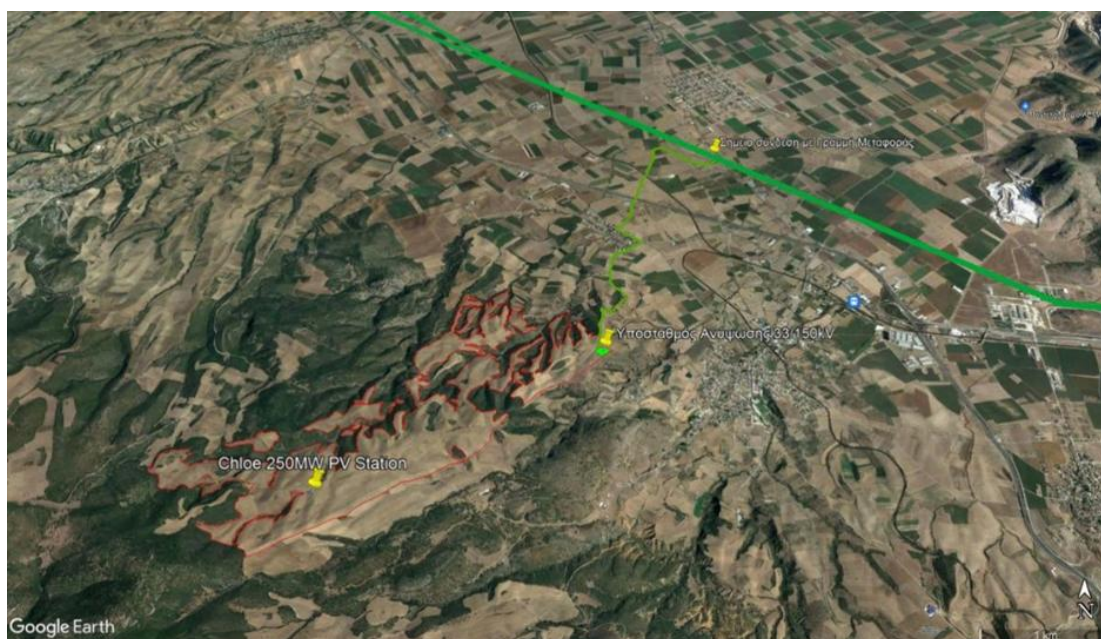
Ο Υποσταθμός Διακοπής θα διαθέτει κατ' ελάχιστον:

- ✓ 8 πύλες ΓΜ 150kV

Η εξέταση της εν λόγω προτεινόμενης τεχνικής λύσης έγκειται στο γεγονός ότι σε σχέση με την επόμενη λύση (A2), απαιτούνται λιγότερα κυκλώματα και άρα και λιγότερες εκσκαφές – χαντάκια.

### 3. 4.14.2. Πρόταση τεχνικής Λύσης Διασύνδεσης A2

Η λύση A2 είναι παρόμοια με την προτεινόμενη λύση A1 με την διαφορά ότι ο Υ/Σ ανύψωσης υψηλής τάσης 33/150kV θα ανεγερθεί εξ' ολοκλήρου εντός των ορίων του πολυγώνου ΡΑΕ της Βεβαίωσης Παραγωγού καλύπτοντας έκταση 15 στρεμμάτων, στο νοτιοανατολικό όριο του Φ/Β Σταθμού. Η A2 ως τεχνική λύση διασύνδεσης του Φ/Β Σταθμού αποτυπώνεται στον Χάρτη της Εικόνας 10 και είναι η εξής:



**Εικόνα 10:** Γεωγραφική αποτύπωση της πρότασης διασύνδεσης A2 του του Φ/Β Σταθμού

Το παραγόμενο ρεύμα του Φ/Β Σταθμού θα διοχετεύεται μέσω ΥΣ 33/150kV που θα ανεγερθεί εντός του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β Σταθμού στις υφιστάμενες αερίες Γραμμές Μεταφοράς 150kV, Λάρισα – Βόλος & Βόλος II – Λάρισα II. Η συνδεσμολογία του Φ/Β Σταθμού θα είναι τύπου Είσοδος – Έξοδος για 4 κυκλώματα, καθώς η παραγόμενη ισχύς είναι μεγάλη συγκριτικά με την χωρητικότητα του κάθε κυκλώματος. Η σύνδεση των υφιστάμενων Εναερίων Γραμμών με τον Υ/Σ θα πραγματοποιηθεί με υπόγεια καλώδια υψηλής τάσης, λόγω της μικρής απόστασης από οικισμούς της περιοχής και για να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή περιβαλλοντική επέμβαση.

Ο Υ/Σ 33/150kV θα διαθέτει κατ' ελάχιστον τα εξής:

- 
- ✓ 2 μετασχηματιστές ισχύος 125MVA έκαστος και
  - ✓ 8 πύλες ΓΜ 150kV

Από αυτόν θα ξεκινούν 4 κυκλώματα υπογείων καλωδίων υψηλής τάσης και μήκους όδευσης 5.14 χλμ. Τα χαρακτηριστικά των υπογείων καλωδίων σε αυτή την περίπτωση, θα είναι τα εξής:

- ✓ Τύπος αγωγών: XLPE
- ✓ Αριθμός κυκλωμάτων: 1 κύκλωμα (3 φάσεις + οπτική ίνα) – Συνολικά 4 κυκλώματα
- ✓ Αριθμός υπογείων καλωδίων: 1 κύκλωμα – 3 χ 800mm<sup>2</sup> Copper Core (Trefoil configuration)
- ✓ Μεταφορική ικανότητα: 160MW για τα 150kV ανά κύκλωμα
- ✓ Διαστάσεις χαντακιού: 1 κύκλωμα 0,8μ χ 1,8μ (πλάτος χ βάθος) 2 κυκλώματα 1,0 χ 2,5μ (πλάτος χ βάθος)
- ✓ Μήκος Γραμμής Μεταφοράς:  $L=4 \times 5,14\text{km} = 20,56\text{km}$

#### **4. 4.14.3. Εναλλακτική τεχνική λύση διασύνδεσης Β**

Η εναλλακτική λύση διασύνδεσης Β θα προσπαθήσει να εκμεταλλευθεί τις υποδομές που είναι πιθανόν να κατασκευαστούν από άλλους επενδυτές που αναπτύσσουν Φ/Β έργα στην ευρύτερη περιοχή του Φ/Β Σταθμού του φορέα «Αύγουστος Μονοπρόσωπη Ι.Κ.Ε.», τα έργα των οποίων βρίσκονται σε πιο ώριμο αδειοδοτικό στάδιο. Η εναλλακτική λύση Β απεικονίζεται γεωγραφικά στον Χάρτη της εικόνας 11.

Το παραγόμενο ρεύμα του Φ/Β Σταθμού θα διοχετεύεται μέσω ΥΣ 33/150kV που θα ανεγερθεί εξολοκλήρου στο νοτιοδυτικό όριο του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β Σταθμού σε Κέντρο Υπερυψηλής τάσης (Κ.Υ.Τ) στην περιοχή της Σκοτούσας. Η διασύνδεση του έργου με το ΚΥΤ θα πραγματοποιείται μέσω:

- ✓ Εναερίων γραμμών μεταφοράς 150kV μήκους 11,7km οι οποίες θα αποτελούνται από 35 πυλώνες Σειράς 4
- ✓ Υπογείων γραμμών μεταφοράς 150kV μήκους 5,97km, λόγω της μικρής απόστασης από οικισμούς της περιοχής.



