



**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**“ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ**  
**ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΙΣΧΥΟΣ 10ΚΩΡ, ΣΕ ΔΩΜΑ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:**

Σπύρος Τσιώλης

**Σπουδαστής:**

Γιώργος Μουστάκας

ΑΜ:35936

**Αθήνα**

**Οκτώβριος - 2012**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τη θεία μου, Ευγενία Τσομπανάκη, για την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια όλα αυτά τα χρόνια. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Γιώργο Κωστούλα για τις αμέτρητες ώρες που πέρασα δίπλα του στις αίθουσες του ΤΕΙ και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Σπύρο Τσιώλη για την ευκαιρία που μου έδωσε να γράψω αυτή την εργασία.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	I
Περιεχόμενα.....	III
Λίστα Εικόνων.....	V
Λίστα Πινάκων.....	X
Summary.....	XII
Πρόλογος.....	XIV
1 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο Εισαγωγή.....	16
1.1. Το μέλλον των φωτοβολταϊκών.....	19
1.2. Ο Ήλιος και η Ηλιακή Ακτινοβολία.....	21
1.3. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	21
1.3.1. Τρόπος λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	22
1.4. Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	23
1.5. Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	30
1.6. Υβριδικά Συστήματα Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	31
1.7. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	34
1.8. Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα.....	34
2 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο Προμελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	37
2.1. Γενικά Θεωρητικά Στοιχεία Τεχνικής Επιθεώρησης.....	37
2.2. Από τη θεωρία στη πράξη.....	43
2.2.1. Τεχνική επιθεώρηση δώματος.....	43
2.2.2. Προμελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	47
2.2.2.1. Επιλογή Φωτοβολταϊκού Πάνελ.....	49
2.2.2.2. Επιλογή Μετατροπέα (Inverter).....	57
2.2.2.3. Προϋπολογισμός Έργου.....	62
2.2.2.4. Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης.....	63
2.2.2.5. Απόδοση Επένδυσης.....	68
2.2.2.6. Διαδικασίες Δ.Ε.Η.....	70
3 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο Μελέτη Εφαρμογής.....	77
3.1. Στήριξη Φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	77
3.1.1. Στατικότητα Κατασκευής.....	81

3.1.2. Αναλυτική Περιγραφή Εξαρτημάτων Βάσεων Στήριξης .....	85
3.1.3. Γείωση και Αντικεραυνική Προστασία .....	90
3.1.4. Σύστημα γείωσης .....	93
3.2. Αντικεραυνική Προστασία και Προστασία Από Υπερτάσεις .....	95
3.2.1. Επιλογή Εξοπλισμού Γείωσης και Αντικεραυνικής Προστασίας.....	105
3.2.2. Παραγγελία Υλικών Γείωσης και Αντικεραυνικής Προστασίας.....	122
3.3. Ηλεκτρολογική διαστασιολόγηση .....	122
3.4. Σύστημα Τηλεμετρίας.....	144
4 <sup>ο</sup> Κεφάλαιο Επένδυση και Εξοικονόμηση Ενέργειας .....	149
Βιβλιογραφία .....	151

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	20
Εικόνα 2 Η κατανομή των ηλεκτρονίων σε ένα p-n ημιαγωγό .....	22
Εικόνα 3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si).....	24
Εικόνα 4 Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si) .....	25
Εικόνα 5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon).....	25
Εικόνα 6 Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe <sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)	26
Εικόνα 7 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si) .....	27
Εικόνα 8 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe).....	28
Εικόνα 9 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).....	28
Εικόνα 10 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία .....	29
Εικόνα 11 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα .....	30
Εικόνα 12 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα .....	34
Εικόνα 13 Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών πάνελ σε κεραμοσκεπή 70τμ.....	38
Εικόνα 14 Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών πάνελ σε ταράτσα 130 τμ.....	38
Εικόνα 15 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε ταράτσα με εμφανείς σκιάσεις των πάνελ.....	39
Εικόνα 16 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε δώμα .....	40
Εικόνα 17 Μετατροπέας διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	41
Εικόνα 18 Ειδικό φύλλο καταγραφής για τη σύνταξη της οικονομο-τεχνική μελέτης και τη μελέτη εφαρμογής .....	42
Εικόνα 19 Δυτική όψη δώματος .....	43
Εικόνα 20 Βόρειο-ανατολική όψη δώματος .....	44
Εικόνα 21 Εμπόδια στην επιφάνεια του δώματος .....	45
Εικόνα 22 Ανατολική όψη δώματος.....	46
Εικόνα 23 Διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης γειωτή .....	47
Εικόνα 24 Κάτοψη ταράτσας.....	49
Εικόνα 25 Υπολογισμοί μέσω της τριγωνομετρίας της προβολή και του ύψους της βάσης των πάνελ.....	51

Εικόνα 26 Πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd .....	54
Εικόνα 27 Πίσω όψη από το Πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd .....	54
Εικόνα 28 Καμπύλη Ρεύματος τάσης & Ισχύος Τάσης του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd .....	56
Εικόνα 29 Μετατροπέας Kostal Piko 10,1 .....	59
Εικόνα 30 Χαρακτηριστικές καμπύλες βαθμού απόδοσης Piko 10.1 .....	60
Εικόνα 31 Αποτελέσματα εξομοίωσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω του λογισμικού PVSYST .....	68
Εικόνα 32 Διατύπωση Προσφοράς Όρων Σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. ....	73
Εικόνα 33 Σκαρίφημα τοποθέτησης των μετρητών της Δ.Ε.Η. ....	74
Εικόνα 34 Μεταλλική βάση στήριξης πλαισίων σε δώμα .....	78
Εικόνα 35 Παραδείγματα βάσεων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων .....	79
Εικόνα 36 Πλάγια Όψη Βάσης Στήριξης χωρίς υπερύψωση .....	79
Εικόνα 37 Πλάγια Όψη Βάσης Στήριξης με υπερύψωση .....	79
Εικόνα 38 Κάτοψη Βάσης Στήριξης .....	80
Εικόνα 39 Μεταλλική βάση χωρίς υπερύψωση .....	81
Εικόνα 40 Διάγραμμα παραμόρφωσης δοκών χωρίς υπερύψωση .....	81
Εικόνα 41 Διάγραμμα διάτμησης δοκών χωρίς υπερύψωση .....	82
Εικόνα 42 Διάγραμμα στιγμιαίας κάμψης δοκών χωρίς υπερύψωση .....	82
Εικόνα 43 Μεταλλική βάση με υπερύψωση .....	83
Εικόνα 44 Διάγραμμα παραμόρφωσης δοκών με υπερύψωση .....	83
Εικόνα 45 Διάγραμμα διάτμησης δοκών με υπερύψωση .....	83
Εικόνα 46 Διάγραμμα στιγμιαίας κάμψης δοκών με υπερύψωση .....	84
Εικόνα 47 Διάγραμμα στιγμιαίας κάμψης δοκών με υπερύψωση .....	84
Εικόνα 48 Κανάλι MQ-72-F εν θερμό γαλβανισμένο στα 45μm .....	85
Εικόνα 49 Θέση τοποθέτησης MQ-72-F .....	85
Εικόνα 50 Κανάλι MQ-41-F εν θερμό γαλβανισμένο στα 45μm .....	86
Εικόνα 51 Θέση τοποθέτησης MQ-41-F .....	86
Εικόνα 52 Συνδετήρας καναλιού MSP-MQ-C-F .....	86
Εικόνα 53 Βίδα σύνδεσης MSP-MQ-S-F .....	87
Εικόνα 54 Θέση τοποθέτησης βίδας σύνδεσης MSP-MQ-S-F .....	87
Εικόνα 55 Βάση Καναλιού MQ-72,41-F .....	88
Εικόνα 56 Βάση Καναλιού MQ-72,41-F .....	88
Εικόνα 57 Ενδιάμεσος και Ακραίος Σφικκτήρας MSP-MQ .....	88

Εικόνα 58 Εκτωνούμενο Αγκύριο Γαλβανισμένο εν Θερμό για την αγκύρωση της μεταλλικής κατασκευής στο δώμα .....	89
Εικόνα 59 Χημικό Αγκύριο για την πλήρωση των οπών και την αποκατάσταση της μόνωσης .....	89
Εικόνα 60 Προσφορά Εξαρτημάτων μεταλλικής βάσης στήριξης.....	90
Εικόνα 61 Γειωτής τύπου E & Ηλεκτρόδια γείωσης.....	91
Εικόνα 62 Θεμελιακή γείωση .....	91
Εικόνα 63 Σύστημα γείωσης TN-S σύνδεση του αγωγού προστασίας προς τον ουδέτερο αγωγό στο κιβώτιο του μετρητή. ....	94
Εικόνα 64 Αριθμός πτώσης κεραυνών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ανά έτος.....	97
Εικόνα 65 Βασικές Ζώνες Προστασίας .....	99
Εικόνα 66 Υπολογισμός Γωνίας Προστασίας Συλλεκτήριου Αγωγού.....	102
Εικόνα 67 Πολύγωνο πασσάλων, $\alpha > 1m$ .....	106
Εικόνα 68 Σύνδεση αγωγού προστασίας με ράβδο εντός φρεατίου και χρησιμοποίηση πίσσας για αύξηση της αγωγιμότητας και βέλτιστη επαφή .....	110
Εικόνα 69 Σύνδεσμος στήριξης αγωγών προστασίας μπετού .....	112
Εικόνα 70 Διμεταλλικός σύνδεσμος για ένωση αγωγού χαλκού με αλουμίνιο.....	113
Εικόνα 71 Γωνιακός σύνδεσμος Φ10 Al .....	114
Εικόνα 72 Ακίδα σύλληψης άμεσου κεραυνικού πλήγματος.....	115
Εικόνα 73 Ειδικός σφιγκτήρας στήριξης της ακίδας.....	116
Εικόνα 74 Σημεία τοποθέτησης ακίδων σύλληψης για τη συνολική προστασία του δώματος από κεραυνικό πλήγμα.....	116
Εικόνα 75 Ισοδυναμική σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ με τη βοήθεια αγωγού προστασίας και κώσ οπής.....	118
Εικόνα 76 Συνολική Ισοδυναμική Σύνδεση Προστασίας.....	118
Εικόνα 77 Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων τύπου T1+T2 συμβατά με ρεύματα DC.....	119
Εικόνα 78 Συνδεσμολογία Απαγωγού συνεχούς ρεύματος.....	120
Εικόνα 79 Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων τύπου Trige Tron 35T1 4p» με στάθμη προστασίας T1+T2 συμβατός με τον πίνακα διανομής εναλλασσομένου ρεύματος. ....	121
Εικόνα 80 Τεχνικό εγχειρίδιο φωτοβολταϊκού πάνελ .....	125
Εικόνα 81 Καμπύλη ρεύματος τάσης & ισχύος τάσης .....	126
Εικόνα 82 Τεχνικό εγχειρίδιο μετατροπέα .....	128

Εικόνα 83 Πρόγραμμα εξομοίωσης μετατροπέα.....	129
Εικόνα 84 Διάγραμμα βαθμού ισχύος προς τάση συνεχούς ρεύματος στοιχειοσειρών.....	129
Εικόνα 85 Παράδειγμα συνδεσμολογίας στοιχειοσειράς.....	131
Εικόνα 86 Κάτοψη Στοιχειοσειρών των Φωτοβολταϊκών Πάνελ στις δύο Εισόδους του Μετατροπέα.....	133
Εικόνα 87 Αγωγός Συνεχούς Ρεύματος.....	135
Εικόνα 88 Υπόδειγμα Πίνακα Συνεχούς Ρεύματος.....	136
Εικόνα 89 Λειτουργικό σχέδιο πίνακα συνεχούς ρεύματος:.....	137
Εικόνα 90 Πίνακας Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	141
Εικόνα 91 Λειτουργικό σχέδιο πίνακα εναλλασσόμενου ρεύματος.....	142
Εικόνα 92 Μονογραμμικό Σχέδιο Εγκατάστασης.....	143
Εικόνα 93 Εξωτερικό σύστημα τηλεμετρίας.....	144
Εικόνα 94 Σελίδα Ρυθμίσεων Λογισμικού Μετατροπέα.....	146
Εικόνα 95 Σελίδα Ρυθμίσεων Λογισμικού Μετατροπέα GSM-Link.....	147
Εικόνα 96 Το Τοκελάου. Το πρώτο κράτος το οποίο θα εξυπηρετεί τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας μόνο από φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	150



## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Παρουσίαση προτεινόμενων για την εγκατάσταση πάνελ.....	50
Πίνακας 2 Τεχνο-οικονομικά στοιχεία των προτεινόμενων για την εγκατάσταση πάνελ.....	53
Πίνακας 3 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd.....	55
Πίνακας 4 Μηχανικά Χαρακτηριστικά του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd.....	56
Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά Θερμοκρασίας του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd...	56
Πίνακας 6 Προτεινόμενοι Μετατροπείς και χαρακτηριστικά τους για την εγκατάσταση πάνελ.....	57
Πίνακας 7 Τεχνικά χαρακτηριστικά Μετατροπέα Kostal Piko 10.1 .....	60
Πίνακας 8 Γενικά χαρακτηριστικά Μετατροπέα Kostal Piko 10.1 .....	60
Πίνακας 9 Διατάξεις Προστασίας Μετατροπέα Kostal Piko 10.1.....	60
Πίνακας 10 Προϋπολογισμός Έργου .....	63
Πίνακας 11 Η πορεία της επένδυσης σε «ορίζοντα 25ετίας».....	69
Πίνακας 12 Στοιχεία εξομοίωσης χωρίς υπερύψωση .....	82
Πίνακας 13 Στοιχεία εξομοίωσης με υπερύψωση .....	84
Πίνακας 14 Ελάχιστες αγωγές διατομών γείωσης θαμμένων στο έδαφος .....	92
Πίνακας 15 Διατομές αγωγών σε συσχετισμό με τις διατομές των αγωγών φάσεων .	93
Πίνακας 16 Απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου ανάλογα με τη κλάση προστασίας.....	103
Πίνακας 17 Ελάχιστη διατομή των αγωγών καθόδου με βάση το πρότυπο EN 50164-2 σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους .....	104
Πίνακας 18 Ειδικές αντιστάσεις εδαφών .....	107
Πίνακας 19 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτροδίου Γείωσης.....	108
Πίνακας 20 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Σφικτήρα .....	109
Πίνακας 21 Τεχνικά Χαρακτηριστικά χάλκινου αγωγού .....	110
Πίνακας 22 Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγού αλουμινίου .....	111
Πίνακας 23 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτήματος στήριξης Αγωγού Μπετού.....	112
Πίνακας 24 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διμεταλλικού Αγωγού Σύνδεσης.....	113
Πίνακας 25 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτήματος σύνδεσης Αγωγού Προστασίας με Μεταλλική Βάση Στήριξης .....	114

Πίνακας 26 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτήματος σύνδεσης Αγωγού Προστασίας με Μεταλλικό Ιστό της Κεραίας Λήψης Τηλεοπτικού Σήματος ..	115
Πίνακας 27 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ακίδας σύλληψης άμεσου κεραυνικού πλήγματος .....	117
Πίνακας 28 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Απαγωγού: .....	120
Πίνακας 29 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Απαγωγού .....	121
Πίνακας 30 Υπολογισμός Συνολικού Κόστους .....	122
Πίνακας 31 Μέση ημερήσια Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C Πηγή: <i>PVGIS.com</i> ...	124
Πίνακας 32 Ελάχιστη –Μέγιστη Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C Πηγή: <i>PVGIS.com</i> .....	124
Πίνακας 33 Τιμές Τάσης Φωτοβολταϊκού Πάνελ με βάση την αυξομείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος .....	126
Πίνακας 34 Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών πάνελ.....	127
Πίνακας 35 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αγωγού Συνεχούς Ρεύματος.....	135
Πίνακας 36 Κόστος Εξαρτημάτων Πίνακα Συνεχούς Ρεύματος.....	137
Πίνακας 37 Υπόδειγμα Πίνακα Εναλλασσόμενου Ρεύματος.....	138
Πίνακας 38 Υπολογισμός Ρεύματος Εξόδου Μετατροπέα με βάση το Πρόγραμμα Εξομοίωσης.....	138
Πίνακας 39 Συνιστώμενοι Διακόπτες Προστασίας Αγωγών AC .....	139
Πίνακας 40 Κόστος Υλικών Πίνακα Εναλλασσόμενου Ρεύματος.....	141
Πίνακας 41 Κόστος Λοιπού ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού .....	143

## SUMMARY

Photovoltaic systems use solar energy to produce electricity. In July 2009, the Greek government issued a resolution according to which unlocked the ability to install photovoltaic systems on roofs and buildings. The present study, analyze all the steps to be taken in order to study, to be installed and interfaced with the grid, a photovoltaic power system 10KWp at the roof of a building. In Chapter 1 listed some theoretical background about photovoltaic systems. In Chapter 2 refers to the steps of the technical inspection must be done in a building but in the right premeditation and project budget. Still referring to all the bureaucratic procedures that must be made by the local electricity provider. Chapter 3 presents the design of the facility which analyzes in detail the proper sizing and selection of all electrical and mechanical equipment installation, mounting of the pv , grounding and lightning protection. Chapter 4 is a brief on energy saving.

**Keywords:** Photovoltaic modules, roof inspection technique, grounding and lightning protection, electrical dimensioning, telemetry systems, Energy saving



## Πρόλογος

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τον Ιούλιο του 2009 η Ελληνική κυβέρνηση έκδωσε ψήφισμα σύμφωνα με το οποίο ξεκλείδωσε την δυνατότητα εγκατάστασης διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων και στις στέγες κτιρίων. Η παρούσα πτυχιακή εργασία, αναλύει όλα τα βήματα που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε να μελετηθεί, να εγκατασταθεί και να διασυνδεθεί με το δίκτυο, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 10KWp στο δώμα ενός κτιρίου. Στο Κεφάλαιο 1 αναφέρονται κάποια γενικά θεωρητικά στοιχεία γύρω από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται αναφορά στα βήματα της τεχνικής επιθεώρησης που πρέπει να γίνουν σε ένα κτίριο αλλά και στη σωστή προμελέτη και προϋπολογισμό του έργου. Ακόμα γίνεται αναφορά σε όλες τις γραφειοκρατικές διαδικασίες που πρέπει να γίνουν με τη ΔΕΗ. Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μελέτη εφαρμογής της εγκατάστασης όπου αναλύεται με κάθε λεπτομέρεια η σωστή διαστασιολόγηση και επιλογή όλου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης, δηλαδή την βάση στήριξης, της γείωσης, της αντικεραυνικής προστασίας και της ηλεκτρολογικής διαστασιολόγησης. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μια σύντομη στην εξοικονόμηση ενέργειας.

**Λέξεις κλειδιά:** Φωτοβολταϊκά πάνελ, τεχνική επιθεώρηση δώματος, προμελέτη εγκατάστασης, στήριξη φωτοβολταϊκών πλαισίων, γείωση και αντικεραυνική προστασία, ηλεκτρολογική διαστασιολόγηση, Σύστημα τηλεμετρίας, Εξοικονόμηση ενέργειας.



# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων (Φ.Σ.) κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Πώς φτάσαμε όμως ως εδώ και ποιά είναι η ιστορία των φωτοβολταϊκών;

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.



Edmond Becquerel

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν ο Adams (1836 - 1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.



Adams

Το 1918 ο Πολωνός Czochralski (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα.



Czochralski

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει.

Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Charin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέσσερα χρόνια μετά, το **1958** η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο **Vanguard I**.



**Δορυφόρος Vanguard**

Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα. Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς.

Το **1962** η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την **Sharp**, σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242Wp.

Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν λοιπόν να κάνουν την εμφάνισή τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA.

Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα **500\$** ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια, το 1970 αγγίζει τα **100\$/Watt**. Το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα **50\$/Watt**.

Η πρώτη εγκατάσταση ΦΒ που φτάνει στα επίπεδα του 1MW γίνεται στην Καλιφόρνια το **1980** από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual-axis trackers).

Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το **1983** η παγκόσμια παραγωγή ΦΒ φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$.

Το **1999** η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα ΦΒ. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των ΦΒ πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MegaWatt.

**2004:** Η πορεία πια είναι ασταμάτητη. Η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των ΦΒ φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την **τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων** στα 6,5 ευρώ/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή ΦΒ εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα **1.200 MegaWatt** ΦΒ στοιχείων ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα **6.500.000.000\$**.

Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και

την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

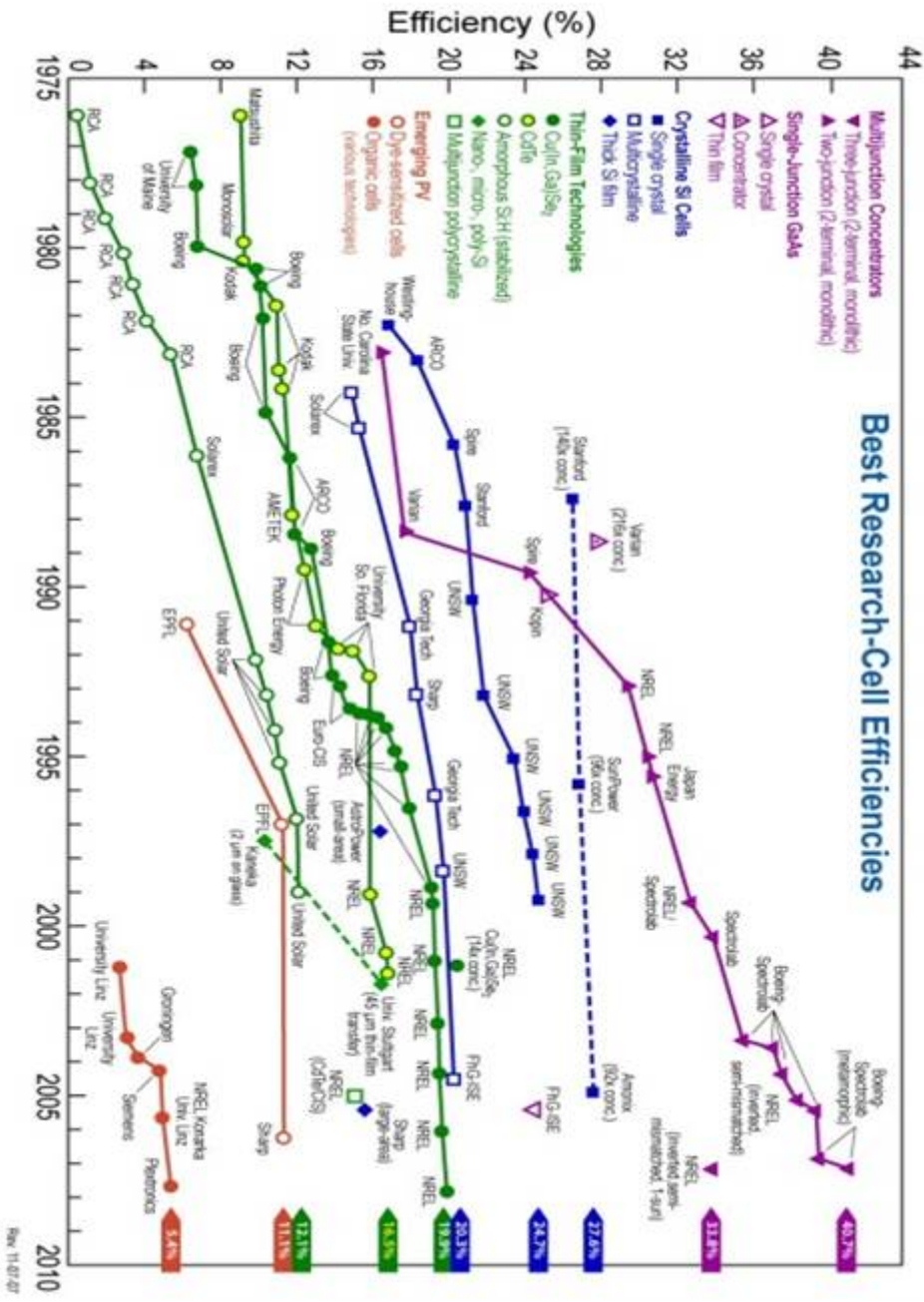
Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνογνωσίας τους.