**Εικόνα 11:** Γεωγραφική αποτύπωση της πρότασης διασύνδεσης Β του του Φ/Β Σταθμού

Ο Υ/Σ 33/150kV θα διαθέτει κατ' ελάχιστον τα εξής:

- ✓ 1 μετασχηματιστή ισχύος 2 x 125MVA έκαστος και
- ✓ 2 πύλες ΓΜ 150kV

Τα χαρακτηριστικά των υπογείων γραμμών μεταφοράς 150kV απλού κυκλώματος σε αυτή την περίπτωση, θα είναι τα εξής:

- Τύπος αγωγών: XLPE
- Αριθμός κυκλωμάτων: 1 κύκλωμα (3 φάσεις + οπτική ίνα) – Συνολικά 2 κυκλώματα
- Αριθμός υπογείων καλωδίων: 1 κύκλωμα – 3 x 800mm<sup>2</sup> Copper Core (Trefoil configuration)
- Μεταφορική ικανότητα: 160MW για τα 150kV ανά κύκλωμα
- Διαστάσεις χαντακιού: 1 κύκλωμα 0,8μ x 1,8μ (πλάτος x βάθος)  
2 κυκλώματα 1,0 x 2,5μ (πλάτος x βάθος)
- Μήκος Γραμμής Μεταφοράς:  $L=2 \times 5,97\text{km} = 11,94\text{km}$

#### 4.15. Χαλύβδινοι πύργοι στήριξης καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (MT & YT)

Η κατηγορία των χαλύβδινων πύργων θα είναι απλού κυκλώματος ελαφρού ή βαρέος τύπου αναλόγως των ανεμοπιέσεων και των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής, ενώ ως προς το τύπο τους θα τοποθετηθούν πύργοι ευθυγραμμίας, γωνίας και τέρματος.

Η πολική τάση της γραμμής θα είναι ανάλογα με τη μεταφερόμενη ενέργεια 33kV, 150kV και 400kV αντίστοιχα, ενώ τα κυκλώματα θα είναι τριφασικά σε οριζόντια

---

διάταξη. Στη κορυφή των πύργων και συμμετρικά στον άξονα αυτών και πάνω από τις 3 φάσεις θα οδεύουν οι αγωγοί προστασίας. Οι αγωγοί των φάσεων θα στηρίζονται σε δισκοειδείς μονωτήρες τύπου πορσελάνης ή γυαλί.

Οι πύργοι θα κατασκευαστούν από γωνιακά ελάσματα δομικού χάλυβα ποιότητας S235 JR/JO και S235 JR/JO σύμφωνα με τη προδιαγραφή EN 10025. Όλα τα στοιχεία των πύργων (κύριος οπλισμός, κοχλίες, περικόχλια, παράκυκλοι) καθώς και τα υλικά πρόσδεσης κατασκευάζονται από χάλυβα υψηλής αντοχής και θα είναι επιψευδαργυρωμένα εν θερμώ σύμφωνα με τη προδιαγραφή EN ISO1461.

Το ύψος των πύργων κατηγοριοποιείται σε 25 και 40 μέτρα ανάλογα με το ανάγλυφο τους εδάφους ενώ η απόσταση μεταξύ τους κυμαίνεται από 200 έως 600 μέτρα με μέση απόσταση 350 μέτρα, ενώ κάθε χαλύβδινος πύργος θα στηρίζεται σε 4 ανεξάρτητα θεμέλια από σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα θα ενισχυθεί με οπλισμό όποτε κρίνεται απαραίτητο αναλόγως της ποιότητας του εδάφους. Κάθε πύργος θα γειώνεται και στα 4 θεμέλια από σκυρόδεμα μέσω χαλύβδινων ράβδων γείωσης οι οποίες θα είναι επιψευδαργυρωμένες εν θερμώ.

Σε κάθε περίπτωση, οι τελικές προδιαγραφές των συνοδών έργων των ΓΜ ενέργειας και της ανέγερσης νέου Υ/Σ, θα καθοριστούν με την έκδοση των Προσωρινών Όρων Σύνδεσης από την ΑΔΜΗΕ Α.Ε.

#### **4.16. Τεχνική περιγραφή ΥΣ ΥΤ 33/150Kv**

##### **4.16.1. Γενικά**

Ο Υποσταθμός ανύψωσης τάσης είναι απαραίτητος για τη διασύνδεση των Φ/Β σταθμών με το σύστημα μεταφοράς του ΑΔΜΗΕ ΑΕ. Παραλαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια από τις εναέριες γραμμές ΜΤ (33kV) των έργων και τη μετασχηματίζουν σε υψηλή τάση (150kV). Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις αυτές εξυπηρετούν και τις ανάγκες διασύνδεσης άλλων Υποσταθμών με το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς, καθορίζοντας έτσι τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο υψηλής τάσης και βελτιώνοντας την αξιοπιστία και την ευστάθεια του Συστήματος γενικότερα.

Συνολικά ο ΥΣ ΥΤ καταλαμβάνει έκταση 10 στρεμμάτων και αποτελείται από τα κάτωθι τμήματα:

- Το Τμήμα Υψηλής Τάσης 150kV: Περιλαμβάνει τις κυψέλες Γραμμών Μεταφοράς 150kV, οι οποίες αποτελούν τις λειτουργικές μονάδες πρόσδεσης των Γραμμών Μεταφοράς 150kV στον Υποσταθμό, τις κυψέλες Μετασχηματιστή 150kV, οι οποίες αποτελούν τις λειτουργικές μονάδες σύνδεσης των Μετασχηματιστών ισχύος στους ζυγούς 150kV και τους ζυγούς 150kV. Το τμήμα υψηλής τάσης είναι υπαίθριου τύπου και ο εξοπλισμός που το συνθέτει εγκαθίσταται πάνω σε βάσεις από σκυρόδεμα και σε μεταλλικά ικριώματα σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο εντός του γηπέδου του Υποσταθμού.
- Τους Μετασχηματιστές Ισχύος με τις αντίστοιχες κυψέλες 150kV για την πρόσδεσή τους στους ζυγούς 150kV (που αναφέρθηκαν παραπάνω). Οι Μετασχηματιστές ισχύος ανηψώνουν την ηλεκτρική ενέργεια από 33kV σε 150kV, είναι υπαίθριου τύπου και εγκαθίστανται πάνω σε βάσεις από σκυρόδεμα σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους εντός του γηπέδου του Υποσταθμού.
- Το Τμήμα Μέσης Τάσης 33kV: Περιλαμβάνει τις κυψέλες Γραμμών Διανομής 33kV οι οποίες αποτελούν τις λειτουργικές μονάδες πρόσδεσης των Γραμμών 33kV στον Υποσταθμό, τις κυψέλες προστασίας, μετρήσεων και ελέγχου και

---

τους ζυγούς 33kV.

Η σύνδεση της γραμμής μεταφοράς 150kV στους ζυγούς 150kV του Υποσταθμού γίνεται μέσω των αντίστοιχων κυψελών 150 kV.

Οι κυψέλες αυτές είναι υπαίθριου τύπου και εξοπλισμένες με όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό (διακόπτες ισχύος, αποζεύκτες, διατάξεις μετρήσεως) για τη λειτουργία της γραμμής.

Μέσω των παραπάνω κυψελών της γραμμής MT 33kV, η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στους ζυγούς 33kV του Υποσταθμού και από εκεί στους δύο Μετασχηματιστές ανύψωσης 33/150kV ισχύος 100 και 50 MVA (ή έναν Μετασχηματιστή 150MVA).

Το μονωτικό διηλεκτρικό υγρό που χρησιμοποιείται για ψύξη στους Μετασχηματιστές υποβιβασμού είναι κοινό ορυκτέλαιο, αυτοδιασπώμενο και σύμφωνα με τις προδιαγραφές δεν περιέχει τις τοξικές ουσίες PCB's ή PCT's. Η συλλογή, η προσωρινή αποθήκευση και η εκποίηση των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων πραγματοποιούνται από εξουσιοδοτημένες εταιρείες, όπως ορίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία (87/101/ΕΟΚ).

Βάσει των προδιαγραφών, η συνολική στάθμη θορύβου των Μετασχηματιστών δεν υπερβαίνει τα 55 dB στον άμεσο περιβάλλοντα χώρο (σε ακτίνα 4 μέτρων), με συνέπεια η στάθμη θορύβου στα όρια περιφράξης να είναι κατά πολύ μικρότερη από τα ανώτατα όρια θορύβου που καθορίζονται από τη νομοθεσία.

Από τους Μετασχηματιστές ισχύος, η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματισμένη πλέον σε τάση 150kV, μέσω υπογείων καλωδίων, μεταφέρεται στους ζυγούς 150kV και από εκεί στις κυψέλες αναχωρήσεων γραμμών διανομής Μέσης Τάσης 150kV για να προωθηθεί στην κατανάλωση.

Οι ζυγοί Μέσης Τάσης καθώς και οι κυψέλες αναχωρήσεων γραμμών διανομής Μέσης Τάσης 33kV είναι κλειστού τύπου και εγκατεστημένοι εντός του κτιρίου ελέγχου του Υποσταθμού. Πρόκειται ουσιαστικά για κλειστούς μεταλλοενδεδυμένους πίνακες μέσης τάσεως διαστάσεων περίπου 1x2.1x2.3 m, οι οποίοι περιλαμβάνουν όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό ισχύος, ελέγχου και προστασίας για τη σωστή, ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία των γραμμών διανομής.

Για την εγκατάσταση των κυψελών αναχωρήσεων μέσης τάσης και των πινάκων ελέγχου του εξοπλισμού που περιγράφηκε παραπάνω, θα κατασκευασθεί μονώροφο κτίριο ελέγχου διαστάσεων 30 x 13 m (κάλυψη 390 m<sup>2</sup>) και ύψους 5μ. Συνολικά η κάλυψη της κατασκευής του νέου ΥΣ ΥΤ θα είναι περίπου 10 στρέμματα.

#### **4.16.2. Κτίριο Ελέγχου Υ/Σ**

Ο σκοπός της ανέγερσης του κτιρίου ελέγχου είναι να εξυπηρετήσει την εγκατάσταση του εξοπλισμού ισχύος, προστασίας, ελέγχου, μετρήσεων και λοιπού βοηθητικού εξοπλισμού στον Υποσταθμό και να παρέχει ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας στο προσωπικό. Το κτίριο θα παρέχει ικανοποιητική προστασία από δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες, έντονη βροχόπτωση, θερμοκρασία και άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Απαιτείται η θερμομόνωση του κτιρίου και ο επαρκής φυσικός και τεχνητός φωτισμός του, ώστε να επιτρέπεται η πρόσβαση, επιθεώρηση και λειτουργία κατά τις νυχτερινές ώρες.

Ο φέρων οργανισμός του κτιρίου είναι σκελετός από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι τοίχοι πληρώσεως είναι οπτοπλινθοδομή σοβαντισμένη και βαμμένη με χρώματα ακρυλικής



---

βάσεως.

Για την εξυπηρέτηση των οδεύσεων των καλωδίων ισχύος και ελέγχου στο κτίριο του Υποσταθμού θα κατασκευαστούν στα δάπεδα των αντίστοιχων αιθουσών κανάλια κατάλληλων διαδρομών και διαστάσεων, σκεπασμένα με κατάλληλες πλάκες επικαλύψεως από μπακλαβωτή λαμαρίνα (πάχους 3 mm κατ' ελάχιστον, με την απαραίτητη σιδηροκατασκευή ενίσχυσης). Η διαμόρφωση κάτω από τα δάπεδα θα είναι είναι τέτοια που να αποτρέπει την υγρασία.

Στην αίθουσα πεδίων Μέσης Τάσης τοποθετούνται βιομηχανικά ρολά διαστάσεων 2,20 x 3,00 m. Οι εσωτερικές πόρτες της αίθουσας ελέγχου και πεδίων Χαμηλής Τάσης και της αίθουσας πεδίων Μέσης Τάσης είναι πυράντοχες (δείκτης πυραντίστασης 90 min) με μπάρα αντιπανικού διευκολύνοντας την έξοδο διαφυγής. Οι υπόλοιπες εσωτερικές πόρτες είναι ξύλινες, πρεσσαριστές, βαμμένες με κατάλληλες ριπολίνες.

Όλα τα παράθυρα του κτιρίου είναι αλουμινίου, βαρέως τύπου, συρόμενα, με διπλούς υαλοπίνακες πάχους 5 mm. Τα παράθυρα των αιθουσών Ελέγχου και Πεδίων ΧΤ, Εξοπλισμού Πολλαπλής Τιμολόγησης, Γραφείου και Συσσωρευτών φέρουν εσωτερικά σκίαστρα (περσίδες), ενώ όλα τα παράθυρα φέρουν εξωτερικά κγκλιδώματα προστασίας από παραβίαση.

Η οροφή είναι διαμορφωμένη σε στέγη δίκλινη με επικάλυψη από ρωμαϊκά κεραμίδια.

Ο υπόγειος χώρος όδευσης καλωδίων κάτω από το κτίριο του Υποσταθμού έχει ωφέλιμο ύψος 1,65 m και υπέργειο ύψος 0,4 m. Οι τοίχοι του θα είναι από εμφανές σκυρόδεμα, βαμμένοι με τσιμεντόχρωμα. Το υπόγειο διαθέτει επαρκή αερισμό/εξαερισμό, κανονικό φωτισμό και φωτισμό ανάγκης, ικανοποιητικό πλήθος ρευματοδοτών, πυρανίχνευση και φορητούς πυροσβεστήρες.

Περιμετρικά του κτιρίου κατασκευάζεται πεζοδρόμιο πλάτους 0,80 m από αντιολισθηρές πλάκες (πάχους 4 cm) και στην επαφή του κατασκευάζονται σοβατεπιά (λούκια) από τσιμεντοκονία.

Για την προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMC) λαμβάνονται υπόψη οι αντίστοιχοι IEC κανονισμοί. Συγκεκριμένα, στην αίθουσα ελέγχου του Υποσταθμού τοποθετείται πλέγμα λεπτών αγωγών γαλβανισμένου χάλυβα, πεδίων διάστασης 15mm x 15mm στους περιμετρικούς τοίχους, στο δάπεδο και στην οροφή της, πριν από το τελικό επίχρισμα των δομικών στοιχείων.

#### **4.16.3. Υλικά**

Το τσιμέντο θα είναι εξαιρετικής ποιότητας τύπου "Πόρτλαντ" Ελληνικό, σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς και τις προδιαγραφές του DIN 1164 που αφορούν το τσιμέντο Z275. Η αποθήκευση του τσιμέντου στο εργοτάξιο για μεγάλο χρονικό διάστημα απαγορεύεται. Ο χάλυβας θα είναι σύμφωνος με το νέο κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Τα αδρανή θα είναι σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς και με τις προδιαγραφές του DIN 4226. Η αναλογία μίξης των αδρανών υλικών θα καθορίζεται έτσι ώστε η κοκκομετρική καμπύλη του μίγματος να βρίσκεται μέσα στα όρια της εξαιρετικά καλής περιοχής των κοκκομετρικών καμπυλών που καθορίζονται από τους κανονισμούς. Το λατομείο που θα χρησιμοποιηθεί για τα αδρανή, θα εγκριθεί προηγουμένως από τον Εντεταλμένο Μηχανικό της ΑΔΜΗΕ ΑΕ.