## **1.1. Το μέλλον των φωτοβολταϊκών**

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διείσδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτή η καθυστέρηση οφείλεται κυρίως στις τεχνικές (και οικονομικές) δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθεια τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά (κρυσταλλικό πυρίτιο).

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού (κρυσταλλικού πυριτίου) είναι πολύ μεγάλος και η παραγωγή του είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος. Επίσης απαιτούνται υπέρογκα κεφάλαια για το κόστος του εξοπλισμού αλλά και της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία.

Για τον λόγο αυτό άλλωστε η τάση που φαίνεται ότι θα καταλάβει ένα μεγάλο μερίδιο στην αγορά των φωτοβολταϊκών μετά από κάποια χρόνια (σε σχέση με αυτό που έχει σήμερα) είναι οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film) στις οποίες επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου (ή των άλλων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται) και συνεπώς μείωση στις τιμές των φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 1 Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Οι προβλέψεις για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αγορά των φωτοβολταϊκών είναι ιδιαίτερα ευόαινες, τόσο για την καθολική εξάπλωση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας παγκοσμίως, όσο και για την καθοδική πορεία στις τιμές των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

## 1.2. Ο Ήλιος και η Ηλιακή Ακτινοβολία

Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας με μάζα  $20 \times 10^{30} \text{Kg}$  και ακτίνα  $700000 \text{Km}$ . Η θερμοκρασία της επιφάνειας του υπολογίζεται στους  $5800^\circ \text{K}$ , ενώ η θερμοκρασία του πυρήνα στους  $14000000^\circ \text{K}$ , ενώ η μέση απόσταση του από τη γη είναι  $150.000.000$ . Η υψηλή του θερμοκρασία οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο πυρήνα του. Κάθε δευτερόλεπτο περίπου  $564000000$  τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται σε ήλιο. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια. Από τη μετατροπή  $1 \text{gr}$  υδρογόνου σε Ήλιο υπολογίζεται ότι παράγεται ενέργεια ίση με  $1,67 \times 10^5 \text{KWh}$ . Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με τη σωματιδιακή μορφή. Η σωματιδιακή ακτινοβολία αποτελείται κυρίως από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια, κυρίως ηλεκτρόνια και πρωτόνια, αλλά δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον η εκμετάλλευσή της. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται σε  $20 \text{min}$  είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνει ο πληθυσμός της γης σε έναν ολόκληρο χρόνο.

-Η φασματική κατανομή της εκτός γήινης ατμόσφαιρας ηλιακής ακτινοβολίας μοιάζει αρκετά με εκείνη του μέλανος σώματος στη θερμοκρασία των  $5672^\circ \text{K}$ , ενώ η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο επίπεδο της θάλασσας είναι αρκετά μειωμένη.

Η μονάδα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το  $(\text{W}/\text{m}^2)$ . Δηλαδή είναι ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας και η τιμή της είναι το μέτρο της έντασής της.

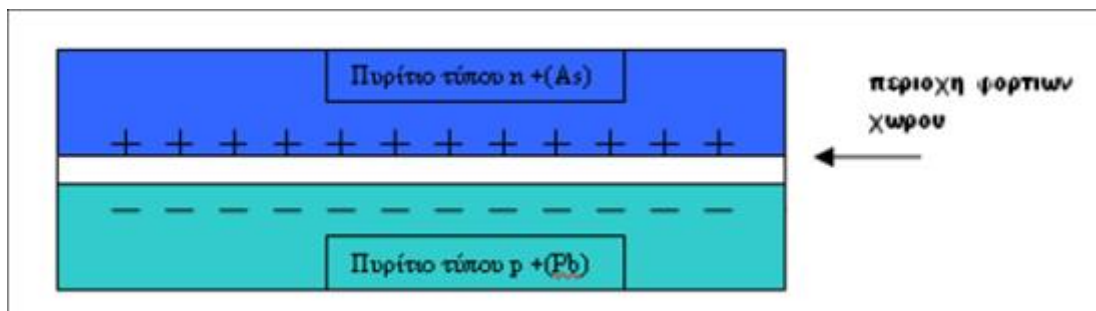
Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος επηρεάζεται από το μήκος της ατμόσφαιρας που διαπερνά.

## 1.3. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Με λίγα λόγια το φωτοβολταϊκό φαινόμενο εμφανίζεται όταν έχουμε πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε μια δίοδο επαφής τύπου  $-p$  και τύπου  $-n$ , τότε υπάρχει στα άκρα της διόδου διαφορά δυναμικού και επομένως έχουμε ροή συνεχούς ρεύματος.

### 1.3.1. Τρόπος λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα πλαίσιο κρυσταλλικού πυριτίου. Τα άτομα του πυριτίου δημιουργούν ένα σταθερό κρυσταλλικό πλέγμα. Τα άτομα του πυριτίου έχουν τη τάση να αφήνουν ένα ηλεκτρόνιο ελεύθερο στην εξωτερική στοιβάδα και αυτό να δημιουργεί μια οπή στο κρυσταλλικό πλέγμα. Το φαινόμενο αυτό καλείται εσωτερική αγωγιμότητα και δεν είναι αυτό η αιτία που παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Για να γίνει αυτό προστίθενται, με τη μορφή πρόσμιξης, στο κρυσταλλικό πλέγμα κάποιοι φορείς μειονότητας δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο φωσφόρου (πρόσμιξη n-τύπου) ή βόριου (πρόσμιξη p-τύπου), έτσι υπάρχει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο το οποίο μπορεί και κινείται μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα και να μεταφέρει ηλεκτρισμό. Τώρα αν ενωθούν οι δύο ημιαγωγοί που αναφέραμε (n-τύπου & p-τύπου) τότε τα ηλεκτρόνια από τον έναν αγωγό στον άλλο μεταβαίνουν με διάχυση. Στα σημεία ένωσης των δύο πλακών (βλέπε σχήμα) υπάρχει μια περιοχή με λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια η οποία ονομάζεται περιοχή φορτίων χώρου. Έτσι έχουμε θετικά φορτισμένα άτομα στην n-περιοχή και αρνητικά φορτισμένα άτομα στην p-περιοχή. Όλο αυτό δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο το οποίο αντιστέκεται στην κίνηση των φορτισμένων φορέων, με αποτέλεσμα η διάχυση να μην συνεχίζεται αόριστα. Τότε αν ο p-n ημιαγωγός εκτεθεί στο φως φωτόνια απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια και έτσι αυτή η είσοδος ενέργειας διασπά τους δεσμούς των ηλεκτρονίων. Τα απελευθερωμένα ηλεκτρόνια ωθούνται από το ηλεκτρικό πεδίο στην n-περιοχή. Οι οπές που σχηματίζονται μετακινούνται στην αντίθετη κατεύθυνση δηλαδή στην p-περιοχή. Όλη η διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάχυση των φορτισμένων φορέων στον ηλεκτρικό αγωγό προκαλεί μια τάση που παρουσιάζεται στο φωτοβολταϊκό στοιχείο.



Εικόνα 2 Η κατανομή των ηλεκτρονίων σε ένα p-n ημιαγωγό

Το δημιουργούμενο ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται φωτορεύμα. Η τιμή του είναι ανάλογη της ποσότητας των απορροφώμενων φωτονίων, των οποίων η συνολική ενέργεια, ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος  $E(W/m^2)$  της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμα η τιμή του επηρεάζεται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες όπως ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού αλλά και το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων.

Μπορεί να υπολογισθεί από τον μαθηματικό τύπο:

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda$$

όπου:

$e$ : το στοιχειώδες ηλεκτρόνιο

$R(\lambda)$ : Ο δείκτης ανάκλασης για ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$

$\Phi(\lambda)$ : Το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί στο μήκος κύματος από  $\lambda$  μέχρι  $\lambda+d\lambda$

$S(\lambda)$ : η φασματική απόκριση, δηλαδή το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου

$\lambda_g$ : το μέγιστο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε ένα ημιαγωγό, ενεργειακού διάκενου  $E_g: (\lambda_g = h \cdot c / E_g)$

## 1.4. Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών πλαισίων

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

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

1. Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου ( $SiO_2$ ) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

2. Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
3. Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125 °C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
4. Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ.). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

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



**Εικόνα 3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)**

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone).

Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές

επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

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

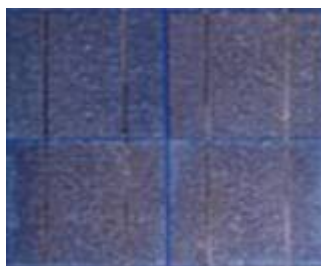


**Εικόνα 4 Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)**

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά.

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

- ❖ Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

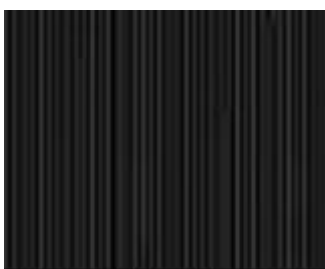


**Εικόνα 5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)**

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

❖ Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)



Εικόνα 6 Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

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



**Εικόνα 7 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)**

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

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

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

## ✓ Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

**Εικόνα 8 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)**

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

## ✓ Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

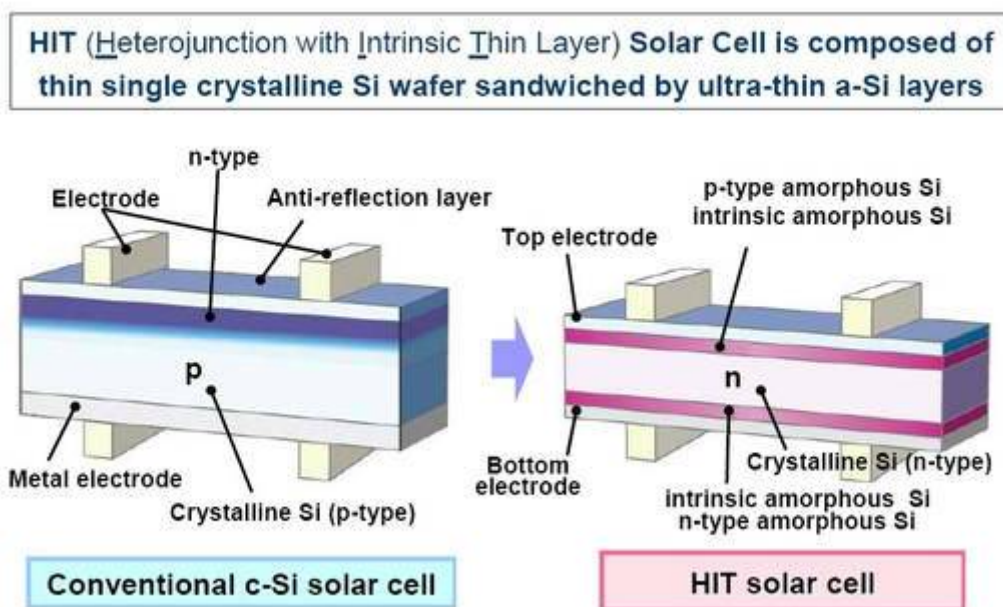
**Εικόνα 9 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)**

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες.

Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

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

#### ✓ Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία



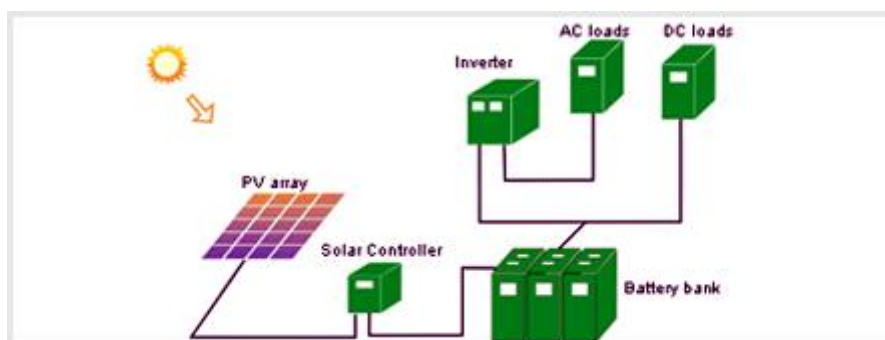
Εικόνα 10 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

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

## 1.5. Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Σε ένα απομακρυσμένο από το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο σύστημα οι ενεργειακές ανάγκες μιας εγκατάστασης μπορούν να τροφοδοτούνται από ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Παρόλα αυτά θα μπορούσαμε να διακρίνουμε και μια ακόμη κατηγορία τα υβριδικά συστήματα στα οποία συνεισφέρουν ενέργεια, τα φωτοβολταϊκά και άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας όπως η αιολική ή κάποια γεννήτρια πετρελαίου.



Εικόνα 11 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά από φωτοβολταϊκές γεννήτριες. Παραπέρα τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτά που έχουν κάποια αποθηκευτική διάταξη ενέργειας (συνήθως μπαταρίες) και σε αυτά που είναι άμεσα συνδεδεμένα μόνο με τα φορτία που τροφοδοτούν χωρίς αποθηκευτική διάταξη (παράδειγμα: εξοχικό σπίτι με μια μικρή dc αντλία νερού συνδεδεμένη απ' ευθείας με ένα φωτοβολταϊκό πάνελ).

Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου συστήματος είναι:

1. φωτοβολταϊκά πάνελ
1. συσσωρευτές
2. ρυθμιστής φόρτισης
3. μετατροπέας
4. ασφάλειες
5. διακόπτες
6. όργανα μέτρησης χωρητικότητας συσσωρευτών

## **1.6. Υβριδικά Συστήματα Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**

Συνήθως ένα τέτοιο σύστημα επιβάλλεται από το κόστος. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τροφοδοτήσουν οποιαδήποτε εγκατάσταση (όπως ένα εξοχικό σπίτι) αλλά το κόστος μπορεί να είναι μεγάλο. Για τον λόγο αυτό τα φωτοβολταϊκά μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες πηγές ενέργειας.

Για παράδειγμα υπάρχουν περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό και μάλιστα συνήθως όταν υπάρχει συννεφιά ο αέρας είναι ισχυρότερος. Έτσι μπορεί μια ανεμογεννήτρια και μια φωτοβολταϊκή συστοιχία να αλληλοσυμπληρώνονται σε μια εγκατάσταση.

Σε αυτήν την περίπτωση οι δύο πηγές ενέργειας τροφοδοτούν τις συστοιχίες των συσσωρευτών μέσω ρυθμιστών φόρτισης και από εκεί η ενέργεια διοχετεύεται στις καταναλώσεις της εγκατάστασης.

Γενικότερα οι τεχνολογίες που μπορεί να συμμετέχουν σε μια υβριδική εγκατάσταση είναι συνήθως οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, οι ανεμογεννήτριες, και οι πετρελαιοκινητήρες Η/Ζ. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι ενεργειακές πηγές μπαίνουν παράλληλα στο τοπικό δίκτυο με σκοπό την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος προέρχεται από έναν συγκερασμό μετεωρολογικών και οικονομοτεχνικών δεδομένων.

Για τις εγκαταστάσεις που δεν έχουν άμεση πρόσβαση στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. υπάρχει η λύση των αυτόνομων αλλά και των υβριδικών συστημάτων. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες απομονωμένων από το δίκτυο φωτοβολταϊκών συστημάτων. Κάποιες από αυτές είναι:

1. Οικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο σε τέτοια απόσταση που το κόστος διασύνδεσης με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. είναι απαγορευτικά υψηλό.
2. Οικίες που για κάποιους λόγους δεν δύναται να ηλεκτροδοτηθούν
3. Κτηνοτροφικές ή γεωργικές μονάδες απομακρυσμένες από το δίκτυο
4. Τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις
5. Αντλητικά συστήματα υδροδότησης
6. Κινητές εγκαταστάσεις (τροχόσπιτα, πλωτά κτ)
7. Εγκαταστάσεις που απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα (αμυντικές εφαρμογές, διαστημικές εφαρμογές)

Η μεθοδολογία για την ηλεκτροδότηση μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι η ακόλουθη:

**Ανάλυση της περιοχής** (ακτινοβολία, σκίαση κτλ). Αρχικά θα πρέπει να γίνει υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή για όλη την διάρκεια του έτους

και σε κάποιες περιπτώσεις και κατά μήνα του έτους. Σε αντίθεση με τα διασυνδεδεμένα συστήματα όπου στόχος είναι η μέγιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, στα απομονωμένα συστήματα υπάρχουν εφαρμογές όπου η ενεργειακές ανάγκες είναι μεγαλύτερες σε κάποιους συγκεκριμένους μήνες του χρόνου ή ακόμα και σε κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

Για παράδειγμα στην περιοχή της Καβάλας η βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο για ένα σύστημα με γνώμονα την μέγιστη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι 31ο. Εάν όμως θέλουμε να ηλεκτροδοτήσουμε μια παραθεριστική κατοικία μόνο για τους θερινούς μήνες η βέλτιστη κλίση είναι από 5 έως 20 μοίρες ανάλογα τον μήνα της μέγιστης ζήτησης ενέργειας. Ένα άλλο ζήτημα επίσης είναι και το σημείο που θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

**Καταγραφή των ενεργειακών απαιτήσεων.** Κάθε εγκατάσταση έχει διαφορετικά φορτία (συσκευές, μηχανήματα κτλ). Για να γίνει ένας σωστός σχεδιασμός θα πρέπει να καταγραφούν όλα τα φορτία, επίσης να γίνει μια αναλυτική περιγραφή της διάρκειας χρήσης της κάθε συσκευής καθώς και του επιθυμητού χρόνου αυτονομίας.

Η διάρκεια αυτονομίας θα καθορίσει και την διαστασιολόγηση των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης πολύ σημαντικό είναι και το είδος των συσκευών που χρησιμοποιούνται εάν δηλαδή καταναλώνουν εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις μάλιστα προτείνονται συσκευές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης οι οποίες έχουν υψηλότερο κόστος αγοράς αλλά σε βάθος χρόνου είναι ασφαλώς περισσότερο συμφέρουσες.

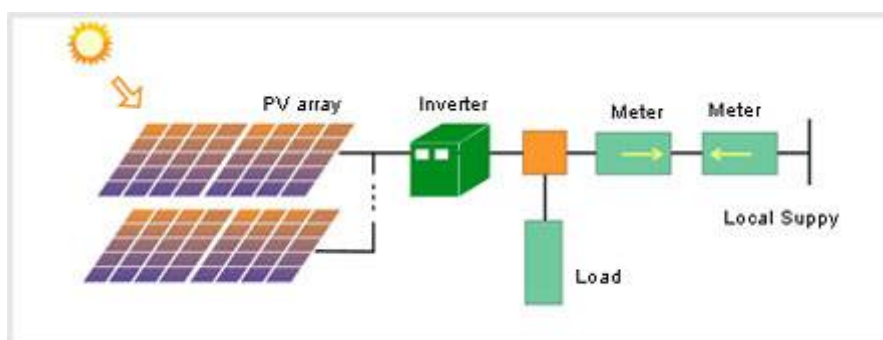
Επιπρόσθετα υπάρχει η δυνατότητα του συνδυασμού των φωτοβολταϊκών με κάποια άλλη πηγή ενέργειας, όπως ανεμογεννήτριες ή μηχανές diesel. Σε αυτήν την περίπτωση στο υβριδικό σύστημα που προκύπτει μπορούν να γίνουν διάφοροι συνδυασμοί όσον αφορά την συμμετοχή της κάθε πηγής ενέργειας και την διαστασιολόγηση τους.

Αφού γίνει η ανάλυση των παραπάνω τεχνικών χαρακτηριστικών ακολουθεί η **οικονομοτεχνική μελέτη** της εγκατάστασης. Η μελέτη αυτή είναι ο συγκερασμός των παραπάνω τεχνικών απαιτήσεων, της οικονομικής δυνατότητας καθώς και των πιθανών επιδοτήσεων. Σκοπός είναι τελικά να επιτευχθεί η βέλτιστη τεχνική και οικονομική λύση.

## 1.7. Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα ή φωτοβολταϊκά πάρκα έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό το γεγονός ότι υπάρχει φυσική ένωση με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (για την Ελλάδα με την Δ.Ε.Η. (Δ.Ε.ΣΜ.Η.Ε.)). Η σχέση μιας εγκατεστημένης μονάδας με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι αμφίδρομη. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να απορροφά ενέργεια αλλά και να διαχέει ενέργεια προς το δίκτυο.

Ποιο συγκεκριμένα οι πιθανές περιπτώσεις που μπορεί να συναντήσουμε ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι οι παρακάτω:



Εικόνα 12 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

## 1.8. Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Η επικύρωση του πρωτόκολλου του Κιότο και άλλες διεθνείς συμφωνίες που ακολούθησαν κάτω από την πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, έφεραν επιτέλους τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα το καλοκαίρι του 2009.