#### 4.16.4. Θεμελιώσεις

Τα πέδιλα θα είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Θα είναι μεμονωμένα πέδιλα ή πεδילוδοκοί ή γενική κοιτόστρωση. Ο τύπος της θεμελίωσης και της υποθεμελίωσης θα προκύπτει από την εδαφοτεχνική μελέτη που θα υποβάλλει ο Ανάδοχος. Η επιτρεπόμενη τάση εδάφους θα προσδιορίζεται από τις έρευνες του εδάφους όπως προδιαγράφονται και πραγματοποιούνται από τον Ανάδοχο. Θα χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθοι τύποι σκυροδέματος:

- ✓ C12/15 για το ισχνό σκυρόδεμα
- ✓ C16/20 ή C20/25 ή C30/35 για το οπλισμένο σκυρόδεμα

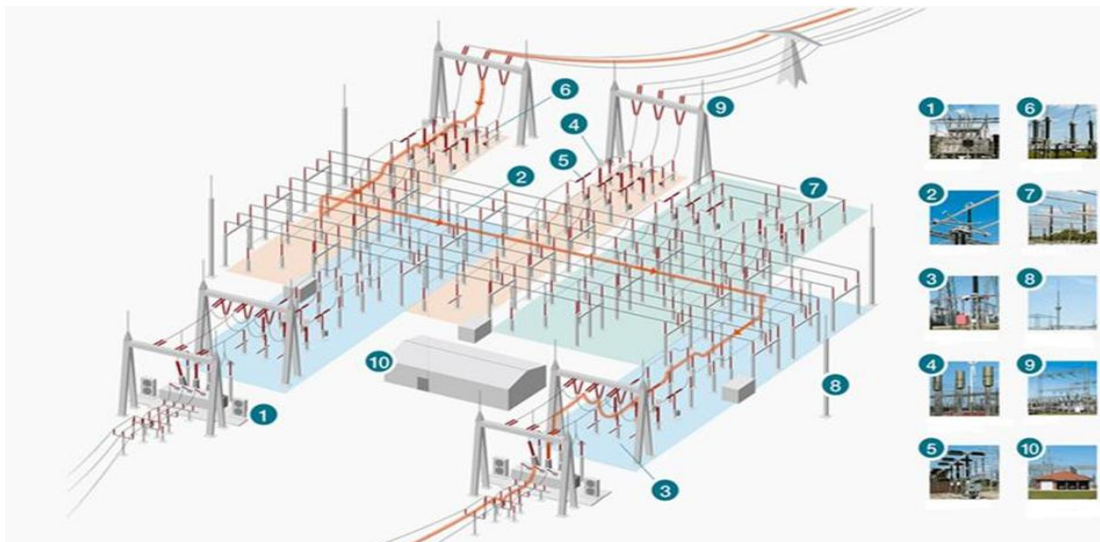
Οι τιμές θλιπτικής αντοχής αναφέρονται σε 28 ημέρες κυλινδρικής/ κυβικής αντοχής. Ο χαλύβδινος οπλισμός θα είναι τύπου S400 ή S500S.

#### 4.16.5. Βάσεις ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Οι ποιότητες του σκυροδέματος και του σιδηρού οπλισμού θα είναι C 16/20 και S400 και S500S. Οι βάσεις θα καλουπωθούν σε όλο τους το βάθος μέσα στο έδαφος και η στάθμη της άνω επιφάνειάς τους θα είναι 20 cm επάνω από τη στάθμη της γενικής ισοπεδώσεως. Η άνω επιφάνειά τους θα είναι λεία και θα επιτευχθεί με επίταση από τσιμέντο κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.

Σε όλη την έκταση του οικοπέδου του Υποσταθμού μέχρι το όριο της ιδιοκτησίας (εκτός του χώρου ανάπτυξης στύλων διανομής) θα διαστρωθεί χαλίκι, διαμέτρου περίπου 2-3 cm και πάχους σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στη μελέτη γείωσης και κατ' ελάχιστον 10 cm. Γενικά όλες οι απαραίτητες εργασίες και υλικά θα γίνουν σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς και πρότυπα και όπου δεν υπάρχουν θα εφαρμόζονται οι αντίστοιχοι Ευρωπαϊκοί.

Στα παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ενδεικτικά το ενιαίο layout του ΥΣ ΥΤ 33/150kV καθώς και ο κύριος εξοπλισμός του.



**Σχήμα 18:** Γενική διάταξη χωροθέτησης ΥΣ ΥΤ 33/150Kv (1.Μετασχηματιστής Ισχύος, 2. Διακοπές Φορτίου, 3. Γειωτές, 4. ΜΣ Τάσης και Ρεύματος, 5. Κεντρικοί Διακόπτες, 6. Απαγωγείς Υπερτάσεων, 7. Αγωγίμες μπάρες, 8. Ιστός – Αλεξικέραυνο, 9. Πύλες, 10. Αυτόματοι διακόπτες (relay) και οικίσκος ελέγχου – λειτουργίας)

---

## 5. ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

### 5.1. Προγραμματισμός και χρονοδιάγραμμα εργασιών

Η κατασκευή του έργου εκτιμάται ότι θα διαρκέσει 14 έως 16 μήνες. Η έναρξη των εργασιών τοποθετείται χρονικά μετά την επιτυχή συμμετοχή του έργου στις Ανταγωνιστικές Διαδικασίες και μετά την λήψη της απαραίτητης άδειας εγκατάστασης του έργου. Τα κύρια στάδια αδειοδοτήσεων - εργασιών και ένα ενδεικτικό χρονοδιάγραμμα υλοποίησης του έργου μέχρι και την έκδοση της άδειας λειτουργίας απεικονίζονται στο ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 9:** Χρονοδιάγραμμα Υλοποίησης Έργου

Χρόνος προετοιμασίας	10 μήνες
Κατάθεση για πιστοποιητικό παραγωγού (P.A.E.)	Ιούνιος 2023
Έγκριση και έκδοση πιστοποιητικού παραγωγού (P.A.E.)	Δεκέμβριος 2023
Κατάθεση για Περιβαλλοντικούς Όρους	Μάιος 2024
Έκδοση ΑΕΠΟ	Δεκέμβριος 2024
Κατάθεση για Προσφορά Δεσμευτικών Όρων Σύνδεσης (Α.Δ.Μ.Η.Ε.)	Δεκέμβριος 2024
Έκδοση Δεσμευτικών Όρων Σύνδεσης (Α.Δ.Μ.Η.Ε.)	Σεπτέμβριος 2025
Συμμετοχή στις Ανταγωνιστικές Διαδικασίες P.A.E.	Δεκέμβριος 2025
Άδεια Εγκατάστασης	Δεκέμβριος 2025
Άδεια Λειτουργίας	Απρίλιος 2026

Η διαδικασία δοκιμών λαμβάνει χώρα μετά την κατασκευή του Φ/Β σταθμού και την διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ η εμπορική λειτουργία μετά το πέρας των δοκιμών. Το ανωτέρω χρονοδιάγραμμα είναι εφικτό υπό την προϋπόθεση έκδοσης άδειας εγκατάστασης και επιτυχούς συμμετοχής στις Ανταγωνιστικές Διαδικασίες. Με βάση τα παραπάνω εκτιμώμενη ημερομηνία έναρξης λειτουργίας του Σταθμού είναι το 3ο με 4ο τρίμηνο του 2025.

### 5.2. Κτιριακά Έργα

Τα κτιριακά έργα περιλαμβάνουν:

- ✓ Έναν προκατασκευασμένο οικίσκο (Μ Χ Π) 6,0 Χ 2,5 m και ύψους 2,5 m, όπου θα στεγάζεται ο Υποσταθμός Ζεύξης με όλον τον απαραίτητο εξοπλισμό, από τον οποίο θα εκκινεί η διασύνδεση με το υφιστάμενο δίκτυο διανομής και μεταφοράς.
- ✓ Δύο προκατασκευασμένους οικίσκους (Μ Χ Π) 6,0 Χ 2,5 m και ύψους 2,5 m έκαστος, που θα στεγάσουν τον μηχανολογικό, ηλεκτρονικό και λοιπό εξοπλισμό της μονάδας που απαιτεί προστασία από τις καιρικές συνθήκες.

Οι παραπάνω οικίσκοι χωροθετούνται σε κατάλληλα διαμορφωμένες εκτάσεις των γηπέδων και θα τοποθετηθούν επί βάσεων από σκυρόδεμα πάχους 20cm, εκ των οποίων τα 10cm θα είναι εντός του εδάφους.

---

### **5.3. Συνδέσεις με οδικό δίκτυο και δίκτυα υποδομών**

Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχει επαρκές αγροτικό δίκτυο στη παρακείμενη περιοχή του έργου με πρόσβαση στο πολύγωνο εγκατάστασης, πρακτικά δεν απαιτούνται ιδιαίτερα έργα οδοποιίας, ειδικά ως προς τη σύνδεση του γηπέδου με το υφιστάμενο οδικό δίκτυο.

Εντός του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού διαμορφωθεί το απαιτούμενο εσωτερικό οδικό δίκτυο, που θα συνδέει τα ζεύγη inverter / ΜΣ τόσο μεταξύ τους όσο και με τις θύρες πρόσβασης στα αντίστοιχα σημεία περιήφραξης του σταθμού. Για την κατασκευή των εσωτερικών οδών θα χρησιμοποιηθούν αδρανή υλικά (κροκάλες και θραυστά υλικά λατομείου), τα οποία θα υποστούν επιφανειακή συμπύκνωση με οδοστρωτήρα, σε πάχος 25cm. Θα προφερθεί η απαραίτητη τεχνική λύση με καινούργια οδοποιία όπου χρειαστεί ώστε να διασφαλιστεί η σημερινή κατάσταση πρόσβασης και διέλευσης στην ευρύτερη περιοχή του πολυγώνου εγκατάστασης.

Επίσης δεν απαιτείται σύνδεση με τα άλλα δίκτυα υποδομών (νερό, κλπ.), λόγω της φύσης και των αναγκών του έργου. Σημειώνεται ότι οι μικρές ποσότητες νερού που θα απαιτούνται για τον καθαρισμό των στοιχείων του Φ/Β σταθμού κατά το στάδιο λειτουργίας, θα μεταφέρονται με υδροφόρα από τον υπεύθυνο συντήρησης.

### **5.4. Χώροι στάθμευσης**

Δεν υπάρχει ανάγκη για μόνιμους χώρους στάθμευσης λόγω της φύσεως του έργου. Οι συντηρητές και μόνιμοι εργαζόμενοι θα μπορούν να σταθμεύουν τα οχήματά τους, στους χώρους που προβλέπονται για το σκοπό αυτό περίξ του κάθε ζεύγους Αντιστροφέα-Μ/Σ του σταθμού ή/και του Υποσταθμού Ζεύξης.

### **5.5. Μηχανολογικές Εγκαταστάσεις**

Δεν θα υπάρχουν άλλες μηχανολογικές εγκαταστάσεις, πέραν αυτών που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 2.1 και που αποτελούν τις κύριες τεχνικές εγκαταστάσεις του έργου.

### **5.6. Επιφάνεια εδάφους που καταλαμβάνεται**

Όλες οι εγκαταστάσεις του Φ/Β σταθμού θα καταλαμβάνουν έκταση 2.083.987 m<sup>2</sup>, που αποτελεί το 54% περίπου της συνολικής έκτασης του σταθμού των 3.791.305 m<sup>2</sup>.

### **5.7. Υποστηρικτικές Εγκαταστάσεις της κατασκευής**

#### **➤ Υποστηρικτικές εγκαταστάσεις στο εργοτάξιο**

Η εγκατάσταση του εργοταξίου για την κατασκευή του έργου θα γίνει εντός των γηπέδων χωροθέτησης της μονάδας. Στους χώρους αυτούς, οι οποίοι θα είναι φυλασσόμενοι, θα υπάρχουν οι εγκαταστάσεις της εταιρείας, θα τηρούνται τα γραφεία της (σχέδια - αρχεία μελέτης) σε εγκατεστημένους προκατασκευασμένους οικίσκους (ISOBOX) και ο εργαστηριακός εξοπλισμός για τον ποιοτικό έλεγχο των υλικών του έργου. Στον χώρο θα φυλάσσεται και ο μηχανολογικός εξοπλισμός της αναδόχου εταιρείας.

#### **➤ Δανειοθάλαμοι**

---

Για την κατασκευή του έργου δεν προβλέπεται η δημιουργία δανειοθαλάμων.

➤ **Αποθεσιοθάλαμοι**

Δεν προκύπτει η ανάγκη ορισμού αποθεσιοθαλάμου σύμφωνα με τη μελέτη κατασκευής του έργου.

## **5.8. Επεμβάσεις**

### **5.8.1. Αναγκαία υλικά κατασκευής και εργασίες**

Για την κατασκευή της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ο βασικός εξοπλισμός που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί και είναι βέβαιο πως αποτελεί αναγκαιότητα, περιγράφεται ακολούθως:

- ✓ Σε σύνολο 8.117 σταθερά συστήματα στήριξης Φ/Β πλαισίων, τα οποία θα συναρμολογηθούν στο χώρο εγκατάστασης για να πακτωθούν επί του εδάφους.
- ✓ Σε σύνολο 454.524 φωτοβολταϊκά πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου τα οποία πρόκειται να μεταφερθούν για άμεση τοποθέτηση επί τόπου στο χώρο κατασκευής του έργου.
- ✓ 37 μετασχηματιστές (Μ/Σ).
- ✓ 1 υποσταθμός ζεύξης με το σύνολο όλου του απαραίτητου εξοπλισμού του, ο οποίος θα τοποθετηθεί εντός προκατασκευασμένου οικίσκου (Μ Χ Π) 6,0 Χ 2,5 m και ύψους 2,5 m.
- ✓ Σε σύνολο, ακόμη 2 προκατασκευασμένοι οικίσκοι (Μ Χ Π) 6,0 Χ 2,5 m και ύψους 2,5 m έκαστος, οι οποίοι πρόκειται να στεγάσουν τον μηχανολογικό, ηλεκτρονικό και λοιπό εξοπλισμό της μονάδας που απαιτεί προστασία από τις καιρικές συνθήκες.
- ✓ Περίπου 3.725.779 μέτρα περιφράξης (1.490.312 πάσσαλοι και 3.725.779 μέτρα γαλβανιζέ πλέγμα).
- ✓ Περίπου 101.038 m<sup>3</sup> σκυρόδεμα για την έδραση των συστημάτων στήριξης, των μετασχηματιστών των προκατασκευασμένων οικίσκων και των πασσάλων στήριξης της περιφράξης.
- ✓ 6.485 m<sup>3</sup> θραυστό αμμοχάλικο (μπαζοχάλικο) και 4323 m<sup>3</sup> θραυστό υλικό τύπου 3Α (χαλίκι) για την διάστρωση οδοποιίας και των χώρων εξυπηρέτησης έργου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η γενική λίστα ποσοτήτων προϊόντων εδαφολογικών εργασιών (BOQ) σχετικά με τα έργα πολιτικού μηχανικού:

**Πίνακας 10:** Γενική λίστα ποσοτήτων προϊόντων εδαφολογικών εργασιών

**ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ- 250 MW**

No	ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
<b>1.0</b>	<b>ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΥ</b>		
Ha	0		
<b>2.0</b>	<b>Εργασίες επί εδάφους</b>		
<b>2.1</b>	Εκσκαφές	m <sup>3</sup>	50000
<b>2.2</b>	Επιχώσεις	m <sup>3</sup>	50000
<b>3.0</b>	<b>Δρόμος πρόσβασης</b>		
<b>3.1</b>	Εκσκαφές	m <sup>3</sup>	1582.5
<b>3.2</b>	Επιχώσεις	m <sup>3</sup>	1582.5
<b>3.3</b>	Βάσεις και υπόβαθρα	m <sup>3</sup>	1318.75
	<b>Εσωτερική οδοποιία &amp; περιοχές τοποθέτησης Μετασηματιστών</b>		
<b>4.0</b>	<b>Εκσκαφές</b>	m <sup>3</sup>	9197
<b>4.1</b>	Εκσκαφές	m <sup>3</sup>	8759
<b>4.2</b>	Επιχώσεις	m <sup>3</sup>	10949
<b>4.3</b>	Βάσεις και υπόβαθρα	m <sup>3</sup>	
<b>5.0</b>	<b>Λοιπές περιοχές</b>		
<b>5.1</b>	Εκσκαφές	m <sup>3</sup>	207
<b>5.2</b>	Επιχώσεις	m <sup>3</sup>	217
<b>5.3</b>	Base & SubBase	m <sup>3</sup>	155
<b>6.0</b>	<b>Περίφραξη</b>	m	3725779
<b>7.0</b>	<b>Έδραση Μετασηματιστή</b>	Pcs	37
<b>8.0</b>	<b>Βάσεις υποσταθμού ζεύξης</b>	Pcs	1
<b>9.0</b>	<b>Βάση Containers</b>	Pcs	2
<b>10.0</b>	<b>Τοποθέτηση βάσεων στήριξης</b>		
<b>10.1</b>	Φεροπάσαλοι/οπές	Pcs	162340
<b>10.2</b>	Πλήρωση σκυροδέματος	m <sup>3</sup>	47789
<b>11.0</b>	<b>Χαντάκια (καλώδια κτλ.)</b>		
<b>11.1</b>	Γειώσεις και κάμερες ασφαλείας	m	50000
<b>11.2</b>	DC/MV	m	80000

### 5.8.2. Εκροές αποβλήτων και διαχείρισή τους

Κατά τη φάση κατασκευής του έργου δεν αναμένεται να δημιουργηθούν εκροές υγρών αποβλήτων. Σε περίπτωση ατυχήματος και διάχυση υγρών ουσιών στο έδαφος θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες για τον έλεγχο της διαρροής και την ελαχιστοποίηση των συνεπειών στο υπέδαφος.

### 5.8.3. Πλεονάζοντα στερεά απόβλητα και διαχείρισή τους

Κατά τη φάση κατασκευής αναμένεται να δημιουργηθούν στερεά απόβλητα από περίσσεια υλικών κατασκευής και προϊόντα εκσκαφής από την διαμόρφωση του γηπέδου εγκατάστασης του Φ/Β σταθμού. Τα στερεά μη επικίνδυνα απόβλητα που θα προκύψουν, είναι υλικά από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (Α.Ε.Κ.Κ.) όπως αυτά περιγράφονται στον Κατάλογο Αποβλήτων σύμφωνα με το παράρτημα της Απόφασης 2000/118/ΕΚ όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/119/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ της επιτροπής ΕΚ( Απόφαση ΗΠ13588/725/28.03.2006/ΦΕΚ383/28.03.2006, άρθρο 19 παράρτημα Ι – Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.) καθώς και ΚΥΑ ΗΠ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ1909/Β/22.12.2003), Παράρτημα ΙΒ του άρθρου 17) με ονοματολογία αναφοράς:

17 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ :

- ΕΚΑ 17 01 «σκυρόδεμα, τούβλα, πλακάκια και κεραμικά»: ΕΚΑ 17 01 01 «σκυρόδεμα»

- ΕΚΑ 17 05 «χώματα (περιλαμβανομένων χωμάτων εκσκαφής από μολυσμένες τοποθεσίες), πέτρες και μπάζα εκσκαφών»:
- ΕΚΑ 17 05 06 «μπάζα εκσκαφών άλλα από τα αναφερόμενα στο σημείο 17 05 05»

Σύμφωνα με τον προϋπολογισμό του έργου και τα προϊόντα εκσκαφής, θα δοθεί ιδιαίτερη μέριμνα στη φάση κατασκευής ώστε να υπάρχει σχετική ισορροπία προϊόντων εκσκαφής και επιχώσεων. Επομένως, δεν αναμένεται να προκύψουν ιδιαίτερα πλεονάζοντα υλικά από την κατασκευή της μονάδας της παρούσας μελέτης και κατά συνέπεια δεν χρειάζεται πρόβλεψη για χώρο απόθεσης.

Επιπρόσθετα η κατασκευή του έργου δεν περιλαμβάνει φάσεις στις οποίες αρχικά να κυριαρχούν οι εκσκαφές και σε δεύτερο στάδιο να κυριαρχούν οι επιχώσεις ή αντίστροφα, γεγονός που σημαίνει ότι δεν απαιτείται η πρόβλεψη χώρου έστω και για προσωρινές επιχώσεις. Σε κάθε περίπτωση, η περίσσεια των υλικών εκσκαφής όπως και τα απόβλητα των άλλων κατηγοριών που θα προκύψουν θα δίνονται, άμεσα, σε αδειοδοτημένο φορέα για τη συλλογή, μεταφορά και επεξεργασία στερεών μη επικινδύνων αποβλήτων.

Οι ποσότητες των χωματισμών του έργου, ως εκτίμηση βάσει του σχεδίου χωροθέτησης και λαμβάνοντας υπόψη το ανάγλυφο του εδάφους, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (σε m<sup>3</sup>):

	Διαμόρφωση γηπέδου	Σύστημα στήριξης	Περίφραξη καλωδίων	Ορύγματα εξομαλύνσεις	Οδοί-	Σύνολο
Εκσκαφές	50000	68851	52672	64800	9404	<b>245727</b>
Επιχώσεις	50000	0	0	32400	8976	<b>91376</b>
Διαφορά	0	68851	52672	32400	428	<b>154350</b>

Όπως προκύπτει από τον ανωτέρω πίνακα οι ποσότητες των προϊόντων εκσκαφών είναι 245.727 m<sup>3</sup>, από τα οποία τα 91.376 m<sup>3</sup> θα χρησιμοποιηθούν για επιχώσεις και διαμορφώσεις (εξομαλύνσεις) του εδάφους, οπότε θα υπάρχει ποσότητα 154.350 m<sup>3</sup>, που θα διατεθεί, μέσω πιστοποιημένου φορέα διαχείρισης ΑΕΚΚ, για περαιτέρω επεξεργασία και διάθεση.





## 6. ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

### 6.1. Περιγραφή Λειτουργίας

Ο Φ/Β σταθμός θα εγκατασταθεί με χρήση συστημάτων ιχνηλάτησης ήλιου (trackers) μονού άξονα και διευθύνσεως Ανατολής-Δύσης, ώστε να αξιοποιεί με βέλτιστο τρόπο την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στη συγκεκριμένη περιοχή. Η παραγόμενη ενέργεια εκτιμάται σε 1.550 kWh/kWp, δηλαδή 387.482 MWh το 1ο έτος λειτουργίας (συνημμένο), οδηγώντας στην αποφυγή έκλυσης περισσότερων από 426 χιλιάδων τόνων CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα.

Εν κατακλείδι, ο σχεδιασμός του εν λόγω Φ/Β σταθμού όπως περιγράφεται έχει εστιάσει στην επίτευξη:

- υψηλής ενεργειακής απόδοσης
- υψηλής αξιοπιστίας λειτουργίας
- εύκολης παρακολούθησης λειτουργίας
- υψηλών προδιαγραφών προστασίας και ασφάλειας

Η φιλοσοφία σχεδιασμού καθώς και ο χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός απεικονίζονται στο επισυναπτόμενο διάγραμμα κάλυψης. Στην εξεταζόμενη δραστηριότητα δεν θα πραγματοποιηθεί χρήση υδατικών πόρων. Ο καθαρισμός των πάνελ θα γίνεται, εφόσον κρίνεται απαραίτητο, με ειδικό βυτιοφόρο όχημα μεταφοράς ύδατος. Σχετικά με τη χρήση ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο για τη λειτουργία του συστήματος ασφαλείας της εγκατάστασης (συναγερμός) έτσι ώστε αυτό να λειτουργεί και κατά την διάρκεια των ωρών που δεν θα υπάρχει ηλιοφάνεια.