Η ουσιαστική ώθηση για τα φωτοβολταϊκά όπως και για τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δόθηκε μέσα από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων των δραστηριοτήτων παραγωγής ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) με την χρήση "πράσινων" τεχνολογιών (ΑΠΕ). Η περισσότερο γνωστή από αυτές είναι η ευνοϊκή τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστή και ως feed - in - tariff.

Συνοπτικά τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζονται παρακάτω:

**Ισχύς 1KWp-10 KWp:**

Αφορά ιδιώτες, μικρές επιχειρήσεις, Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου και Νομικά Πρόσωπα Ιδιωτικού δικαίου.

Τιμή πώλησης 0,25€/ KWh.

Όλες οι διαδικασίες αδειοδότησης με Δ.Ε.Η.

Διάρκεια σύμβασης: 25 χρόνια.

Σύνδεση με το δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).

Τοποθετούνται σε ταράτσες, στέγες, αποθήκες, γκαράζ, δώματα, προσόψεις, στέγαστρα βεραντών, σκίαστρα και σε υπερκατασκευές εφόσον υπάρχει διαθέσιμος συντελεστής δόμησης

Δεν επιτρέπεται πάνω από απόληξη κλιμακοστασίου και ανελκυστήρα

Αφορά όλη την Επικράτεια. Ηπειρωτική χώρα, Διασυνδεδεμένα νησιά & Κρήτη έως 10 KWp και Μη Διασυνδεδεμένα νησιά έως 5 KWp έως ότου κορεστεί το τοπικό δίκτυο υπερυψηλής τάσης.

Ιδιώτες: Έσοδα αφορολόγητα. Δεν απαιτείται έναρξη επιτηδεύματος

Επιτηδευματίες: Έσοδα αφορολόγητα εφόσον μπαίνουν σε ειδικό λογαριασμό (αποθεματικό). Φορολογούνται αν διανεμηθούν ως κέρδη.

Τα έσοδα δεν έχουν ΦΠΑ.

Η είσπραξη γίνεται με συμψηφισμό στο λογαριασμό της Δ.Ε.Η.

Αν το σύστημα μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπουν περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

**Ισχύς 10KWp-100 KWp:**

Αφορά βιομηχανικά & εμπορικά κτίρια στο διασυνδεδεμένο σύστημα

Τιμή πώλησης 0,225€/ KWh.

Όροι σύνδεσης από Δ.Ε.Η.

Σύμβαση Πώλησης Ηλ. Ενέργειας με Δ.Ε.ΣΜ.Η.Ε.

Διάρκεια σύμβασης: 20 χρόνια

Δεν απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντολογικών Όρων

Σύνδεση με το δίκτυο Χ.Τ.

Κόστος αρχικής αίτησης 500 € (αφαιρούνται από το κόστος σύνδεσης)

Τα έσοδα φορολογούνται κανονικά

Τα έσοδα έχουν ΦΠΑ 11%. Η είσπραξη γίνεται με τιμολόγιο που εκκαθαρίζεται μηνιαίως από το Δ.Ε.ΣΜ.Η.Ε.

Απαιτείται έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από Πολεοδομία

### **Ισχύς 100KWp - 1 MWp:**

Αφορά βιομηχανικά & εμπορικά κτίρια στο διασυνδεδεμένο σύστημα

Τιμή πώλησης 0,18€/ KWh.

Όροι σύνδεσης από Δ.Ε.Η.

Σύμβαση Πώλησης Ηλ. Ενέργειας με Δ.Ε.ΣΜ.Η.Ε.

Απαιτείται έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από Πολεοδομία.

Διάρκεια σύμβασης: 20 χρόνια.

Δεν απαιτείται Έγκριση Περιβαλλοντολογικών Όρων.

Σύνδεση με το δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ).

Κόστος αρχικής αίτησης 1.000 € (αφαιρούνται από το κόστος σύνδεσης).

Τα έσοδα φορολογούνται κανονικά.

Τα έσοδα έχουν ΦΠΑ 11%. Η είσπραξη γίνεται με τιμολόγιο που εκκαθαρίζεται μηνιαίως από το Δ.Ε.ΣΜ.Η.Ε.

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### 2.1. Γενικά Θεωρητικά Στοιχεία Τεχνικής Επιθεώρησης

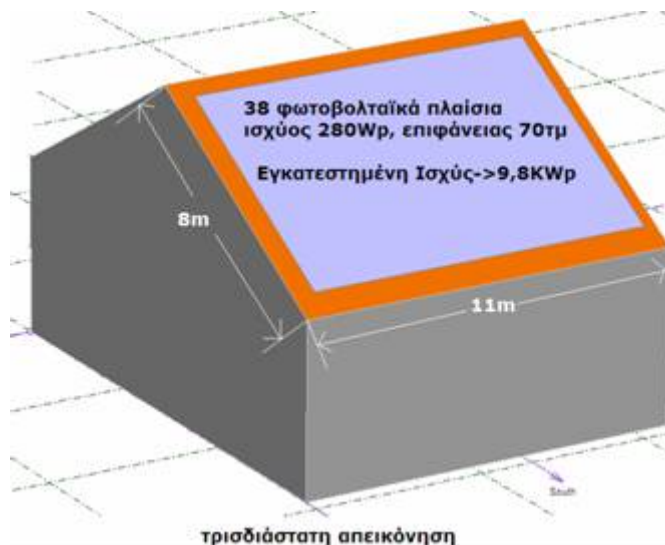
Η Ελλάδα είναι μια από τις ελάχιστες χώρες παγκοσμίως με εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων σε δώματα. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αυτής της μορφής δίνει στο σύστημα τη δυνατότητα να επιτύχει τη μέγιστη απόδοση τοποθετώντας τα πάνελ στη βέλτιστη κλίση τόσο ως προς το οριζόντιο όσο και ως προς το κάθετο επίπεδο.

Σε κάθε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών αλλά ιδιαίτερα στην εγκατάσταση σε δώμα όπου η επιφάνεια είναι περιορισμένη, το σημαντικότερο σκέλος της επιθεώρησης και αυτό που θα καθορίσει την εγκατεστημένη ισχύ αλλά και την τεχνο-οικονομική απόδοση της εγκατάστασης είναι τα διαθέσιμα-ωφέλιμα τετραγωνικά μέτρα του δώματος.

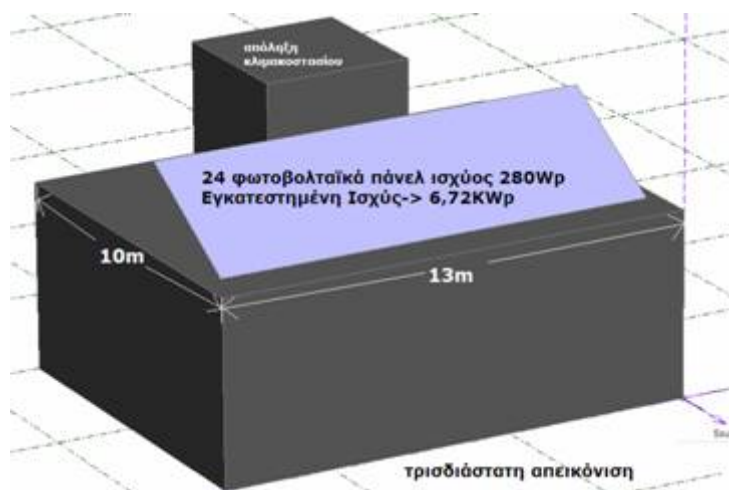
Σε μια κεραμοσκεπή για παράδειγμα με 88τμ επιφάνεια περίπου μπορούμε να εγκαταστήσουμε ένα σύστημα 10KWp (είναι η μέγιστη ισχύς που επιτρέπεται με βάση το νόμο για το ειδικό πρόγραμμα φωτοβολταϊκών σε στέγες) γιατί αν η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ είναι 2m<sup>2</sup> και η ισχύς του είναι 280Wp τότε με ένα πρόχειρο υπολογισμό έχουμε:

$$70 \text{ m}^2 / 2 \text{ m}^2 = 35 \text{ πάνελς} * 280 \text{ Wp} = 9,8 \text{ KWp}.$$

Αντίθετα σε ένα δώμα με συνολική επιφάνεια ακόμα και 130τμ υπάρχει μεγάλη πιθανότητα λόγω της ιδιομορφίας του χώρου να μην μπορεί να εγκατασταθεί σύστημα 10KWp, όπως στην Εικόνα 14.



**Εικόνα 13 Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών πάνελ σε κεραμοσκεπή 70τμ**



**Εικόνα 14 Χωροθέτηση Φωτοβολταϊκών πάνελ σε ταράτσα 130 τμ.**

Κάθε δόμα έχει τη δική του ιδιομορφία του καθώς σε αυτό υπάρχουν διάφορα αντικείμενα που δημιουργούν σκιές αλλά και περιορίζουν τα διαθέσιμα τετραγωνικά μέτρα. Μερικά από αυτά μπορεί να είναι: η απόληξη του κλιμακοστασίου, δωμάτια, αποθήκες, καμινάδες, εξαερισμοί, κεραίες, ηλιακοί θερμοσίφωνες, το μηχανοστάσιο του ανελκυστήρα, εξωτερικές μονάδες κλιματισμού, φωταγωγοί και φυσικά κάγκελα ή στηθαίο περιμετρικά.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι οι σκιές σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την απόδοση του συστήματος αλλά επιταχύνουν και τη γήρανση του πάνελ. Βέβαια υπάρχουν μετατροπείς, οι οποίοι έχουν την

δυνατότητα να ελαχιστοποιούν τις απώλειες από σκιάσεις, αλλά το κόστος τους είναι μεγαλύτερο από τους συμβατικούς.



**Εικόνα 15 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε ταράτσα με εμφανείς σκιάσεις των πάνελ**

Υπάρχει βέβαια και η πιθανότητα η ταράτσα να σκιάζεται από εξωγενείς παράγοντες. Αυτοί μπορεί να είναι: δέντρα, γειτονικά κτίρια, βουνά, στύλοι ή αγωγοί της Δ.Ε.Η. ακόμα και μελλοντικά κτίρια που μπορεί να χτιστούν και να επηρεάσουν την εγκατάσταση.

Επομένως λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω εξετάζουμε τη δυνατότητα μετακίνησης κάποιων αντικειμένων που εμποδίζουν ή σκιάζουν π.χ. η κεραία της τηλεόρασης για να εξασφαλίσουμε περισσότερο χώρο. Ακόμη με βάση το νόμο, απαραίτητη προϋπόθεση για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η κάλυψη των αναγκών του ζεστού νερού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δηλαδή τυπικά η ύπαρξη ενός ηλιακού θερμοσίφωνα. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω μπορούμε να δοκιμάζουμε διάφορες χωροθετήσεις πάνελ για να καταλήξουμε στην τεχνο-οικονομικά βέλτιστη.

Συνοπτικά μια σωστή χωροθέτηση πάνελ όσον αφορά την απόδοση του συστήματος σε μια ταράτσα πρέπει να έχει:

- Τη μεγαλύτερη δυνατή εγκατεστημένη ισχύ ανάλογα με τα διαθέσιμα-ωφέλιμα τετραγωνικά μέτρα.

- Το καλύτερο δυνατό προσανατολισμό ως προς το νότο και την καλύτερη δυνατή κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
- Όσο το δυνατόν λιγότερες σκιάσεις των πάνελ.



**Εικόνα 16 Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε δώμα**

Η στήριξη των φωτοβολταϊκών πάνελ στο δώμα γίνεται με μεταλλικές βάσεις οι οποίες πακτώνονται επάνω στη πλάκα της ταράτσας. Απαραίτητη είναι η τοποθέτηση κατάλληλου χημικού για την πλήρωση των οπών για την αποφυγή εμφάνισης υγρασίας στην πλάκα. Φυσικά πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή στην αντοχή των βάσεων στις ανεμοπιέσεις αλλά και στη διάβρωση του μεταλλικού σκελετού ειδικά αν η εγκατάσταση βρίσκεται σε περιοχές με ακραίες καιρικές συνθήκες (π.χ. θάλασσα).

Ο τελευταίος έλεγχος θα πρέπει να είναι στη κατασκευή της πλάκας, αλλά και στην πιθανή ύπαρξη κάποιου μονωτικού υλικού το οποίο έχει τοποθετηθεί και θα πρέπει να αποκατασταθεί μετά το τρύπημα για την εγκατάσταση των βάσεων. Υπάρχει και η δυνατότητα να μην τρυπηθεί η ταράτσα χρησιμοποιώντας πολυκαρβονικές βάσεις στήριξης. Το μειονέκτημα με αυτές τις βάσεις είναι ότι δεν μπορούμε να έχουμε διπλές ή τριπλές σειρές από πάνελ αλλά μόνο μονές. Ακόμα, η κλίση τους είναι στις 20 μοίρες και όχι στις 30-35 που είναι το βέλτιστο.

Ένα ακόμη στάδιο επιθεώρησης αποτελεί η θέση τοποθέτησης του μετατροπέα. Η απόληξη του κλιμακοστασίου, αν αυτή υπάρχει, είναι μια πολύ καλή επιλογή για την τοποθέτηση του μετατροπέα αλλά και των πινάκων συνεχούς και

εναλλασσόμενου ρεύματος. Συνήθως πρέπει να αποφεύγουμε την τοποθέτηση τους σε μέρος όπου υπάρχει απευθείας έκθεση στον ήλιο ή άμεση επαφή με νερό.

Τέλος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και την όσο το δυνατό ασφαλέστερη, από το ενδεχόμενο κλοπής, τοποθέτηση του μετατροπέα παρότι υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης κλοπής από κάποιο ασφαλιστικό συμβόλαιο.



**Εικόνα 17 Μετατροπέας διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος**

Το επόμενο βήμα της επιθεώρησης είναι ο έλεγχος της διαδρομής όλων των αγωγών που θα εγκατασταθούν. Ο αγωγός ο οποίος ενδέχεται να μας δημιουργήσει πρόβλημα είναι ο αγωγός που θα συνδέει τον πίνακα εναλλασσόμενου ρεύματος με το μετρητή της Δ.Ε.Η. Σημαντικό ρόλο φυσικά παίζει η μεγάλη διατομή του αγωγού αλλά μην ξεχνάμε ότι σε πολλά κτίρια ο μετρητής της Δ.Ε.Η. είναι σε κάποια άκρη του οικοπέδου πράγμα το οποίο σημαίνει ότι δεν είναι προφανής ο τρόπος με τον οποίο θα εγκαταστήσουμε τον αγωγό. Συνήθως επιλέγουμε τον τρόπο με το μικρότερη δυνατή εργασία. Δηλαδή αν έχουμε να επιλέξουμε αν θα τοποθετήσουμε τον αγωγό μέσα στη γη ή εναέριο προφανώς θα επιλέξουμε τη δεύτερη τοποθέτηση.

Στη συνέχεια πρέπει να ελέγξουμε την υπάρχουσα γείωση του κτιρίου. Συνήθως η τιμή της αντίστασης γείωσης δεν μας καλύπτει και έτσι θα πρέπει να εγκαταστήσουμε νέο γειωτή σε κάποιο σημείο του οικοπέδου. Θα πρέπει και εδώ να ελέγξουμε την διαδρομή των αγωγών προστασίας για να επιτύχουμε ισοδυναμική σύνδεση όλων των μεταλλικών αντικειμένων της εγκατάστασης.

Επομένως όπως αντιλαμβανόμαστε παραλείψεις σε κάποιο ή κάποια από τα σημεία που αναφέραμε θα επιφέρουν δυσκολίες στην κατασκευή της εγκατάστασης.

Όλα τα παραπάνω σημειώνονται με μεγάλη λεπτομέρεια σε ειδικό φύλλο καταγραφής και με βάση αυτό συντάσσεται η οικονομο-τεχνική μελέτη και η μελέτη εφαρμογής.

ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2012)		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗΣ:		
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ/ΠΟΛΗ:		
ΟΝΟΜΑ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ:		
ΤΗΛΕΦΩΝΟ:		
EMAIL:		
ΙΔΙΩΤΗΣ:		
ΜΙΚΡΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ:		
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΣΤΕΓΗ:		
ΠΑΡΑΚΑΛΩ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΤΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΓΡΑΜΜΕΣ		
	ΝΑΙ	ΌΧΙ
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΕΠΗΡΕΑΣΟΥΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ;		
ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟ ΟΙΚΙΣΜΟ Ή ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ;		
ΥΠΑΡΧΕΙ ΑΠΟΔΕΙΚΤΙΚΟ ΚΥΡΙΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ;		
ΥΠΑΡΧΕΙ ΕΝΕΡΓΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΔΕΗ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ;		
ΕΙΝΑΙ ΑΥΘΑΙΡΕΤΟ ΤΟ ΚΤΙΡΙΟ;		
ΥΠΑΡΧΕΙ/ΟΥΝ ΗΛΙΑΚΟΙ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΕΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ;		
ΑΝ ΧΡΕΙΑΣΤΕΙ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΘΕΙ/ΘΟΥΝ;		
ΕΙΔΟΣ ΣΤΕΓΗΣ:		
ΤΑΡΑΤΣΑ	ΝΑΙ	ΌΧΙ
Αν υπάρχει μόνωση μπορεί να τρυπηθεί;		
Μπορούν να τοποθετηθούν διπλές βάσεις;		
ΚΕΡΑΜΜΟΣΚΕΠΗ		ΜΟΙΡΕΣ
Κλίση		
ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΣΤΕΓΗ:		ΜΟΙΡΕΣ
Κλίση		
ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ		ΜΟΙΡΕΣ
Κλίση		
ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΡΗΤΗ ΤΗΣ ΔΕΗ;		ΜΕΤΡΑ
ΣΤΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ Η ΣΤΗ ΚΑΤΟΨΗ ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΟΣΚΟΜΙΣΤΕΙ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΑΡΧΟΥΝ:		
ΟΛΕΣ ΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΔΕΧΘΕΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ		
ΝΟΤΟΣ( γωνία ως προς μια πλευρά)		
ΔΩΜΑ( διαστάσεις, ύψος, θέση πόρτας)		
ΚΑΜΙΝΑΔΑ ή ΚΑΜΙΝΑΔΕΣ( διαστάσεις, ύψος, υπάρχει δυνατότητα να χαμηλώσουν)		
ΣΤΗΘΑΙΟ( ύψος, υπάρχει δυνατότητα να χαμηλώσει;)		
ΑΝΑΜΟΝΕΣ (σχεδιάζονται αν δεν μπορούν να λυγίσουν)		
ΓΕΙΤΟΝΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΣΚΙΑΖΟΥΝ ( ύψος και διαστάσεις)		
ΑΚΟΜΑ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΤΑΛΟΥΝ ΠΕΝΤΕ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ ΝΑ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΤΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΑ ΈΝΑ ΒΙΝΤΕΟ ΤΡΑΒΗΓΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΥΣΗ ΕΩΣ ΤΗΝ ΑΝΑΤΟΛΗ.		

Εικόνα 18 Ειδικό φύλλο καταγραφής για τη σύνταξη της οικονομο-τεχνική μελέτης και τη μελέτη εφαρμογής

## 2.2. Από τη θεωρία στη πράξη

### 2.2.1. Τεχνική επιθεώρηση δώματος

Στην παρούσα εργασία το δώμα στο οποίο θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα βρίσκεται στο κέντρο της Θήβας. Με χρήση των φωτογραφιών του χώρου που παρουσιάζονται θα προσπαθήσουμε να τονίσουμε τα σημαντικότερα στοιχεία που θα πρέπει να προσεχθούν κατά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 19 Δυτική όψη δώματος

Η Εικόνα 19 δείχνει το δυτικό κομμάτι του δώματος. Παρατηρούμε ότι το στηθαίο που υπάρχει περιμετρικά στο δώμα έχει ύψος 60 εκατοστά επομένως αυτόματα γνωρίζουμε ότι θα πρέπει να κρατήσουμε μια απόσταση από το στηθαίο για να μην έχουμε σκιάσεις στα πάνελ, κάτι που σημαίνει ότι μειώνονται κατά μικρή ποσότητα τα διαθέσιμα-ωφέλιμα τ.μ.

Ο κανόνας της Δ.Ε.Η. για την εγκατάσταση των πάνελ σε δώμα αναφέρει ότι η απόσταση μεταξύ των πάνελ και της άκρης του δώματος δεν πρέπει να είναι μικρότερη των 50 εκατοστών. Βέβαια ακόμα και αν θέλουμε να εξαντλήσουμε αυτό το περιθώριο αλλά έχουμε σκιάσεις μπορούμε να ανυψώσουμε τις μεταλλικές βάσεις στο ύψος που θέλουμε.

Προτέρημα του συγκεκριμένου χώρου είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχουν σκιάσεις από εξωγενείς παράγοντες αλλά και ότι ο ορίζοντας είναι «καθαρός» δηλαδή δεν θα υπάρχουν απώλειες ηλιακής ενέργειας κατά την δύση του ήλιου τις απογευματινές ώρες.



**Εικόνα 20 Βόρειο-ανατολική όψη δώματος**

Η Εικόνα 20 είναι τραβηγμένη από την βόρειο-ανατολική άκρη του δώματος και δείχνει σχεδόν όλη την επιφάνεια. Μπορούμε να διακρίνουμε την απόληξη του κλιμακοστασίου (γυάλινο κουβούκλιο), το τσιμεντένιο τοιχίο που χρησιμοποιείται σαν βάση της κεραίας και τον φωταγωγό.

Με βάση την παρατήρηση του χώρου το δώμα αυτό έχει αρκετά στοιχεία που βοηθούν να εγκατασταθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Πρώτο και σημαντικότερο είναι ότι η θέση της απόληξης του κλιμακοστασίου που βρίσκεται στο βόρειο κομμάτι δεν θα σκιάζει την εγκατάσταση μας. Ένα ακόμη θετικό στοιχείο είναι ότι η πλευρά της ταράτσας που έχει προσανατολισμό προς το νότο έχει μήκος αρκετά μέτρα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μπορεί να εγκατασταθεί μια ενιαία σειρά από πάνελ η οποία θα έχει νότιο προσανατολισμό και την επιθυμητή κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο.



**Εικόνα 21 Εμπόδια στην επιφάνεια του δώματος**

Στην Εικόνα 21 έχουμε εστιάσει σε δύο «εμπόδια» που υπάρχουν. Το πρώτο είναι ο φωταγωγός ο οποίος καλύπτει μια επιφάνεια περίπου 7μ και φυσικά δεν μπορεί να καλυφτεί. Το δεύτερο «εμπόδιο» αφορά στη διαφορά ύψους που υπάρχει στο σημείο αυτό, κάτι που θα δυσκολέψει σε ένα βαθμό την χωροθέτηση-εγκατάσταση των πάνελ. Ένα ακόμη μειονέκτημα το οποίο μπορούμε να διακρίνουμε είναι ότι ανάμεσα στο φωταγωγό και στο τοίχιο υπάρχει ένα σκαλοπάτι το οποίο χωρίζει το δώμα σε δύο κομμάτια. Το σκαλοπάτι αυτό έχει ύψος 25 εκατοστά.

Με παρατήρηση του χώρου βλέπουμε ότι υπάρχει ήδη εγκατεστημένη υγρομόνωση, επομένως θα πρέπει να κάνουμε τις απαραίτητες ενέργειες για να μην καταστραφεί και αχρηστευθεί κατά το τρύπημα για την πάκτωση των βάσεων.

Όσον αφορά τις σκιάσεις από εξωγενείς παράγοντες, παρατηρούμε ότι υπάρχουν κάποια κτίρια με μεγαλύτερο ύψος αλλά δεν βρίσκονται τόσο κοντά ώστε να έχουμε απώλειες ηλιακής ενέργειας.



**Εικόνα 22 Ανατολική όψη δώματος**

Στη Εικόνα 22 η φωτογραφία δείχνει το ανατολικό κομμάτι του δώματος. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν κάποια κτίρια και δέντρα τα οποία είναι πιθανόν να «κρύβουν» τον ήλιο για κάποια λεπτά τις πρώτες πρωινές ώρες. Βέβαια για να μπορέσουμε να εξακριβώσουμε τί ποσοστό της ηλιακής ενέργειας χάνεται από σκιάσεις εντός ή εκτός του δώματος θα χρησιμοποιήσουμε πρόγραμμα εξομοίωσης.

Τέλος, η καμινάδα που φαίνεται στο αριστερό μέρος της φωτογραφίας δεν εμποδίζει καθώς βρίσκεται στο βόρειο κομμάτι.

Αφού μετρήσουμε τις διαστάσεις του δώματος στη συνέχεια θα μετρήσουμε την αντίσταση της υπάρχουσας γείωσης και εφόσον δεν μας ικανοποιεί (όπως συμβαίνει συνηθέστερα) θα πρέπει να διερευνήσουμε τον χώρο όπου θα κατασκευάσουμε τον γειωτή.



**Εικόνα 23 Διαθέσιμος χώρος τοποθέτησης γειωτή**

Στη Εικόνα 23 βλέπουμε τον χώρο όπου θα κατασκευαστεί ο νέος γειωτής για την προστασία της εγκατάστασης μας. Ο χώρος είναι αρκετά μεγάλος και έτσι τα ηλεκτρόδια μπορούν να τοποθετηθούν στις επιθυμητές αποστάσεις μεταξύ τους για να επιτευχθεί η τιμή της ωμικής αντίστασης που επιθυμούμε.

Η τελευταία επιλογή που πρέπει να γίνει είναι η θέση εγκατάστασης του μετατροπέα και των πινάκων ελέγχου. Αφού εξετάσαμε διάφορες θέσεις καταλήξαμε στην τοποθέτηση δίπλα στους μετρητές της Δ.Ε.Η. οι οποίοι βρίσκονται στο υπόγειο του κτιρίου που χρησιμοποιείται και σαν γκαράζ. Η επιλογή αυτής της θέσης έγινε για να εξασφαλιστεί η ομαλή «πορεία» κυρίως του αγωγού σύνδεσης του πίνακα εναλλασσόμενου ρεύματος με το μετρητή της Δ.Ε.Η. αλλά και γιατί εξασφαλίζουμε έτσι ότι δεν είναι εύκολα προσβάσιμος από τρίτους.

Μετά την αναλυτική εποπτεία του χώρου και την καταγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του έχουμε όλα τα απαραίτητα «εφόδια» για να προχωρήσουμε στην χωροθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ, την επιλογή του εξοπλισμού και την δημιουργία της τεχνο-οικονομικής προσφοράς στην οποία θα περιλαμβάνεται και ο υπολογισμός της παραγωγής σε Kwh για τα επόμενα 25έτη.

### **2.2.2. Προμελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης**

Μετά την επιθεώρηση στο δώμα και γενικότερα στο κτίριο είμαστε σε θέση να κάνουμε την επιλογή μας στο πάνελ και στον αναστροφέα που θα

χρησιμοποιήσουμε αλλά και στα υπόλοιπα υλικά που θα χρειαστούν για να υλοποιηθεί η εγκατάσταση.

Το επόμενο βήμα είναι να φτιάξουμε την οικονομοτεχνική μας προσφορά και να την παραδώσουμε στον πελάτη, ο οποίος μας έχει δώσει ένα οικονομικό περιθώριο των 30000€ (κόστος εγκατάστασης ισχύος 10KWp) μαζί με το ΦΠΑ. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στον προϋπολογισμό του έργου για να μην προκύψουν στην πορεία επιπλέον κόστη τα οποία θα επιβαρύνουν τον πελάτη.

Η επιλογή του πάνελ θα γίνει με βάση τα διαθέσιμα τετραγωνικά μέτρα της εγκατάστασης. Τις περισσότερες φορές επιλέγουμε ένα πάνελ που θα συνδυάσει μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ αλλά και λογική τιμή ανά βατ. Τα διαθέσιμα φωτοβολταϊκά πάνελ στην αγορά είναι δεκάδες και έτσι θα πρέπει να κάνουμε μια επιλογή στα πέντε πάνελ που, κατά τη γνώμη μας, μπορούν να γίνουν κομμάτι μιας αποδοτικής τεχνο-οικονομικά φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

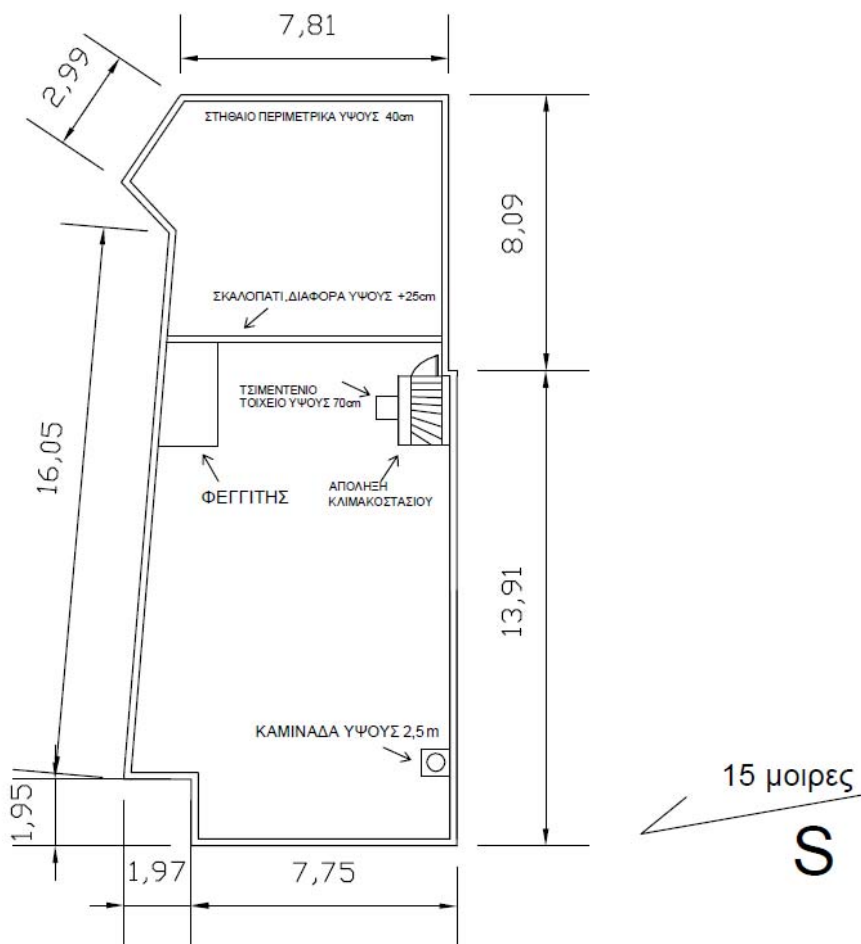
Η επιλογή του μετατροπέα εξαρτάται αποκλειστικά από τον τύπο του πάνελ που θα επιλέξουμε. Υπάρχουν μετατροπείς μονοφασικοί ή τριφασικοί με ή χωρίς μετασχηματιστή, χαμηλής ή υψηλής τάσης λειτουργίας, με μια ή παραπάνω από μια εισόδους. Έτσι η τελική μας επιλογή θα γίνει αφού καταλήξουμε στο πάνελ και λάβουμε υπόψη μας όλα τα χαρακτηριστικά του αλλά και την συνδεσμολογία των στοιχειοσειρών (σε σειρά ή παράλληλα), ενώ ρόλο θα παίζουν και πιθανές σκιάσεις που μπορεί να υπάρχουν. Υπάρχουν ειδικά λογισμικά τα οποία προμηθεύουν δωρεάν οι εταιρίες κατασκευής των μετατροπέων και μπορούμε να κάνουμε εκεί τις εξομοιώσεις μας.

Όσον αφορά τον υπόλοιπο εξοπλισμό που θα χρειαστεί για να ολοκληρωθεί η εγκατάσταση θα πρέπει να γίνει μια έρευνα αγοράς για το κόστος και αυτή να ενσωματωθεί στη προσφορά. Εκεί θα προστεθεί και το ποσό που απαιτεί η Δ.Ε.Η. για τη σύνδεση στο δίκτυο σαν οικιακός παραγωγός.

Πριν ξεκινήσουμε θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι με βάση τη νομοθεσία θα πρέπει:

- ✓ Η ελάχιστη απόσταση των πάνελ από την άκρη της ταράτσας θα πρέπει να είναι τα 50εκατοστά.
- ✓ Το μέγιστο ύψος των πάνελ δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 2,5 μέτρα.
- ✓ Δεν επιτρέπεται η τοποθέτηση πάνελ επάνω στην απόληξη κλιμακοστασίου και μηχανοστασίου (αν υπάρχουν).

- ✓ Επίσης θα πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής χώρος γύρω από τα πάνελ, για να μπορεί να γίνεται η απαραίτητη συντήρηση και έλεγχος της εγκατάστασης.



Εικόνα 24 Κάτοψη ταράτσας

#### 2.2.2.1. Επιλογή Φωτοβολταϊκού Πάνελ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω υπάρχουν δεκάδες φωτοβολταϊκά πάνελ διαθέσιμα στην ελληνική αγορά. Για τη συγκεκριμένη τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος σε δώμα στην περιοχή Θήβας κάναμε μια επιλογή από πέντε πάνελ τα οποία, κατά τη γνώμη μας, θα κάνουν πιο αποδοτική τεχνο-οικονομικά την επένδυση. Τα πάνελ αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κατασκευαστής	Μοντέλο	€/Wp	Wp	Διαστάσεις (m <sup>2</sup> )	Απόδοση Πάνελ(%)*	Προέλευση	Υλικό Κατασκευής
Suntech	STP280-24/Vd	0,85	280	1,956mx0,99m	14,4	Κίνα	Poly-Si
Schott Solar	PERFORM MONO190	0,99	190	1,62mx0,81m	17,6	Γερμανία	Mono-Si
Sanyo	HIT N240SE10	1,40	240	1,58mx0,8m	19	Ιαπωνία	Hybrid
First Solar	FS-380	0,69	80	1,2mx0,6m	-	Η.Π.Α.	CdTe
Nex Power	NT-145	0,71	145	1,42mx1,15m	-	Κίνα	μ-Si tandem

**Πίνακας 1 Παρουσίαση προτεινόμενων για την εγκατάσταση πάνελ.**

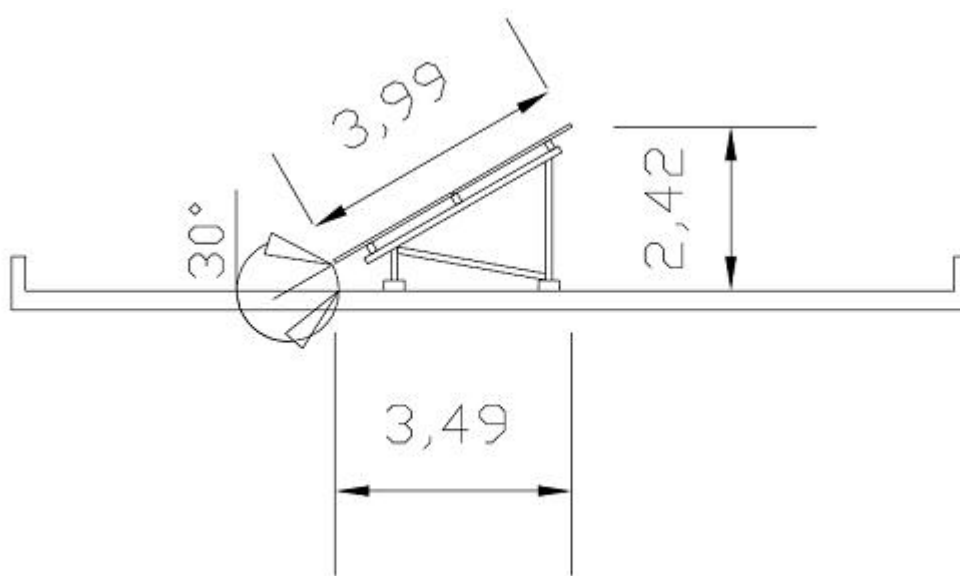
Η απόδοση του πάνελ έχει να κάνει με την ισχύ που αποδίδει σε συνάρτηση με την επιφάνεια του. Για τα υλικά CdTe και μ-Si Tandem, τεχνολογίας thinfilm οι κατασκευαστές First Solar και Nex Power δεν μας δίνουν απόδοση.

- ❖ Μια σύντομη «γνωριμία» με τα προτεινόμενα 5 για την εγκατάσταση πάνελ:
  - Η Suntech κατέχει τη μεγαλύτερη παραγωγή φωτοβολταϊκών πάνελ παγκοσμίως και έτσι είναι σε θέση να προσφέρει ένα πολυκρυσταλλικό πάνελ με ισχύ 280Wp και 0,85€/W.
  - Το πάνελ Schott τοποθετήθηκε στη λίστα λόγω της Γερμανικής προέλευσης του. Αρκετοί ζητούν πάνελ που να κατασκευάζονται στη Γερμανία και το Schott είναι ένα από αυτά. Μονοκρυσταλλικό πάνελ με αρκετά υψηλή τιμή σε σχέση με την ισχύ που αποδίδει, αλλά και με παρόμοια πάνελ της ίδιας ισχύος.
  - Το πάνελ SANYO HIT είναι κατάλληλο πάνελ για εγκαταστάσεις με περιορισμένα διαθέσιμα τ.μ. και αυτό αντικατοπτρίζεται στην υψηλή απόδοση(19%) του. Παρόλα αυτά ελάχιστοι το επιλέγουν λόγω του πολύ υψηλού κόστους. Το υλικό του είναι συνδυασμός μικροκρυσταλλικού πυριτίου (μ-Si) και άμορφου πυριτίου (a-Si).
  - Για το πάνελ First Solar παρατηρούμε ότι είναι το φθηνότερο στη λίστα μας. Ακόμα, όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό κομμάτι, το υλικό CdTe (τελουριούχο κάδμιο) αποδίδει σε KWh περίπου 10% επιπλέον από τα

υπόλοιπα πάνελ της λίστας μας. Το μεγάλο του μειονέκτημα όμως είναι η ισχύς(80Wp) κάτι που σημαίνει ότι για μια εγκατάσταση 10KW χρειάζονται 125 πάνελ.

- Το τελευταίο πάνελ στη λίστα μας είναι το Nex-Power τεχνολογίας  $\mu$ -Si tandem. Η τεχνολογία thinfilm αποδίδει περίπου 3% επιπλέον από τα πολυκρυσταλλικά πάνελ λόγω του ότι μπορεί και απορροφά και τις υπεριώδεις ακτίνες της ηλιακής ενέργειας κάτι που πρακτικά σημαίνει ότι παράγει και με συννεφιά. Και αυτό έχει πολύ χαμηλή τιμή αλλά μικρή ισχύ.

Για να μπορέσουμε να τοποθετήσουμε τα πάνελ στη κάτοψη μας θα πρέπει να αποφασίσουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε μονές ή διπλές σειρές και φυσικά τί κλίση θα τους δώσουμε. Από αυτά τα δύο στοιχεία και τις διαστάσεις του κάθε πάνελ θα προκύψει η προβολή του πάνελ μέσω της τριγωνομετρίας. όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα:



**Εικόνα 25 Υπολογισμοί μέσω της τριγωνομετρίας της προβολή και του ύψους της βάσης των πάνελ.**

Στην Εικόνα 25 έχουμε επιλέξει μια διπλή σειρά από το πάνελ Suntech. Όπως παρατηρούμε το μήκος των δύο πάνελ είναι 3,99μέτρα, όμως η προβολή των πάνελ στις 30 μοίρες είναι 3,49 μέτρα.

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω είμαστε σε θέση να αξιολογήσουμε ποιο από τα πάνελ είναι τεχνο-οικονομικά πιο συμφέρον για τον πελάτη μας. Όλα τα απαραίτητα στοιχεία βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Πάνελ	Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς(KW)	Τύπος Σειράς	Συνολικό Ύψος(m)	Κλίση (μοίρες)	KWh/έτος	Κόστος προ ΦΠΑ(€)
Suntech	9,8	Διπλή	2,4	30	12700	9996
Schott	9,12	Διπλή	1,9	30	11900	13224
Sanyo	9,84	Διπλή	2	30	12900	18794
First Solar	7,92	Τριπλή	2	30	11500	7366
Nex Power	5,65	Διπλή	1	20*	7410	5311

**Πίνακας 2<sup>1 2</sup> Τεχνο-οικονομικά στοιχεία των προτεινόμενων για την εγκατάσταση πάνελ**

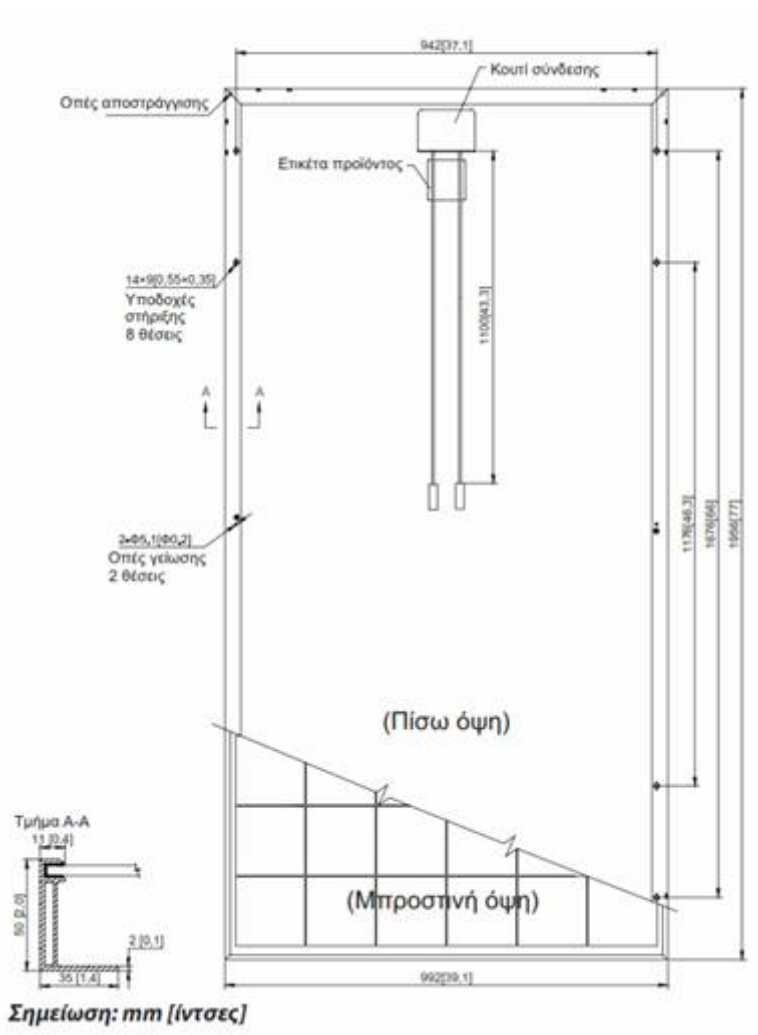
Με μια πρώτη ματιά μπορούμε εύκολα να απορρίψουμε το πάνελ NexPower το οποίο σε σχέση με τα υπόλοιπα μας δίνει πολύ χαμηλή εγκατεστημένη ισχύ. Στη συνέχεια βλέπουμε ότι το πάνελ Sanyo μας δίνει την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ (9,84KWp) και τη μεγαλύτερη παραγωγή ετησίως (12900KWh) αλλά με ένα τεράστιο κόστος το οποίο σίγουρα θα μας οδηγήσει εκτός προϋπολογισμού, επομένως και αυτό απορρίπτεται. Το πάνελ Schott μας δίνει 9,12KWp, τη 3η στη σειρά μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ αλλά και αυτό έχει μεγάλο κόστος οπότε απορρίπτεται. Το πάνελ First Solar αν και μας δίνει μικρή σχετικά εγκατεστημένη ισχύ (7,92KWp) η παραγωγή του είναι αρκετά μεγάλη λόγω του υλικού κατασκευής του (11500KWh). Αφήσαμε τελευταίο το Suntech που φαίνεται να συνδυάζει μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ, μεγάλη παραγωγή και λογικό κόστος. Μπορεί το First Solar να φαίνεται τεχνοοικονομικά καλύτερο από το Suntech όμως θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας το γεγονός ότι με το Suntech θα έχουμε στα 25 χρόνια που διαρκεί η σύμβαση με τη Δ.Ε.Η. 30000KWh μεγαλύτερη παραγωγή και επομένως μεγαλύτερη καθαρή χρηματική απόδοση κατά 13.000€ (με τιμή KWh=0,525€). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, επιλέγουμε για την εγκατάστασή μας το πάνελ Suntech.