### 5. 6.1.1. Εισροές κατά τη λειτουργία του έργου

Κατά την λειτουργία του έργου δεν προβλέπονται εισροές πρώτων υλών. Επειδή δεν υπάρχουν μόνιμοι εργαζόμενοι και η μονάδα δεν χρειάζεται νερό για τη λειτουργία της, δεν υπάρχουν απαιτήσεις σε νερό, οπότε δεν υπάρχει λόγος ούτε για σύνδεση με δίκτυο νερού ούτε για ανόρυξη γεώτρησης. Για τα φορτία κατανάλωσης XT του Φ/Β Σταθμού, θα εγκατασταθούν Μετασχηματιστές ιδιοκαταναλώσεων 0.4/20kV, όπως αναφέρεται ανωτέρω στη παρούσα τεχνική περιγραφή, οι οποίοι θα τροφοδοτούν όλες τις καταναλώσεις εντός του Σταθμού. Για την παροχή ηλεκτροδότησης των φορτίων κατανάλωσης, οι Μετασχηματιστές ιδιοκαταναλώσεων θα τροφοδοτούνται με το δίκτυο MT το οποίο θα κατασκευαστεί για το σκοπό της διασύνδεσης του Φ/Β Σταθμού με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανάγκες ιδιοκαταναλώσεως του Φ/Β σταθμού αναμένεται ότι δεν θα ξεπεράσουν τις 449.842 ετησίως.

### 6. 6.1.2. Εκροές στερεών αποβλήτων

Δεν υπάρχουν εκροές στερεών αποβλήτων από τη λειτουργία του Φ/Β Σταθμού. Σε καταστάσεις εκτάκτων αναγκών – συντήρησης δύναται να παράγονται απόβλητα από τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό που θα αντικαθίσταται μετά από βλάβη. Αυτά κατατάσσονται σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων σε 16.02.09 «μετασχηματιστές και πυκνωτές περιέχουν PCB» καθώς και μπαταρίες και συσσωρευτές ηλεκτρονικού εξοπλισμού (κατάταξη κατά ΕΚΑ: 16.06.01 «μπαταρίες μολύβδου» και 16.06.05 «άλλες μπαταρίες και συσσωρευτές»). Ο φορέας λειτουργίας του έργου είναι υπεύθυνος να συγκεντρώνει όλα τα απόβλητα που θα παράγονται και

---

ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες και να επικοινωνεί με τον εκάστοτε αδειοδοτημένο συλλέκτη ώστε τελικά τα απόβλητα να οδηγούνται προς ανακύκλωση.

### **7. 6.1.3. Εκπομπές αέριων ρύπων, θορύβου, δονήσεων και ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλοι κίνδυνοι για το περιβάλλον**

Κατά τη λειτουργία του έργου δεν προβλέπονται / αναμένονται:

- ✓ Οποιοσδήποτε εκπομπές αέριων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου
- ✓ Εκπομπές θορύβου και δονήσεων
- ✓ Εκπομπές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- ✓ Συνθήκες και κίνδυνοι που μπορεί να προκαλέσουν περιβαλλοντικά ζητήματα

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία, απέδειξε για ακόμη μία φορά, τη σημασία των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος τόσο της Ελλάδας όσο και του κόσμου. Μέσα από τη συγκεκριμένη εργασία, αναλύθηκαν τα διάφορα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπως αυτά εξελίχθηκαν ανάλογα πάντα με την αντίστοιχη εξέλιξη της τεχνολογίας.

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία αστείρευτη πηγή ενέργειας, η οποία εκμεταλλευόμενη με το σωστό τρόπο, μπορεί να βοηθήσει στην κάλυψη της ολοένα και περισσότερο αυξανόμενης ζήτησης της ενέργειας.

Η τεχνολογική εξέλιξη, έχει βοηθήσει πλέον σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη των συλλεκτών της ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα να μπορούν πλέον σήμερα να τοποθετηθούν σε μικρούς αλλά και μεγαλύτερους χώρους και με τον τρόπο αυτό να εξυπηρετείται μεγαλύτερο μέρος καταναλωτών.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν σήμερα να χρησιμοποιηθούν ακόμη και από ιδιώτες, ακόμη και σε στέγες σπιτιών, δίνοντας στους χρήστες της συγκεκριμένης πηγής ενέργειας τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως επενδύσεις μέσα από την παραγωγή ενέργειας.

Μία τέτοια επένδυση αναλύεται πλήρως μέσα από την παρούσα εργασία, ενώ πραγματοποιείται μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας ενός έργου της τάξεως των 250MWp.

Σε όλες τις περιπτώσεις, φαίνεται πως μέσα από μία εμπειριστατωμένη μελέτη ενός τέτοιου έργου, η επιβάρυνση στο περιβάλλον μπορεί να είναι σχεδόν μηδενική, εάν και εφόσον λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα και οι κατάλληλες προβλέψεις, τόσο κατά τη φάση κατασκευής, όσο και κατά τη φάση λειτουργίας του εκάστοτε έργου.

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς, είναι σημαντικό να συνεχιστεί η έρευνα όλων ώστε να αυξηθούν οι διαθέσιμες δυνατότητες και να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται αυτήν τη στιγμή. Άλλωστε, αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει από καιρό οδηγηθεί στην προώθηση περισσότερων έργων ενεργειακής απόδοσης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Earth Science Communications Team. (2021). Climate Change Evidence: How Do We Know? Available at: <https://climate.nasa.gov/evidence/> (Accessed 17 July 2022).
2. Process Industry Forum. (2019). Why Choose Renewable Energy? RenewableEnergy Solutions. Available at: <https://www.processindustryforum.com/article/why-choose-renewable-energy> (Accessed 17 July 2022).
3. EnergySage. (2021). Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels | EnergySage. Available at: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/> (Accessed 22 July 2022).
4. Jäger-Waldau, A. (2020). Snapshot of Photovoltaics—February 2020. *Energies*, 13(4), p.930.
5. Shin, H. and Roh, J.H. (2020). Framework for Sizing of Energy Storage System Supplementing Photovoltaic Generation in Consideration of Battery Degradation. *IEEE*
6. Lee, T.B. (2020). Battery prices have fallen 88 per cent over the last decade. *Ars Technica*. Available at: <https://arstechnica.com/science/2020/12/battery-prices-have-fallen-88-percent-over-the-last-decade/> (Accessed 17 July 2022).
7. Fernandez E.F., Li W., Paul M.C., Rolley M., Sweet T., Gao M., Baig H., Mallic T.K., Montecucco A., Siviter J., Knox A.R., Han G., Gregory D.H., Azough F., Freer R., (2017). A coupled optical-thermal-electrical model to predict the performance of hybrid PV/T-CCPC roof-top systems., *Renewable energy*, 112: 166-186.
8. Dhar A., Naeth M.A., Devereaux P., Mohamed Gamal El-Din., (2020). Perspectives On Environmental Impacts And A Land Reclamation Strategy For Solar And Wind Energy Systems., *Science of Total Environment*., DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134602
9. Greenmatch.co.uk. (2022). Find the Best Solar Panels in the UK. Are Solar Panels the Right Choice for your home?
10. EnergySage (2020). Types of thin-film solar panels. *Solar News*. Available at: <https://news.energysage.com/types-of-thin-film-solar-panels/> (Accessed 22 July 2022).
11. Connor P.M., Faerber L.A., Balta-Ozkan N., (2018). Innovative network pricing to support transition to a smart grid in a low carbon economy., *Energy Policy*., 116: 210-219.
12. Britannica. (2021). In: *Encyclopædia Britannica*. [online] Available at: <https://www.britannica.com/science/silicon> (Accessed 29 May 2022).
13. Granath E., James L., (2020). Using Gallium doping technology to mitigate light-induced degradation in photovoltaic cells., Available from: <https://www.power-and-beyond.com/using-gallium-doping-technology-to-mitigate-light-induced-degradation-in-photovoltaic-cells-a-930630/> (Accessed