<sup>1</sup> οι 20 μοίρες δίνονται από τον κατασκευαστή του πάνελ ως η προτεινόμενη κλίση που θα πρέπει να έχει

<sup>2</sup> Τα παραπάνω στοιχεία προήλθαν από το λογισμικό PVGIS και έχουν σαν βάση ότι η εγκατάσταση βρίσκεται στο κέντρο της Θήβας και τα πάνελ θα έχουν απόκλιση από το νότο 15 μοίρες προς τη δύση.



Εικόνα 26 Πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd



Εικόνα 27 Πίσω όψη από το Πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd

Γενικά, το πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd αποτελείται από 72 πολυκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου. Η απόδοση του πλαισίου κυμαίνεται κοντά στο 14,4%. Η εγγυημένη θετική ανοχή από 0 έως 5% διασφαλίζει την αξιοπιστία στην παραγόμενη ισχύ του. Το πλαίσιο έχει πιστοποιηθεί για αντοχή σε υψηλές πιέσεις ανέμου (3800 pascal) και μεγάλα φορτία χιονιού (5400 pascal). Ακόμα, λόγω του αντι-ανακλαστικού, υδρόφοβου στρώματος που υπάρχει βελτιώνεται η απορρόφηση του φωτός και μειώνεται η σκόνη στην επιφάνεια. Τέλος, όλα τα πλαίσια ταξινομούνται και συσκευάζονται με βάση το ρεύμα, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος σε ποσοστό έως 2% κι επομένως την αύξηση της ισχύος του συστήματος.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά, ηλεκτρικά, μηχανικά, θερμοκρασίας και καμπύλη ρεύματος τάσης & Ισχύος Τάσης για το πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd.

STC(πρότυπες συνθήκες δοκιμών) <sup>3</sup>	STP280-24/Vd
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	35,2V
Βέλτιστο Ρεύμα Λειτουργίας (Imp)	7,95A
Τάση Ανοιχτού Κυκλώματος (Voc)	44,8V
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης (Isc)	8,33A
Μέγιστη Ισχύς σε συνθήκες STC (Pmax)	280Wp
Απόδοση ΦΒ πλαισίου	14,4%
Θερμοκρασία Λειτουργίας Πλαισίου	-40C έως +85C
Μέγιστη τάση συστήματος	1000VDC(IEC)
Μέγιστο ρεύμα ασφαλειών σειράς	20A
Ανοχή Ισχύος	0/+5%
NOCT <sup>4</sup>	STP280-24/Vd
Μέγιστη ισχύς σε NOCT (Pmax)	204W
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	32V
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (Imp)	6,39A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (Voc)	40,8V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)	6,74A

**Πίνακας 3 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd**

<sup>3</sup> Ένταση ακτινοβολίας 1000W/m<sup>2</sup>, θερμοκρασία πλαισίου 25°C, AM=1,5

<sup>4</sup> Ένταση ακτινοβολίας 800W/m<sup>2</sup>, θερμοκρασία πλαισίου 20°C, AM=1,5, Ταχύτητα ανέμου 1m/s

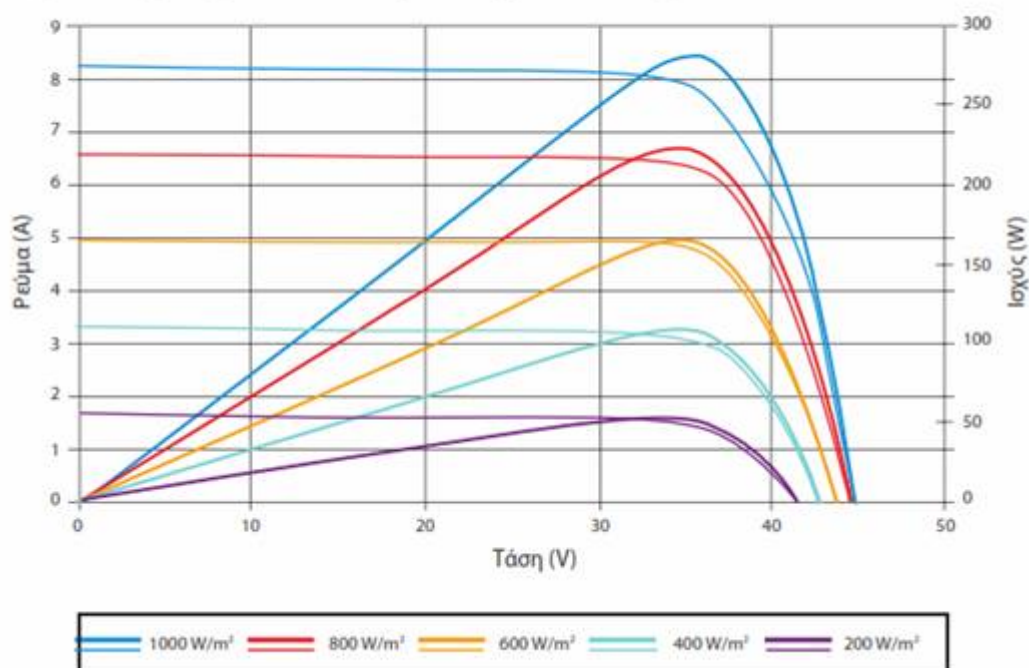
Φωτοβολταϊκή Κυψέλη	Πολυκρυσταλλική 156x156mm
Αριθμός Κυψελών	72(6x12)
Διαστάσεις	1956x992x50mm
Βάρος	27 κιλά
Εμπρόσθιο Γυαλί	Σκληρυμένο γυαλί πάχους 4mm
Πλαίσιο	Κράμα Ανοδιωμένου Αλουμινίου
Κουτί Σύνδεσης	Κλάσης IP67
Καλώδια Εξόδου	TUV, UL4703, UL44 4mm <sup>2</sup> , συμμετρικά μήκη 1100mm
Βύσματα	Ενσωματωμένα Βύσματα RADOX SOLAR με κλειδωμα συστροφής

Πίνακας 4 Μηχανικά Χαρακτηριστικά του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd

Ονομαστική Θερμοκρασία λειτουργίας κυψέλης (NOCT)	45±2°C
Συντελεστής Θερμοκρασίας σε P <sub>max</sub>	-0,44%/°C
Συντελεστής Θερμοκρασίας σε V <sub>oc</sub>	-0,33%/°C
Συντελεστής Θερμοκρασίας σε I <sub>sc</sub>	-0,055%/°C

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά Θερμοκρασίας του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd

### Καμπύλη ρεύματος-τάσης & ισχύος-τάσης (280-24)



Εικόνα 28 Καμπύλη Ρεύματος τάσης &amp; Ισχύος Τάσης του πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά αναγράφονται στο φύλλο δεδομένων του πάνελ. Όταν προχωρήσουμε στη μελέτη εφαρμογής θα πρέπει να ανατρέξουμε στο εγχειρίδιο εγκατάστασης του πάνελ.

#### 2.2.2.2. Επιλογή Μετατροπέα (Inverter).

Μετά την επιλογή του πάνελ, θα πρέπει να προχωρήσουμε στην επιλογή του μετατροπέα. Στο πάνελ δεν απαιτείται γείωση του αρνητικού αγωγού σύμφωνα με το εγχειρίδιο εγκατάστασης κάτι που σημαίνει ότι δεν χρειαζόμαστε αναστροφέα με γαλβανική απομόνωση - Μετασχηματιστή. Ακόμα, επειδή η εγκατάσταση μας βρίσκεται σε δώμα έχουμε μόνο έναν προσανατολισμό στα πάνελ κάτι που σημαίνει πρακτικά ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιονδήποτε μετατροπέα (μονοφασικό ή τριφασικό) ο οποίος μπορεί να μας δώσει την ισχύ που χρειαζόμαστε (9,8KWp).

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η Δ.Ε.Η. υποχρεώνει τους παραγωγούς του ειδικού προγράμματος στεγών εάν το φωτοβολταϊκό σύστημα τους ξεπεράσει τα 5KWp η παροχή τους να είναι τριφασική. Επίσης εάν για την τριφασική τους παροχή χρησιμοποιήσουν τρεις μονοφασικούς μετατροπείς θα πρέπει η διαφορά ισχύος ανάμεσα τους να είναι  $\leq 20\%$ .

Αφού λάβουμε υπ' όψιν όλα τα παραπάνω, παρουσιάζουμε στον παρακάτω πίνακα τους τρεις μετατροπείς από τους οποίους θα κάνουμε την τελική μας επιλογή:

	<b>SMA 10000TL</b>	<b>Kostal Piko 10.1</b>	<b>SMA 3300 TL HC</b>
Φάσεις	3	3	1
Συμβατό με Suntech 280Wp	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Έλεγχος Έντασης Αγωγών Στοιχειοσειρών	ΝΑΙ (ενσωματωμένος)	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Αντιυπερτασική Προστασία Τύπου T2	Προαιρετικό (126€)	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Βαθμός Απόδοσης	97,7%	95,4%	94,6%
Κόστος μεταφοράς μετατροπέα	300€	0€	300€
Κόστος Μετατροπέα προ ΦΠΑ	2423€	1990€	1037*3€
Συνολικό Κόστος	3349€	2447€	4195€

**Πίνακας 6 Προτεινόμενοι Μετατροπείς και χαρακτηριστικά τους για την εγκατάσταση πάνελ**

Στη συνέχεια δίνουμε μία αναλυτική ερμηνεία των τεχνικών χαρακτηριστικών των μετατροπέων

- **Συμβατό με Suntech 280Wp:** Σημαίνει ότι το σύστημα μας (35 πάνελ \*280Wp= 9,8KWp) μπορεί να διαστασιολογηθεί σύμφωνα με τις οδηγίες της Δ.Ε.Η.
- **Έλεγχος Έντασης Αγωγών Στοιχειοσειρών & Αντιυπερτασική Προστασία:** Στο κύκλωμα συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει προστασία από υπερεντάσεις και ανάστροφα ρεύματα στις στοιχειοσειρές. Ακόμα, θα πρέπει να υπάρχει και προστασία από υπερτάσεις. Όπως καταλαβαίνουμε αυτά τα εξαρτήματα θα πρέπει, αν δεν υπάρχουν στον μετατροπέα, να επιλεγθούν σωστά και να τοποθετηθούν στον πίνακα Ελέγχου Κυκλώματος Συνεχούς Ρεύματος.
- **Βαθμός Απόδοσης Μετατροπέα:** Ο βαθμός απόδοσης που δίνεται για το μετατροπέα υπολογίζεται ως η σχέση μεταξύ της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας.
- **Αντιυπερτασική προστασία:** Αρκετά συχνά θα εμφανίζονται στην εγκατάσταση μας διάφορες υπερτάσεις οι οποίες με τη βοήθεια των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων δεν θα δημιουργήσουν πρόβλημα στην εγκατάστασή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν παραπάνω φαίνεται ότι οι δύο τριφασικοί μετατροπέες υπερτερούν από τους τρεις μονοφασικούς από πλευράς κόστους.

Το μοναδικό πλεονέκτημα που έχουν οι μονοφασικούς μετατροπέες είναι ότι αν υποστεί κάποια βλάβη ο ένας από τους τρεις τότε οι άλλοι δύο θα συνεχίζουν να λειτουργούν κανονικά και να παράγουν ενώ στην περίπτωση του τριφασικού δεν θα έχουμε καθόλου παραγωγή. Ανάμεσα στους δύο τριφασικούς παρατηρούμε ότι ο Kostal Piko 10.1 είναι φθηνότερος κατά 900€ περίπου από τον SMA 10000TL. Ο

μετατροπέας της SMA έχει στην ουσία ενσωματωμένο σχεδόν όλο τον πίνακα συνεχούς ρεύματος εκτός από τον απαγωγό κρουστικών υπερτάσεων τύπου T1 (για κρουστικά ρεύματα). Ο Βαθμός απόδοσης είναι λίγο μεγαλύτερος από τον Kostal Piko (2,3%). Η διαφορά στην τιμή τους είναι αρκετά μεγάλη (1000€ περίπου) επομένως είναι αποτρεπτικός παράγοντας για να επιλέξουμε τον μετατροπέα της SMA. Έτσι η επιλογή μας είναι ο Kostal Piko 10.



Εικόνα 29 Μετατροπέας Kostal Piko 10,1

Ο μετατροπέας Kostal Piko 10,1 είναι γερμανικής προέλευσης και ο κατασκευαστής δίνει 5 χρόνια εγγύηση. Μας παρέχει ευελιξία στη σχεδίαση καθώς διαθέτει τρεις ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος αλλά και συμμετρική τριφασική έξοδο. Ακόμα διαθέτει ενσωματωμένο σύστημα τηλεμετρίας.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Kostal Piko 10.1
<b>Είσοδος DC</b>	
Μέγιστη Ισχύς DC (@ cosφ=1)	5-10% της ονομαστικής ισχύς εξόδου AC
Μέγιστη Τάση DC	950V
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	180-800V
Μέγιστο Ρεύμα DC κατά την παράλληλη σύνδεση	25A
Ελάχιστη Τάση DC/ Τάση Εκκίνησης	180V/180V
Μέγιστο Ρεύμα Εισόδου/ ανά στοιχειοσειρά	A:25A, B:12,5A , /37,5A
Αριθμός Ανιχνευτών MPP	3
<b>Έξοδος (AC)</b>	
Ονομαστική Ισχύς AC (@230V, 50Hz, cosφ=1)	10000W
Μέγιστη Φαινόμενη ισχύς AC	10000VA
Ονομαστική τάση / περιοχή τάσεων AC	3/N/PE, 230V/400V, 160V-280V
Συχνότητα Δικτύου	50Hz
Συντελεστής Ισχύος	0,9 υπερδιέγερση...0,9 υποδιέγερση
Κατηγορία προστασίας	I

Βαθμός Απόδοσης	
Euro-Eta (EBA)	96,4%

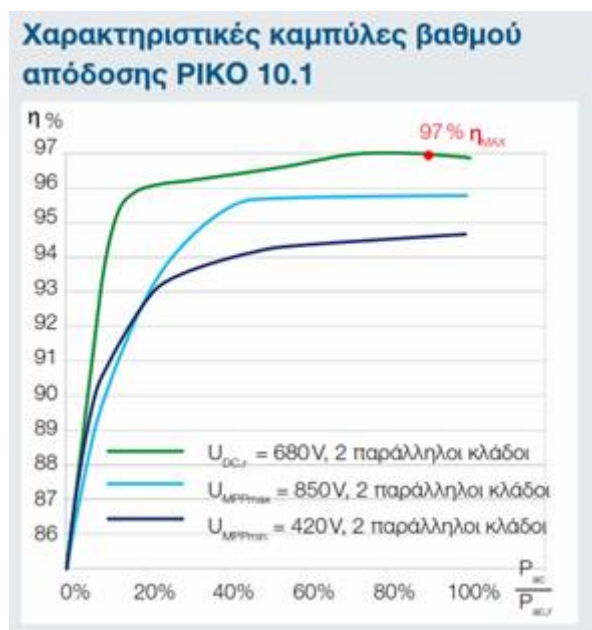
Πίνακας 7 Τεχνικά χαρακτηριστικά Μετατροπέα Kostal Piko 10.1

Γενικά Χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις (Π/Υ/Β) σε mm	520/230/450
Βάρος	34Kg
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20oC...+60oC
Εκπομπή θορύβου	<46dB
Ίδια κατανάλωση (νύχτα)	<1W
Τοπολογία	Χωρίς Μετασηματιστή
Τρόπος Ψύξης	Ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας
Συνθήκες εγκατάστασης	Εσωτερικά και εξωτερικά
Κατηγορία προστασίας IP κατά IEC 60529	IP55
Μέγιστη ατμοσφαιρική υγρασία	<95%
Τύπος σύνδεσης πλευράς εισόδου	MC4
Τύπος σύνδεσης πλευράς εξόδου	Κουμπωτή κλέμα

Πίνακας 8 Γενικά χαρακτηριστικά Μετατροπέα Kostal Piko 10.1

Διατάξεις Προστασίας
Προστασία από αντιστροφή πόλων DC
Συμμετρική τριφασική τροφοδοσία
Αποζεύκτης φορτίου DC
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς γή
Επιτήρηση δικτύου
Μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ευαίσθητη σε όλα τα ρεύματα

Πίνακας 9 Διατάξεις Προστασίας Μετατροπέα Kostal Piko 10.1



Εικόνα 30 Χαρακτηριστικές καμπύλες βαθμού απόδοσης Piko 10.1

Όπως και με το πάνελ έτσι και εδώ στην μελέτη εφαρμογής θα προχωρήσουμε στην ανάγνωση του εγχειρίδιου εγκατάστασης.

### 2.2.2.3. Προϋπολογισμός Έργου

Μετά την επιλογή του πάνελ και του μετατροπέα και έχοντας κάνει την λεπτομερή επιθεώρηση στον χώρο της εγκατάστασης είμαστε σε θέση να φτιάξουμε τον προϋπολογισμό του έργου και να παρουσιάσουμε την τεχνο-οικονομική προσφορά μας στον πελάτη ο οποίος μας έχει θέσει το οικονομικό όριο των 30.000€.

Αρχικά πρέπει να προϋπολογίσουμε το κόστος των μεταλλικών βάσεων που θα στηρίξουμε τα πάνελ. Δεν χρειάζεται να κάνουμε εμείς το σχεδιασμό των βάσεων από το μηδέν, αλλά αρκεί να στείλουμε στις εταιρίες κατασκευής την κάτοψη της εγκατάστασης και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ. Στο έργο θα παραλάβουμε όλα τα μεταλλικά εξαρτήματα και θα χρειαστεί να τα συναρμολογήσουμε και στη συνέχεια να στηρίξουμε τις βάσεις στην πλάκα της ταράτσας.

Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε το κόστος των αγωγών συνεχούς ρεύματος οι οποίοι θα συνδέουν τις στοιχειοσειρές με τον μετατροπέα, σε αυτό το κόστος θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η σωλήνωση των αγωγών.

Το ίδιο θα πρέπει να γίνει και με τους αγωγούς εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου NYΥ οι οποίοι θα συνδέσουν τον αναστροφέα με τον πίνακα Χ.Τ και από εκεί θα γίνει η σύνδεση με το μετρητή της Δ.Ε.Η.

Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη στον προϋπολογισμό και τους πίνακες ελέγχου. Στο εμπόριο υπάρχουν κάποιοι τυποποιημένοι πίνακες, όμως είναι καλύτερα να σχεδιάσουμε εμείς τον πίνακα έτσι όπως τον θέλουμε και να προβούμε στη συναρμολόγησή του.

Επίσης θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα σύστημα τηλεπαρακολούθησης του συστήματος μέσω του οποίου θα μπορεί ο ιδιοκτήτης να ελέγχει ανά πάσα στιγμή την παραγωγή του συστήματος καθώς και την ομαλή λειτουργία του.

Ένα σημαντικό κόστος θα προκύψει από την κατασκευή του νέου γειωτή της εγκατάστασης και την αντικεραυνική προστασία της (αν χρειαστεί).

Θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και το κόστος από τη μεταφορική εταιρία που θα αναλάβει να μεταφέρει τα πράγματα από την Αθήνα στη Θήβα και του γερανού που θα ανεβάσει τα πράγματα στο δώμα ενώ θα πρέπει να συμπεριλάβουμε και ένα ποσό για κάποια αναλώσιμα υλικά που θα χρειαστούν κατά την εγκατάσταση.

Τέλος θα υπολογίσουμε το κόστος της εργασίας, τα μεταφορικά έξοδα του συνεργείου εγκατάστασης (Αθήνα-Θήβα) και την αμοιβή της εταιρείας ανάληψης της εγκατάστασης.

<b>Υλικό</b>	<b>Κόστος</b>
35 πάνελ SUNTECH STP280-24/Vd	7938€ (0,85€/W)
1 αναστροφέας Kostal Piko 10,1	1990€
Μεταλλικές Βάσεις Στήριξης των πάνελ	2500€
Καλωδίωση DC(αγωγοί+σωλήνωση)	150€
Καλωδίωση AC(αγωγοί+σωλήνωση)	100€
Γείωση και Αντικεραυνική προστασία	1500€
Πίνακας Συνεχούς Ρεύματος	350€
Πίνακας Εναλλασσόμενου Ρεύματος	450€
Σύστημα Τηλεπαρακολούθησης	300€
Μεταφορές & Γερανός	750€
Διάφορα	150€
Μεταφορικά	200€
Εργασία	2000€
Μελέτη	350€
Σύνολο (προ Φ.Π.Α 23%)	20637€
Έξοδα Δ.Ε.Η.	800€
Φ.Π.Α 23%	4931€
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΟΥ</b>	<b>26368€</b>

**Πίνακας 10 Προϋπολογισμός Έργου**

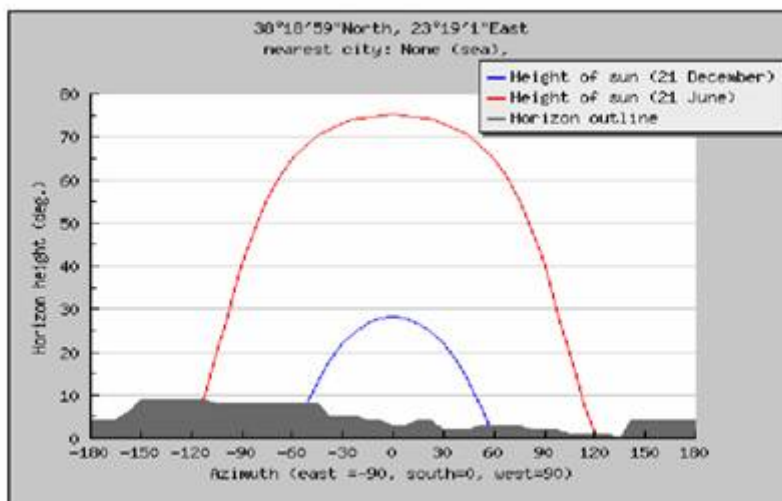
Επομένως όπως βλέπουμε με βάση τον προϋπολογισμό βρισκόμαστε μέσα στο περιθώριο των 30000€ που μας έδωσε ο πελάτης

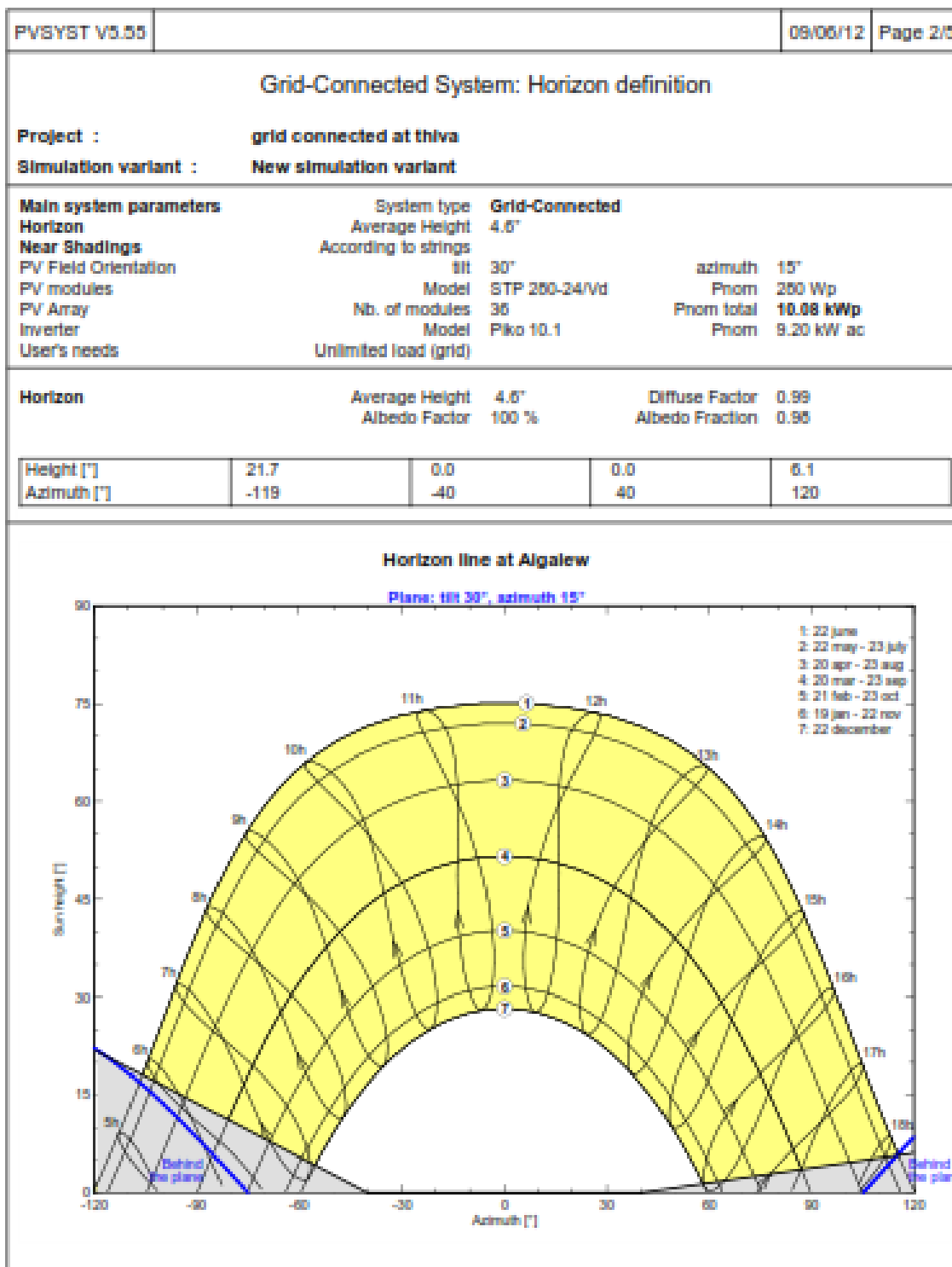
#### 2.2.2.4. Μελέτη Ενεργειακής Απόδοσης

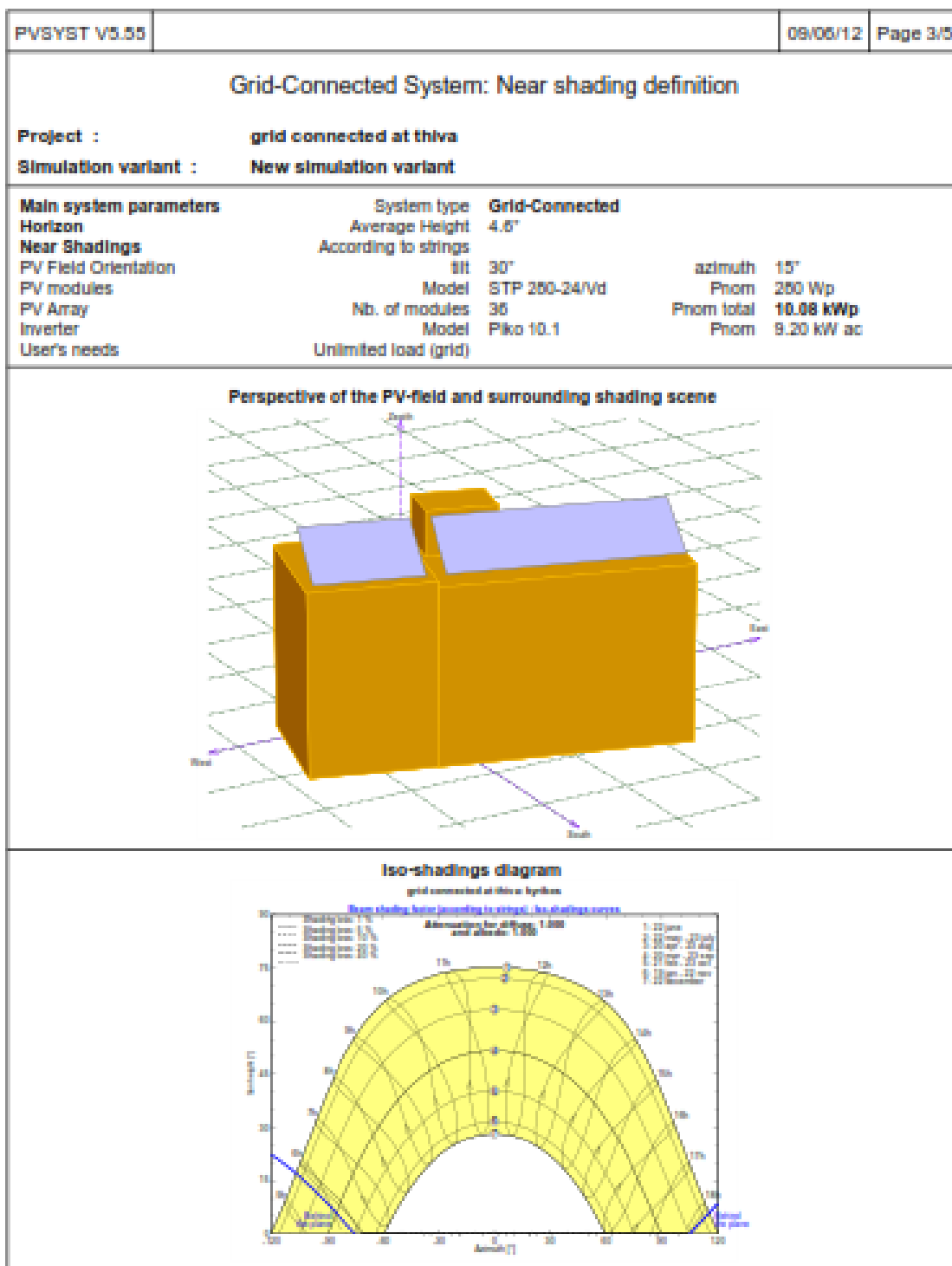
Στην τεchnο-οικονομική προσφορά που θα παρουσιάσουμε στον πελάτη θα πρέπει να έχουμε ενσωματωμένη και την παραγωγή της φωτοβολταϊκής του μονάδας κατά τη διάρκεια της 25ετούς σύμβασης που θα κάνει με τη Δ.Ε.Η., αλλά και την απόδοση της επένδυσης που θα κάνει σε ευρώ. Έτσι θα κάνουμε εξομοίωση της εγκατάστασης στο λογισμικό PVSYST και θα αντλήσουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα από το διαδίκτυο και την ιστοσελίδα PVGIS.

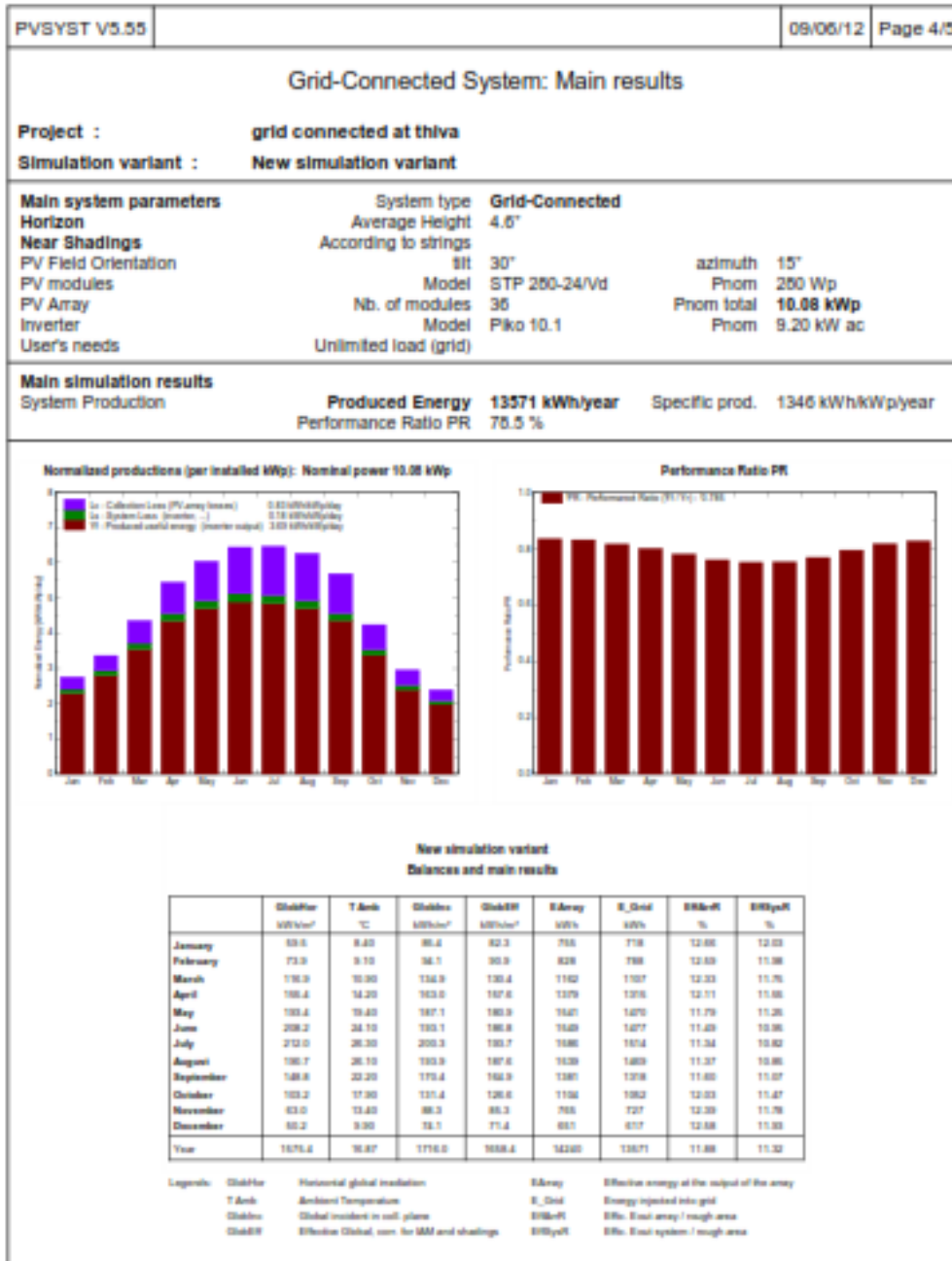
Τα παρακάτω διαγράμματα προέκυψαν αφού εισάγαμε τις παραμέτρους που μας ζήτησε το λογισμικό δηλαδή τη θέση της εγκατάστασης, την χωροθέτηση, τα πάνελ, τον μετατροπέα, τις πιθανές σκιάσεις που υπάρχουν και τον ορίζοντα.

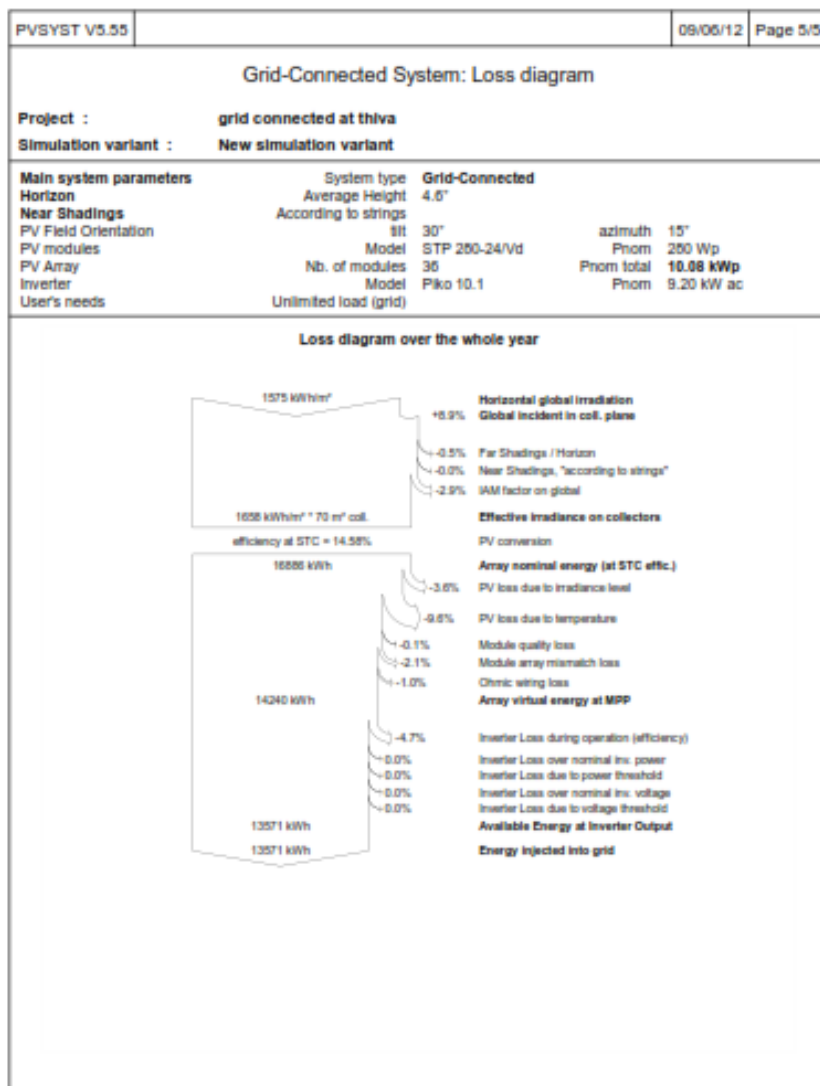
PVSYST V5.55		09/06/12	Page 1/5
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>grid connected at thiva</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Thiva</b>	<b>Country</b>	<b>Greece</b>
<b>Situation</b>	Latitude 35.3°N	Longitude	23.3°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+1	Altitude	150 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data :</b>	Thiva, Synthetic Hourly data		
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	Simulation date	09/06/12 20h40	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 30°	Azimuth	15°
<b>Horizon</b>	Average Height	4.6°	
<b>Near Shadings</b>	According to strings	Electrical effect	100 %
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	SI-poly	Model	<b>STP 280-24/Vd</b>
	Manufacturer	Suntech	
Number of PV modules	In series	18 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	36	Unit Nom. Power 280 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>10.08 kWp</b>	At operating cond. 9.04 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	555 V	I mpp 15 A
Total area	Module area	<b>69.9 m²</b>	
<b>Inverter</b>	Model	<b>Piko 10.1</b>	
	Manufacturer	Kostal	
Characteristics	Operating Voltage	150-550 V	Unit Nom. Power 9.20 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind=1 m/s.)			NOCT 56 °C
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	640 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 0.1 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	
		bo Parameter 0.05	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		











**Εικόνα 31** Αποτελέσματα εξομοίωσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω του λογισμικού PVSYST

2.2.2.5. Απόδοση Επένδυσης:

Σύμφωνα με το πρόγραμμα εξομοίωσης η απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι 1346KWh/KWp. Η πορεία της επένδυσης σε «ορίζοντα 25ετίας» φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	<b>Απόδοση των πάνελ(%)</b>	<b>KWh/χρόνο</b>	<b>Έσοδα/Χρόνο(€)</b>	<b>τιμή KWh</b>	<b>Επένδυση(€)</b>
1ος χρόνος	100	13593	7102	0,5225	-26368
2ος χρόνος	99	13458	7085	0,5264	-19283
3ος χρόνος	98	13325	7067	0,5304	-12216
4ος χρόνος	97	13193	7050	0,5343	-5167
5ος χρόνος	96	13062	7032	0,5384	1865
6ος χρόνος	95	12933	7015	0,5424	8880
7ος χρόνος	94	12805	6997	0,5465	15877
8ος χρόνος	93	12678	6980	0,5506	22857
9ος χρόνος	92	12553	6963	0,5547	29820
10ος χρόνος	91	12428	6945	0,5588	36765
11ος χρόνος	90	12305	6928	0,5630	43694
12ος χρόνος	89	12183	6911	0,5673	50605
13ος χρόνος	88	12063	6894	0,5715	57499
14ος χρόνος	87	11943	6877	0,5758	64376
15ος χρόνος	86	11825	6860	0,5801	71236
16ος χρόνος	85	11708	6843	0,5845	78079
17ος χρόνος	84	11592	6826	0,5889	84905
18ος χρόνος	83	11477	6809	0,5933	91714
19ος χρόνος	82	11364	6792	0,5977	98506
20ος χρόνος	81	11251	6775	0,6022	105282
21ος χρόνος	80	11140	6759	0,6067	112040
22ος χρόνος	80	11140	6811	0,6113	118851
23ος χρόνος	80	11140	6862	0,6159	125714
24ος χρόνος	80	11140	6914	0,6205	132627
25ος χρόνος	80	11140	6966	0,6251	139593

**Πίνακας 11 Η πορεία της επένδυσης σε «ορίζοντα 25ετίας»**

Η απόδοση των πάνελ πέφτει κάθε χρόνο λίγο λιγότερο από 1% κάτι το οποίο φαίνεται στην δεύτερη στήλη του πίνακα. Από την εταιρία παραγωγής επίσημα μας δίνεται η εγγύηση απόδοσης η οποία εγγυάται απόδοση 95% στον πέμπτο χρόνο

λειτουργίας, 90% στο δωδέκατο χρόνο λειτουργίας, 85% στον δέκατο όγδοο και 80% στον εικοστό πέμπτο.

Οι κιλοβατώρες που παράγει το σύστημα ετησίως προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύς με την απόδοση (π.χ. για τον 1<sup>ο</sup> χρόνο έχουμε:  $9,8 * 1387 = 13593 \text{KWh}$ )

Τα έσοδα ετησίως προκύπτουν από το πολλαπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύς με την απόδοση και την τιμή της κιλοβατώρας που ισχύει για το τρέχον έτος (π.χ. για τον 1<sup>ο</sup> χρόνο έχουμε:  $9,8 * 1387 * 0,5225 = 7102 \text{€}$ ).

Η τιμή της κιλοβατώρας προσαυξάνεται ετησίως με το 25% του πληθωρισμού του προηγούμενου έτους. (εκτιμώμενος ετήσιος πληθωρισμός 3%).

Με βάση όλα όσα έχουμε αναφέρει παραπάνω είμαστε έτοιμοι να παραδώσουμε στον πελάτη μια πλήρη τεχνο-οικονομική προσφορά για να εγκαταστήσει στη ταράτσα του φωτοβολταϊκό σύστημα. Είμαστε εντός του οικονομικού ορίου που μας έθεσε και εφόσον η επένδυση αυτή θα του αποφέρει περίπου 13.0000€ αφορολόγητο εισόδημα στα 25 χρόνια που υπογράφει σύμβαση με τη Δ.Ε.Η., ο πελάτης αποδέχεται τη προσφορά μας.

#### 2.2.2.6. Διαδικασίες Δ.Ε.Η.

Από τη στιγμή που ο πελάτης αποδέχεται την προσφορά μας τότε θα πρέπει να καταθέσουμε τον πλήρη φάκελο στην τοπική Δ.Ε.Η. και να ζητήσουμε όρους σύνδεσης. Τα δικαιολογητικά που χρειάζονται κατά την αρχική αίτηση στη Δ.Ε.Η. είναι τα εξής:

1. Συμπληρωμένο το έντυπο της Δ.Ε.Η. «Αίτηση για τη σύνδεση φωτοβολταϊκού συστήματος  $\leq 10 \text{KW}$  στο δίκτυο Χ.Τ.»
2. Τεχνικά Εγχειρίδια Φωτοβολταϊκών Στοιχείων.
3. Τεχνικά Εγχειρίδια και πιστοποιητικά αναστροφών.
4. Μονογραμμικό Ηλεκτρολογικό σχέδιο φωτοβολταϊκού συστήματος
5. Αντίγραφο πρόσφατου λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.
6. Κάτοψη του χώρου εγκατάστασης, όπου θα αποτυπώνεται η ακριβής θέση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
7. Αποδεικτικό του δικαιώματος χρήσης του χώρου εγκατάστασης.

8. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν.1599/86 στην οποία ο αιτών θα δηλώνει ότι:
- A) Το έργο της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκού δεν έχει ενταχθεί σε οποιοδήποτε πρόγραμμα χρηματοδότησης
  - B) Μέρος των θερμικών αναγκών σε ζεστό νερό του κτιρίου επί του οποίου εγκαθίστανται το φωτοβολταϊκό σύστημα καλύπτεται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(ηλιακός θερμοσίφωνας).
  - Γ) Όλοι ανεξαιρέτως οι συνιδιοκτήτες των οριζόντιων ιδιοκτησιών του κτιρίου έχουν εγγράφως συμφωνήσει για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος.
  - Δ) Όλα τα στοιχεία που υποβάλλω κατά την αίτηση μου είναι αληθή.

Μετά την κατάθεση του φακέλου η Δ.Ε.Η. κάνει επιθεώρηση στο κτίριο και μέσα σε 20 ημερολογιακές ημέρες είναι υποχρεωμένη να προσφέρει όρους σύνδεσης στον πελάτη οι οποίοι έχουν διάρκεια τριών μηνών. Αν ο πελάτης τους αποδεχθεί θα πρέπει να πληρώσει 800€ +ΦΠΑ23% και στη συνέχεια να υπογράψει τη σύμβαση σύνδεσης. Αν το κάνει αυτό έχει 6 μήνες να κατασκευάσει το φωτοβολταϊκό σύστημα.