---

29 May 2022).

14. Basic Electronics Tutorials. (2013). PN Junction Theory for Semiconductor Diodes. Available at: [https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode\\_2.html](https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_2.html) (Accessed 17 July 2022).
15. Glenergy Solar. (2015). Solar PV Panels in Ireland - Glenergy Solar. Available at: <http://glenergysolar.ie/solar-pv/solar-panels-ireland-how-does-solar-pv-work/> (Accessed 22 July 2022).
16. Ling, S.J., Sanny, J. and Moebis, W. (2016). Semiconductor Devices. Opentextbc.ca. Available at: <https://opentextbc.ca/universityphysicsv3openstax/chapter/semiconductor-devices/> (Accessed 02 August 2022).
17. Proyecto investigación de Tecnología (2021). Uniones P-N - Proyecto investigación de Tecnología. Google.com. Available at: <https://sites.google.com/site/tecnoiesvillena/elementos-activos/los-transistores/uniones-p-n> (Accessed 04 August 2022).
18. Honsberg C. B. and Bowden. S. G. (2019) Photovoltaics Education Website. Available: <https://www.pveducation.org> (Accessed 29 July 2022).
19. Shaik A., (2013). Impact of real world driving pattern and all-electric range on battery sizing and cost of plug in hybrid electric two-wheeler., Journal of power Sources., 196(6): 3371-3377.
20. Marino, D. (2020). Basic electronics - Diodes. Hebergementwebs.com. Available at: <https://www.hebergementwebs.com/basic-electronics-tutorial/basic-electronics-diodes> (Accessed 10 August 2022).
21. Sendy, A. (2017). Types of solar panels: which one is the best choice? [online] Solar Reviews. Available at: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels> (Accessed 17 July 2022).
22. Sandhu S., Singh R., (2019). Elucidating the effect of shunt losses on the performance of mesoporous perovskite solar cells., Solar Energy 193 (38).
23. Marsh, J. (2017). Why are solar panels blue? [online] Solar News. Available at: <https://news.energysage.com/why-are-solar-panels-blue/> (Accessed 17 July 2022).
24. Andres (2017). Cual es el mejor tipo de panel solar – Mono/Polycrystalline/Thin Film? Electricaplicada. Available at: <https://www.electricaplicada.com/cual-es-el-mejor-tipo-de-panel-solar-mono-polycrystalline-thin-film/#paneles-solares-string-ribbon> (Accessed 29 June 2022).
25. Lumen. (2011). Redox Reactions | Biology for Majors I. [online] Available at: <https://courses.lumenlearning.com/wmopen-biology1/chapter/redox-reactions/> (Accessed 3 August 2022).
26. Chemistry LibreTexts. (2013). Oxidation-Reduction Reactions. [online] Available at: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Supplemental\\_Modules\\_\(Analytical\\_Chemistry\)/Electrochemistry/Redox\\_Chemistry/Oxidation-Reduction\\_Reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Supplemental_Modules_(Analytical_Chemistry)/Electrochemistry/Redox_Chemistry/Oxidation-Reduction_Reactions) (Accessed 3 August 2022).

- 
27. Sciencing. (2020). Parts of a Battery. [online] Available at: <https://sciencing.com/partsbattery-5419189.html> (Accessed 3 August 2022).
  28. OpenStax (2016). 17.5 Batteries and Fuel Cells. [online] Opentextbc.ca. Available at: <https://opentextbc.ca/chemistry/chapter/17-5-batteries-and-fuel-cells/> (Accessed 3 August 2022).
  29. Chemistry LibreTexts. (2015). 17.5: Batteries and Fuel Cells. [online] Available at: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General\\_Chemistry/Chemistry\\_\(Open\\_STAX\)/17%3A\\_Electrochemistry/17.5%3A\\_Batteries\\_and\\_Fuel\\_Cells](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Chemistry_(Open_STAX)/17%3A_Electrochemistry/17.5%3A_Batteries_and_Fuel_Cells) (Accessed 4 August 2022).
  30. Gsu.edu. (2021). Batteries. [online] Available at: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/battery.html> (Accessed 5 August 2022).
  31. Nordicgalvanizers. (2019). Corrosion of zinc coatings – Nordic Galvanizers. [online] Available at: <http://nordicgalvanizers.com/corrosion-of-zinc-coatings/> (Accessed 5 August 2022).
  32. Palermo, E. (2015). How Do Batteries Work? [online] livescience.com. Available at: <https://www.livescience.com/50657-how-batteries-work.html> (Accessed 5 August 2022).
  33. PowerStream. (2021). Alkaline Battery Chemistry Tutorial and FAQ from PowerStream describes the chemical properties of manganese dioxide zinc cells with alkaline hydroxide electrolytes. [online] Available at: <https://www.powerstream.com/BatteryFAQalkaline.html> (Accessed 5 August 2022).
  34. Osha.gov. (2021). Cadmium - Overview | Occupational Safety and Health Administration. [online] Available at: <https://www.osha.gov/cadmium> (Accessed 6 August 2022).
  35. Lumen Learning. (2021). 17.5 Batteries and Fuel Cells | General College Chemistry II. [online] Available at: <https://courses.lumenlearning.com/suny-mcc-chemistryformajors2/chapter/batteries-and-fuel-cells-2/> (Accessed 6 August 2022).
  36. Batteryuniversity. (2019). Types of Lithium-ion Batteries – Battery University. Available at: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion) (Accessed 01 July 2022).
  37. Let's Talk Science. (2019). How does a lithium-Ion battery work? [online] Available at: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/how-does-a-lithium-ionbattery-work> (Accessed 6 August 2022).
  38. Batteryuniversity. (2018). Lead-based Batteries Information – Battery University. Available at: [https://batteryuniversity.com/learn/article/lead\\_based\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries) (Accessed 01 July 2022).
  39. Brain, M (2021). How Lithium-ion Batteries Work. [online] HowStuffWorks. Available at: <https://electronics.howstuffworks.com/everyday-tech/lithium-ion-battery.htm> (Accessed 6 August 2022).
  40. Battery University. (2020). Absorbent Glass Mat (AGM) Battery Information – Battery University. Available at:

---

[https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent\\_glass\\_mat\\_agm](https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm)  
(Accessed 01 July 2022).

41. Off Grid Europe. (2017). What is a Lead-Acid battery? [online] Available at: <https://www.off-grid-europe.com/info/lead-acid-battery/> (Accessed 12 July 2022).
42. Batteryuniversity. (2016). Sulfation and How to Prevent it - Battery University. [online] Available at: [https://batteryuniversity.com/learn/article/sulfation\\_and\\_how\\_to\\_prevent\\_it](https://batteryuniversity.com/learn/article/sulfation_and_how_to_prevent_it) (Accessed 01 July 2022).
43. Rebas (2020). Batería de gel o Agm que las diferencia? [online] Available at: [https://www.rebas.com/blog-baterias/39\\_bateria-de-gel-o-agm-que-las-diferencia-.html](https://www.rebas.com/blog-baterias/39_bateria-de-gel-o-agm-que-las-diferencia-.html) (Accessed 01 July 2022).