ΔΠΚΕ/Περιοχή Θήβας

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ Α.Ε.

Διανομή

ΑΡ./ΗΜ.:

Φ 300/50470/4/3/2011

Πληροφορίες: Γ. Νικολός  
 Τηλέφωνο: 2252023172  
 e-mail: g.nikolof@dei.com.gr

Προς:

ΘΗΒΑ Τ.Κ 32200

3

Περίληψη: Διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 9,90 kW, στο πλαίσιο του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις. (Α.Π. 43030090-02)

Σχετικά: Η από 25/02/2011 αίτησή σας.

1. Σε απάντηση της σχετικής αίτησής σας, η οποία αφορά εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 9,90 kW, επί κτιρίου ευρισκομένου στο Σ, σας γνωστοποιούμε ότι τα αναγκαία έργα για τη σύνδεσή του με το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ είναι τα εξής:
  - 1.1 Εγκατάσταση τριφασικής ηλεκτρονικής μετρητικής διάταξης εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας.
  - 1.2 Εγκατάσταση κιβωτίου διακλαδώσεως.
  - 1.3 Αντικατάσταση του υφιστάμενου καλωδίου παροχής.
2. Η συνολική δαπάνη για τη σύνδεση του σταθμού με το δίκτυο της ΔΕΗ με την οποία θα επιβαρυνθείτε, συμπεριλαμβανομένων των γενικών δαπανών, ανέρχεται σε 1000...€ πλέον Φ.Π.Α.
3. Συμπληρωματικά σας γνωστοποιούμε ότι ως προϋπόθεση για τη σύνδεση, θα πρέπει να υλοποιηθούν τα ακόλουθα:
  - 3.1 Προστασία έναντι νησιδοποίησης κατά VDE 0126 ή ισοδύναμης μεθόδου.
  - 3.2 Προστασία απόζευξης του σταθμού όταν η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των ακόλουθων ορίων:
    - Τάση : +15% έως -20% της ονομαστικής (400/230V)
    - Συχνότητα : ± 0,5 Hz της ονομαστικής (50Hz)
 με πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων, ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:
    - θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 sec
    - επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από 3 min



Εάν κατά τη λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος διαπιστωθούν προβλήματα αρμονικών, έγχυσης συνεχούς ρεύματος στο Δίκτυο κ.λ.π., θα πρέπει να λάβετε τα



κατάλληλα μέτρα (π.χ. φίλτρα), που θα σας υποδείξει η ΔΕΗ, προς άρση των προβλημάτων αυτών.

5. Η παρούσα Προσφορά Σύνδεσης ισχύει για χρονικό διάστημα τριών (3) μηνών από σήμερα υπό την προϋπόθεση της μη μεταβολής των χαρακτηριστικών του συστήματος, όπως αυτό αναφέρεται στην ως άνω σχετική αίτησή σας.
6. Προ της υπογραφής της Σύμβασης Σύνδεσης απαιτείται η προσκόμιση της σχετικής Έγκρισης Εκτέλεσης Εργασιών μικρής κλίμακας από την αρμόδια Πολεοδομική υπηρεσία, σύμφωνα με την Υ.Α. ΥΠΕΧΩΔΕ 29107/07.07.2009 (ΦΕΚ 344/ΑΑΠ/20.07.2009).  
Για την κατάρτιση και υπογραφή της Σύμβασης θα πρέπει να υποβάλετε αίτηση στην υπηρεσία μας, στην οποία να αναφέρετε ότι αποδέχεστε την παρούσα Προσφορά Σύνδεσης, επισυνάπτοντας την ανωτέρω Έγκριση Εκτέλεσης Εργασιών μικρής κλίμακας.
7. Για την ενεργοποίηση της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματός σας με το Δίκτυο, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής των αναγκαίων έργων, θα πρέπει να δηλώσετε εγγράφως την ετοιμότητα της εγκατάστασής σας και να συνυποβάλετε τα έγγραφα και στοιχεία υπ' αριθμ. 9-11 του εντύπου αίτησης.

Η ενεργοποίηση θα γίνει αμέσως μετά την επιτυχή διενέργεια του αναγκαίου ελέγχου από τη ΔΕΗ.



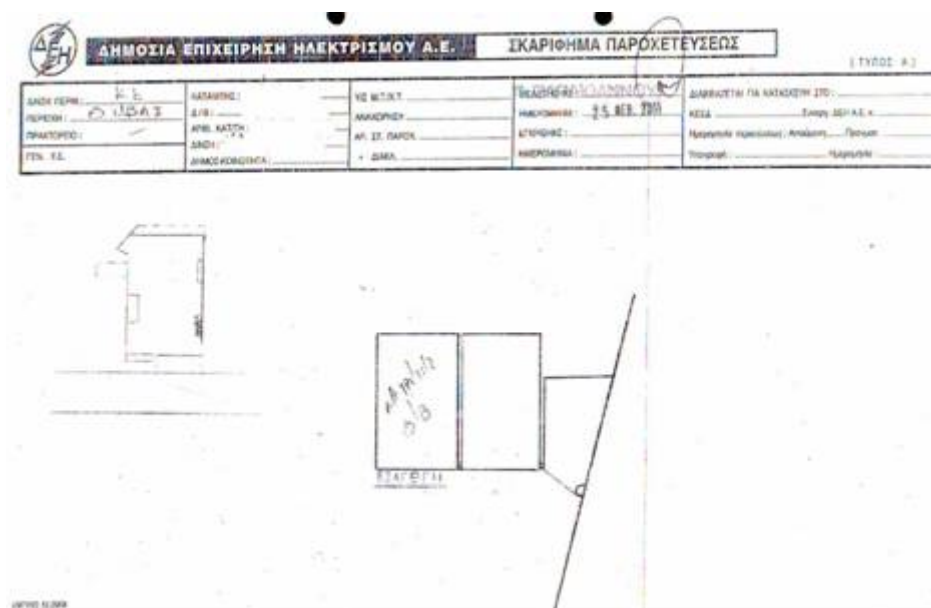
**Εικόνα 32 Διατύπωση Προσφοράς Όρων Σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η.**

Πριν την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης ο πελάτης και ο ηλεκτρολόγος μηχανικός θα πρέπει να υπογράψουν μια υπεύθυνη δήλωση στην οποία θα δηλώνουν ότι:

- A) Το κτίριο υφίσταται νόμιμα.
- B) Για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού δεν απαιτείται γνωμοδότηση της ΕΠΑΕ.
- Γ) Έχει εκπονηθεί μελέτη της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος σύμφωνα με τους κανόνες της τεχνικής καθώς και μελέτη ενεργειακής απόδοσης.
- Δ) Τηρούνται όλοι οι όροι της υπουργικής απόφασης της υπουργού ΠΕΚΑ αριθ.36720/25.8.2010 «έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς» (ΦΕΚ 376/ΑΑΠ/6.9.2010).

Μετά την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης η Δ.Ε.Η. συντάσσει την σύμβαση συμψηφισμού στην οποία ο πελάτης δέχεται η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος να συμψηφίζεται με την παραγωγή μέσω του φωτοβολταϊκού συστήματος και έτσι ο λογαριασμός που θα εκδίδεται μέσω τραπεζής θα είναι κατά πάσα πιθανότητα πιστωτικός (αν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση).

Η σύμβαση συμψηφισμού «ανοίγει το δρόμο» για την κατασκευή του έργου και η Δ.Ε.Η. δίνει ένα σκαρίφημα για το πώς θα τοποθετηθούν οι μετρητές της και με βάση αυτό θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 33 Σκαρίφημα τοποθέτησης των μετρητών της Δ.Ε.Η.

Για τη σύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος η Δ.Ε.Η. θέλει ακόμα:

Α) Υπεύθυνη Δήλωση του Ηλεκτρολόγου Μηχανικού για τη συνολική εγκατάσταση με συνημμένα: μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης και τεχνική περιγραφή του τρόπου αποφυγής του φαινομένου της νησιδοποίησης στην οποία θα αναφέρονται οι ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αναστροφέα που σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για τη τάση το 15% έως -20% της ονομαστικής τάσης ενώ για τη συχνότητα τα  $\pm 5\text{Hz}$ , καθώς επίσης και τη πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αναστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

-Θέση εκτός του αναστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα.

-Επανάζευξη του αναστροφέα μετά από 3 λεπτά.

Επίσης θα αναφέρεται ο χρόνος λειτουργίας έναντι νησιδοποίησης.

B) Υπεύθυνη δήλωση του νόμου 1599/56 στην οποία ο κύριος του φωτοβολταϊκού θα αναφέρει ότι καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν θα τροποποιηθούν οι ρυθμίσεις που δηλώθηκαν βάση των απαιτήσεων της υπεύθυνης δήλωσης του ηλεκτρολόγου μηχανικού.

Αφού ολοκληρωθούν με επιτυχία όλες οι παραπάνω γραφειοκρατικές διαδικασίες, η Δ.Ε.Η. έρχεται επί τόπου στην εγκατάσταση και αφού κάνει τους απαραίτητους ελέγχους συνδέει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο δίκτυο Χ.Τ.



## 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

#### 3.1. Στήριξη Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων επί του κτιρίου θα γίνει επάνω σε πρόσθετη μεταλλική κατασκευή, η οποία θα αγκυρωθεί στην επιφάνεια του δώματος. Το βάρος της ίδιας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και της βάσης στήριξης δεν αναμένεται να επηρεάσει τη στατική αντοχή του κτιρίου.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε ένα σύστημα στήριξης, εξασφαλίζοντας την ανεμπόδιστη και ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης σε ακραίες συνθήκες ανέμου, χιονόπτωσης, σεισμού και θερμοκρασιακών μεταβολών. Οι ακραίες αυτές συνθήκες και οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφαλείας, προδιαγράφονται στους Ευροκώδικες.

Το σύστημα στήριξης θα αποτελεί ένα αυτοτελές σύστημα τοποθετημένο στο δώμα. Το σύστημα στήριξης μπορεί να είναι είτε μεταλλικό, είτε από αλουμίνιο ή από εν θερμό γαλβανισμένο χάλυβα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να δώσουμε προσοχή στη συμβατότητα του υλικού κατασκευής με τα υπόλοιπα στοιχεία του εξοπλισμού και κατ' επέκταση στην εγκυρότητα των πιστοποιητικών στατικής επάρκειας επί του συνόλου της εγκατάστασης. Ακόμα ο τρόπος σύσφιξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να είναι σύμφωνος με τις προδιαγραφές τους.

Τέλος όσον αφορά στη σύνδεση του συστήματος στήριξης με το δώμα θα πρέπει να εφαρμοστεί κατάλληλη αγκύρωση. Αυτή θα γίνει με τη χρήση εκτωνούμενων αγκυρίων και για να μην τραυματιστεί η μόνωση θα τοποθετηθεί στις οπές χημικό αγκύριο.



**Εικόνα 34 Μεταλλική βάση στήριξης πλαισίων σε δώμα**

Η εταιρία που εξειδικεύεται στις κατασκευές βάσεων φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η HILTI η οποία στον κατάλογο των προϊόντων της δίνει μεγάλη ποικιλία υλικών και μεγάλη ευελιξία στη κατασκευή μιας βάσης.

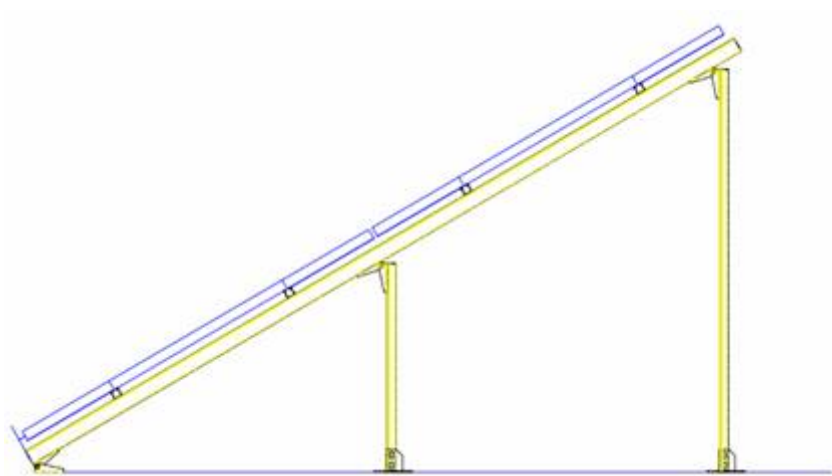
Εδώ αξίζει να αναφέρουμε ότι μπορούμε να χωροθετήσουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με οποιοδήποτε τρόπο εμείς θέλουμε, προκειμένου να πετύχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή ισχύ, λαμβάνοντας υπ' όψιν πάντα τη νομοθεσία, τη στατική αντοχή αλλά βέβαια και να μπορεί αυτή η κατασκευή να υλοποιηθεί και στη πράξη.

Στην περίπτωση μας θα χρησιμοποιήσουμε μια «διπλή» σειρά από πάνελ, η οποία θα χωρίζεται σε δύο κομμάτια λόγω της διαφοράς ύψους που έχει η ταράτσα μας. Στη κατασκευή θα προσπαθήσουμε τα δύο ξεχωριστά κομμάτια βάσεων να φαίνονται σαν ένα προφανώς για να μην σκιάζει το ένα το άλλο αλλά και σε περίπτωση που χρειαστεί να ενσωματωθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια σε μια στοιχειοσειρά να μην υπάρχει απόκλιση σε κάποια ηλεκτρικά μεγέθη διότι τότε δεν θα έχουμε τη μέγιστη απόδοση του συστήματος μας.

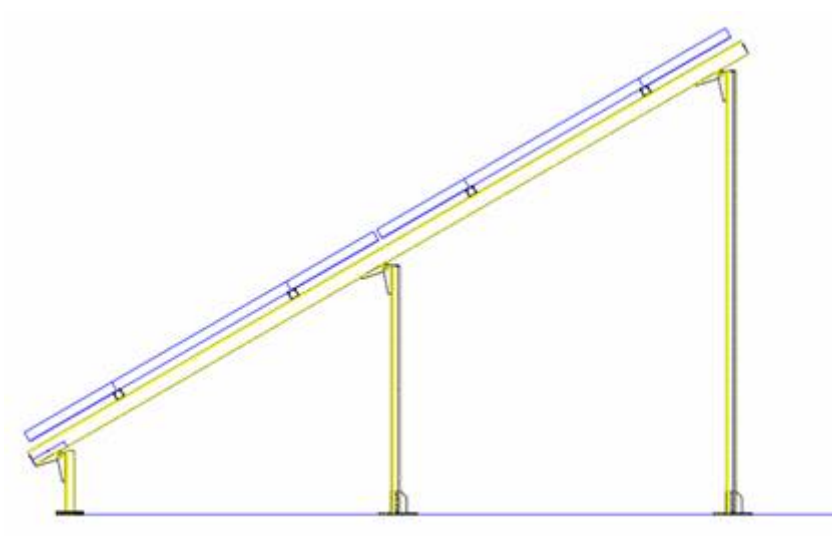
Στις επόμενες σελίδες θα αναλύσουμε ένα προς ένα τα επιμέρους εξαρτήματα των βάσεων αλλά και θα παρουσιάσουμε το τελικό κόστος της ενιαίας κατασκευής.



**Εικόνα 35 Παραδείγματα βάσεων στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων**

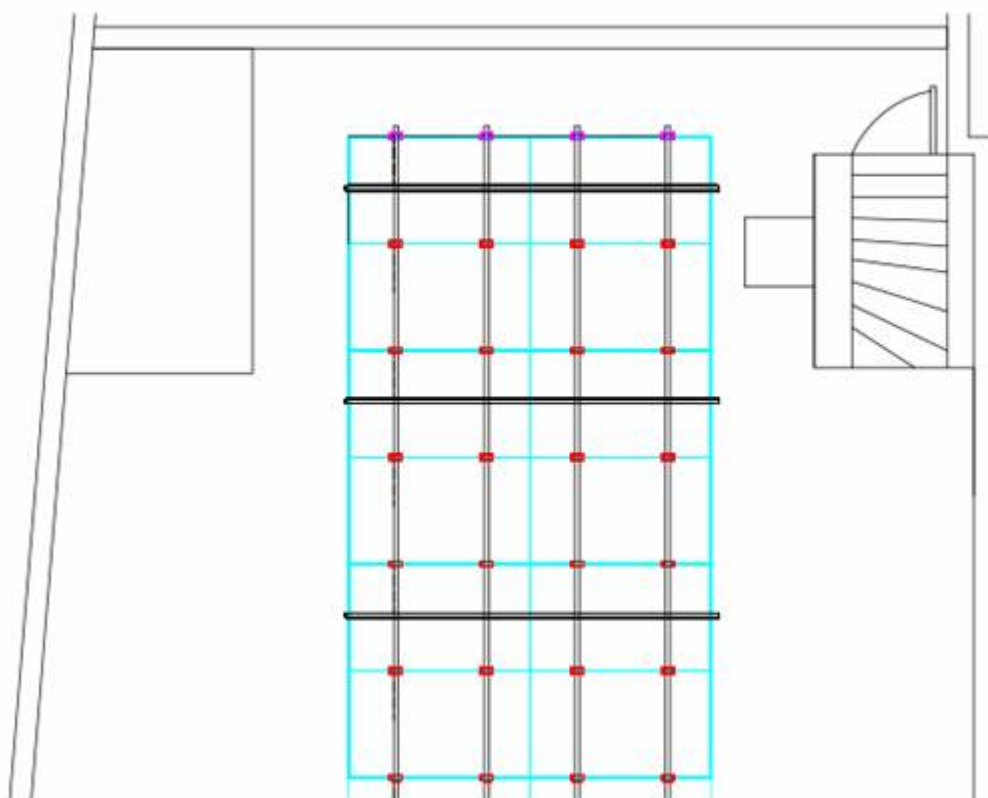


**Εικόνα 36 Πλάγια Όψη Βάσης Στήριξης χωρίς υπερύψωση**



**Εικόνα 37 Πλάγια Όψη Βάσης Στήριξης με υπερύψωση**

Με μπλε χρώμα βλέπουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία θα στηριχθούν επάνω στα τέσσερα κανάλια, μαύρου χρώματος, με τη βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων σύσφιξης τα οποία θα δείξουμε σε επόμενο σχέδιο. Τα τέσσερα κανάλια που θα εκτείνονται κατά μήκος της σειράς μας θα στηρίζονται ανά 2 μέτρα στο κανάλι χρώματος κίτρινου που βρίσκεται υπό κλίση ίδια με αυτή των πλαισίων. Με τη βοήθεια των εδράνων μεταβλητής γωνίας θα ενώσουμε τα υπό κλίση κανάλια με τα κάθετα στηρίγματα που με τη βοήθεια της βάσης καναλιών θα αγκυρώνονται άμεσα με την πλάκα. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω η αγκύρωση του μεταλλικού σκελετού της βάσης θα γίνει με τη βοήθεια εκτωνούμενων αγκυρίων. Εδώ αξίζει να αναφέρουμε ότι η περιοχή γύρω από τα αγκύρια θα λιμνάζει συχνά επομένως πέρα από την χρησιμοποίηση χημικού αγκυρίου θα πρέπει και το υλικό κατασκευής του αγκυρίου να είναι ανοξειδώτο.

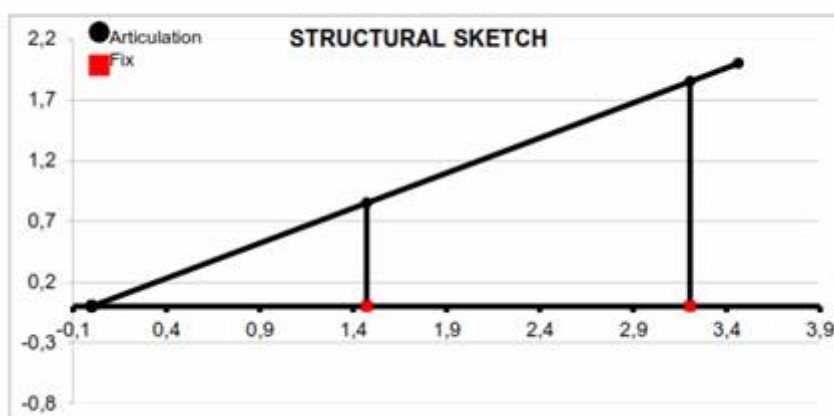


Εικόνα 38 Κάτοψη Βάσης Στήριξης

Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ενώ με μαύρο χρώμα απεικονίζονται τα κανάλια στήριξης. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα μεσαία εξαρτήματα σύσφιξης των πάνελ, ενώ με μοβ χρώμα τα ακραία εξαρτήματα σύσφιξης. Με αυτό τον τρόπο τα πάνελ στερεώνονται επάνω στο μεταλλικό τους πλαίσιο σε τέσσερα συμμετρικά σημεία.

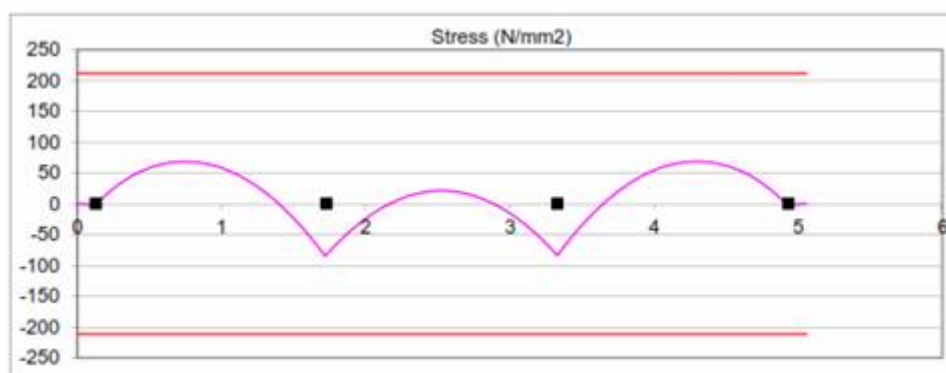
### 3.1.1. Στατικότητα Κατασκευής

Με βάση τους ευροκώδικες η περιοχή της Θήβας έχει υψόμετρο περίπου 200m, κατηγορία ανέμου 27m/s, κατηγορία χιονόπτωσης  $0,8\text{kN/m}^2$  και κατηγορία τερέν IV (πόλη). Η εταιρία HILTI μελέτησε για εμάς τη στατικότητα της κατασκευής και τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

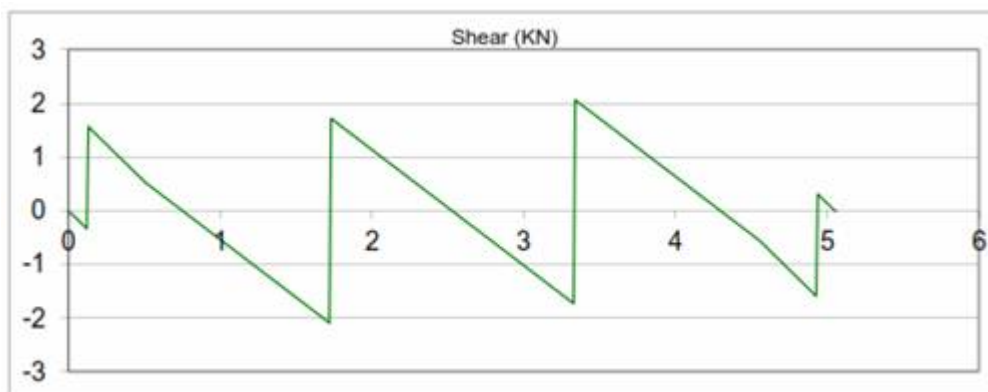


Εικόνα 39 Μεταλλική βάση χωρίς υπερύψωση

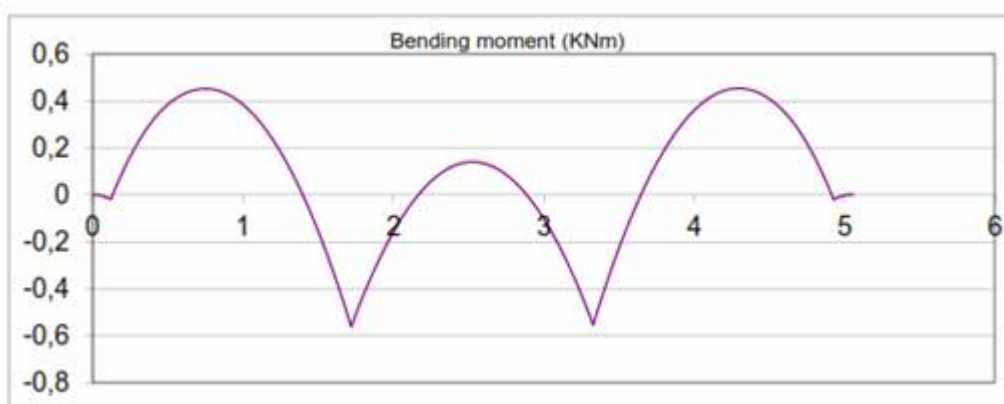
Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τη συμπεριφορά της κατασκευής σε διάφορες ακραίες καταστάσεις:



Εικόνα 40 Διάγραμμα παραμόρφωσης δοκών χωρίς υπερύψωση



Εικόνα 41 Διάγραμμα διάτμησης δοκών χωρίς υπερύψωση

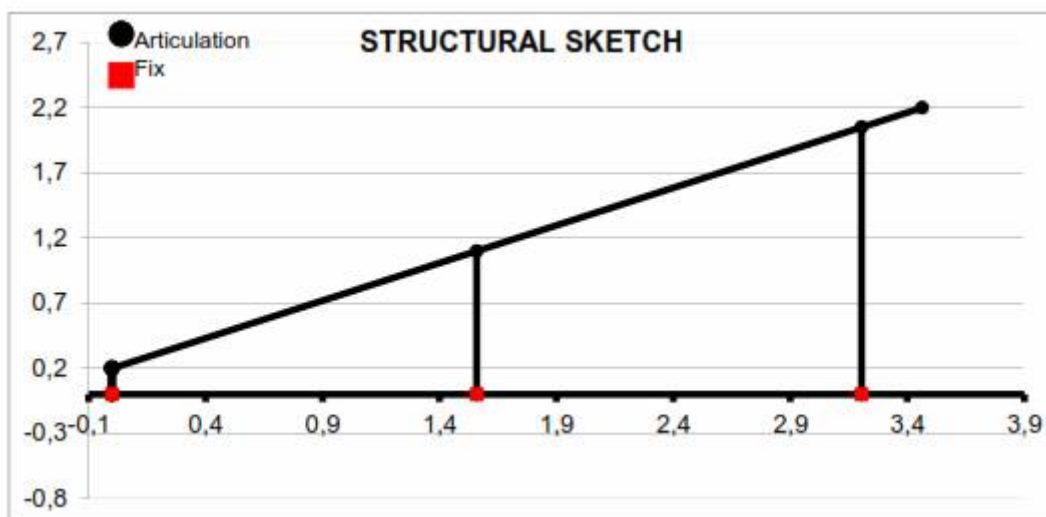


Εικόνα 42 Διάγραμμα στιγμιαίας κάμψης δοκών χωρίς υπερύψωση

Έτσι με βάση το πρόγραμμα εξομοίωσης της εταιρίας κατασκευής προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

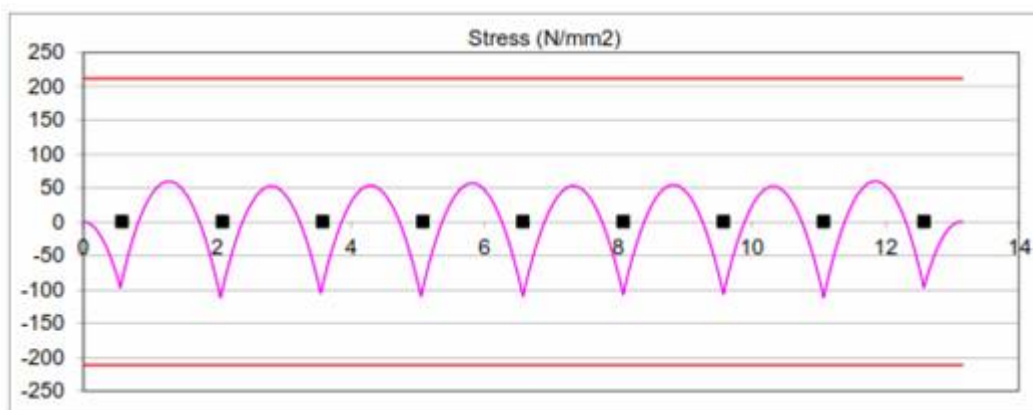
Παράμετροι ελέγχου στατικότητας της κατασκευής	Πραγματική τιμή εξομοίωσης	Επιτρεπτή τιμή ασφαλείας
$M_{act} \leq M_{adm}$	0,6132	1,5235
$\sigma_{act} \leq \sigma_{adm}$	85,13	211,5
$\tau_{act} \leq \tau_{adm}$	7,24	122,11

Πίνακας 12 Στοιχεία εξομοίωσης χωρίς υπερύψωση

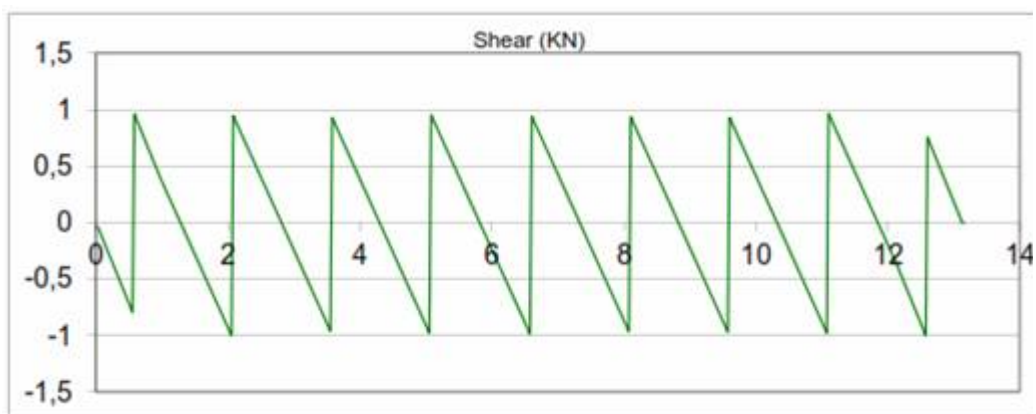


Εικόνα 43 Μεταλλική βάση με υπερύψωση

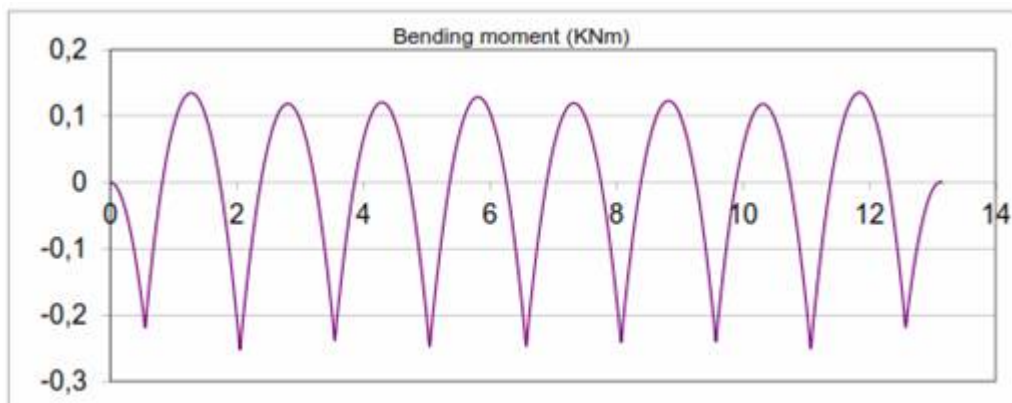
Όπως και στην κατασκευή χωρίς υπερύψωση έτσι και εδώ παρουσιάζουμε τα παρακάτω διαγράμματα:



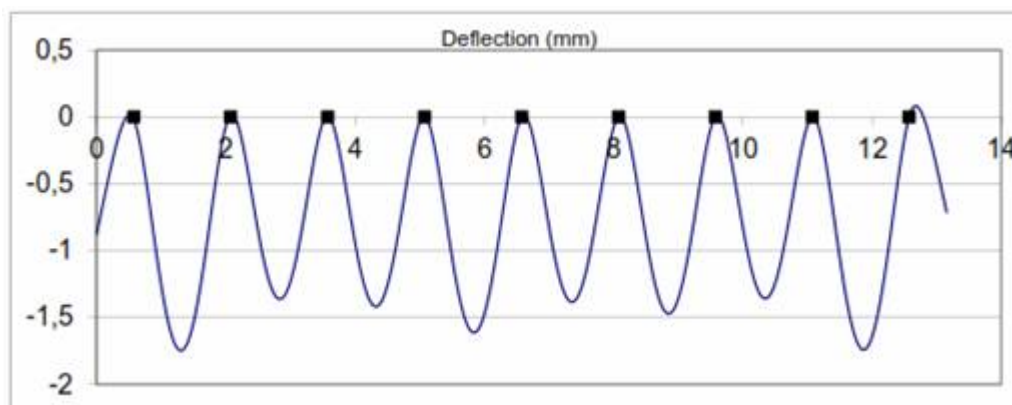
Εικόνα 44 Διάγραμμα παραμόρφωσης δοκών με υπερύψωση



Εικόνα 45 Διάγραμμα διάτμησης δοκών με υπερύψωση



Εικόνα 46 Διάγραμμα στιγμιαίας κάμψης δοκών με υπερέψωση



Εικόνα 47 Διάγραμμα στιγμιαίας κάμψης δοκών με υπερέψωση

Παράμετροι ελέγχου στατικότητας της κατασκευής	Πραγματική τιμή εξομοίωσης	Επιτρεπτή τιμή ασφαλείας
$M_{act} \leq M_{adm}$	0,2316	0,4377
$\sigma_{act} \leq \sigma_{adm}$	111,88	211,5
$\tau_{act} \leq \tau_{adm}$	7,68	122,11

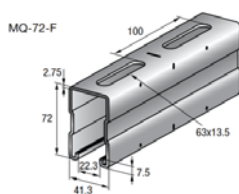
Πίνακας 13 Στοιχεία εξομοίωσης με υπερέψωση

Επομένως με βάση τα αποτελέσματα του προγράμματος εξομοίωσης η κατασκευή μας είναι απόλυτα στατική και αντέχει σε ακραία καιρικά φαινόμενα με βάση τους ευροκώδικες.

### 3.1.2. Αναλυτική Περιγραφή Εξαρτημάτων Βάσεων Στήριξης

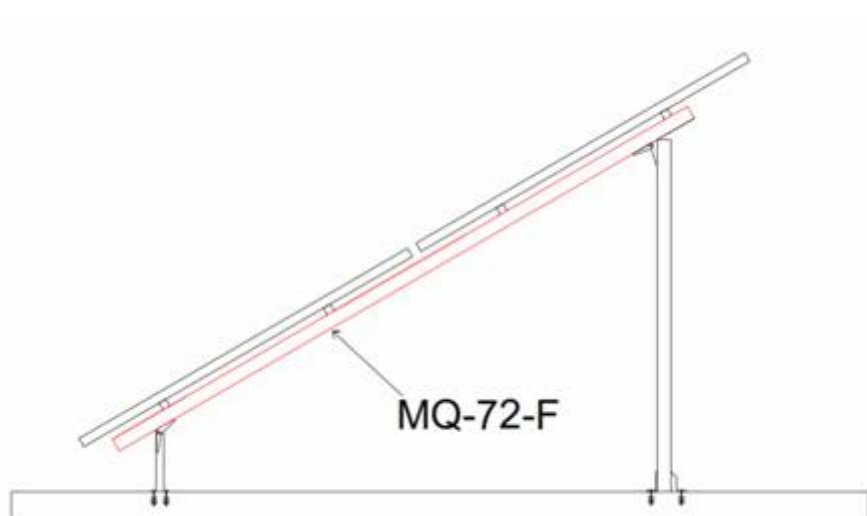
- ✓ Κανάλι MQ-72-F εν θερμό γαλβανισμένο στα 45μm

Το κανάλι MQ-72-F θα βρίσκεται υπό κλίση 30 μοιρών ως προς το δώμα και επάνω του θα βιδωθούν τα κανάλια MQ-41-F, συνολικά υπολογίζουμε ότι θα χρειαστούμε 25 τεμάχια των τριών μέτρων έκαστος.



Πάχος τοιχώματος καναλιού t(mm)	2,75
Διατομή A(mm <sup>2</sup> )	492,8
Βάρος Καναλιού(Kg/m)	4,2
Μήκος (m)	3
Επιτρεπτή τάση σ (N/mm <sup>2</sup> )	152,6

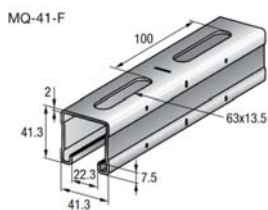
Εικόνα 48 Κανάλι MQ-72-F εν θερμό γαλβανισμένο στα 45μm



Εικόνα 49 Θέση τοποθέτησης MQ-72-F

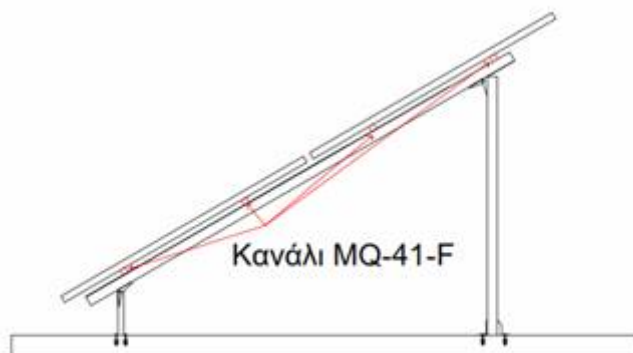
- ✓ Κανάλι MQ-41-F εν θερμό γαλβανισμένο στα 45μm

Το κανάλι MQ-41-F θα χρησιμοποιηθεί για να στηριχθούν τα πάνελ, συνολικά κατά μήκος της βάσης μας και όπως δείχνουμε και στο σχήμα θα υπάρχουν τέσσερα κανάλια τα οποία θα στηρίζονται ανά 2 μέτρα επάνω στα κανάλια MQ-72-F. Υπολογίζουμε ότι θα χρειαστούμε 25 τεμάχια των τριών μέτρων έκαστος.



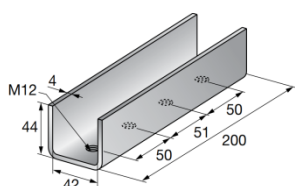
Πάχος τοιχώματος καναλιού t(mm)	2
Διατομή A(mm <sup>2</sup> )	245,1
Βάρος Καναλιού(Kg/m)	2,13
Μήκος (m)	3
Επιτρεπτή τάση σ (N/mm <sup>2</sup> )	152,6

**Εικόνα 50 Κανάλι MQ-41-F εν θερμό γαλβανισμένο στα 45μm**



**Εικόνα 51 Θέση τοποθέτησης MQ-41-F**

- ✓ Συνδετήρας καναλιού MSP-MQ-C-F



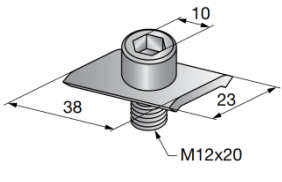
Υλικό	S235JR/DDM
Πάχος	4 mm
Γαλβάνισμα	Εν θερμώ, 45μm

**Εικόνα 52 Συνδετήρας καναλιού MSP-MQ-C-F**

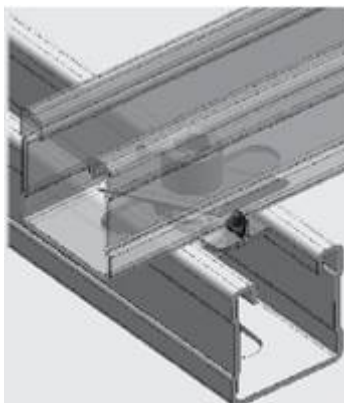
Ο συνδετήρας καναλιού MSP-MQ-C-F θα μας χρησιμεύσει για να συνδέσουμε τα κανάλια MQ-41-F, τα οποία θα πρέπει να συνδέονται κατά μήκος 25 μέτρων. Υπολογίζουμε ότι θα χρειαστούμε 30 τεμάχια ενώ οι βίδες που θα χρησιμοποιηθούν παρουσιάζονται παρακάτω.

✓ Βίδα σύνδεσης MSP-MQ-S-F

Η βίδα σύνδεσης θα μας χρησιμεύσει στις συνδέσεις μεταξύ των καναλιών μέσω του βραχίονα, αλλά μεταξύ καναλιών όπως φαίνεται στη παρακάτω φωτογραφία. Ακόμα θα μας χρησιμεύσει για τη σύνδεση των καναλιών με το έδρανο μεταβλητής γωνίας. Η παραγγελία μας εδώ θα είναι 100 τεμάχια.

	Υλικό	S235JR/DDM
	Κεφαλή Βίδας	Άλεν 10mm AF
	Διαστάσεις Βίδας	M12x20
	Γαλβάνισμα	Εν θερμό, 45μm
	Ροπή σύσφιξης Md	40Nm

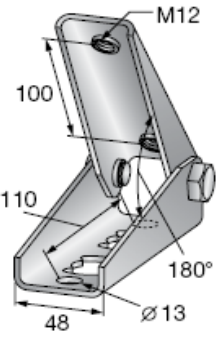
Εικόνα 53 Βίδα σύνδεσης MSP-MQ-S-F



Εικόνα 54 Θέση τοποθέτησης βίδας σύνδεσης MSP-MQ-S-F

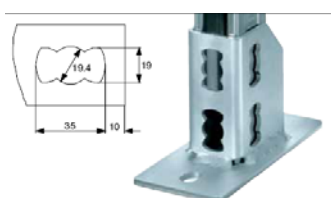
✓ Έδρανο μεταβλητής γωνίας MSP-MQ-HC-F

Το έδρανο θα χρησιμοποιηθεί για να συνδέσουμε τα κανάλια μεταξύ τους αλλά και για ρυθμίσουμε την ενιαία βάση μας στις 30 μοίρες χρησιμοποιώντας 22 τεμάχια.

	Υλικό	MSP-MQ-HC-F
	F για γωνίες από 30 έως 45 μοίρες	7kN
	Ροπή Σύσφιξης Md ανά παξιμάδι MQN-F	40 Nm
	Ροπή Σύσφιξης Md ανά βίδες MSP-MQ-S-F	40 Nm

**Εικόνα 55 Βάση Καναλιού MQ-72,41-F**

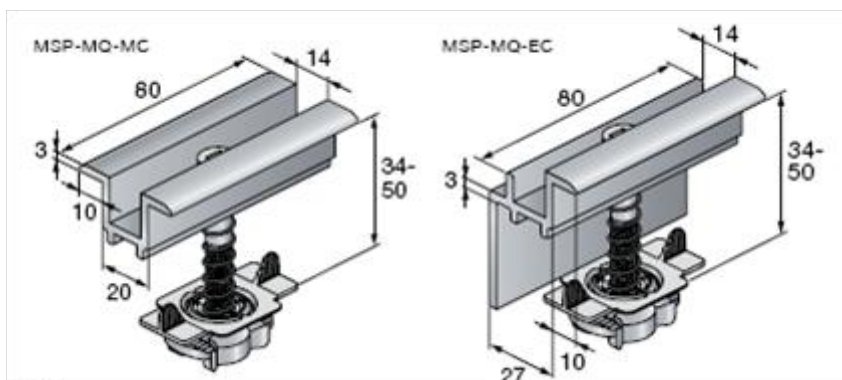
Η βάση καναλιού θα «αγκαλιάσει» τα κάθετα κανάλια τύπου MQ-41-F που βρίσκονται στα κάθετα κομμάτια της μεταλλικής κατασκευής και μέσω των παξιμαδιών θα αγκυρωθούν στο δώμα. Θα χρειαστούμε 14 τεμάχια ενώ θα πρέπει να πούμε ότι ο κατασκευαστής αναφέρει ότι η αγκύρωση θα πρέπει να γίνει με τα ντιζοστρίφωνα τύπου MQN-F. Μετά από επικοινωνία με μηχανικό της HILTI καταλήξαμε στην επιλογή των εκτωνονούμενων αγκυρίων τύπου HSA-F για μεγαλύτερη στατικότητα.



Υλικό	MQP-21-72-F
Συνιστώμενο εφελκυστικό φορτίο Z	7,5kN
Πλήθος παξιμαδιών	MQN-F
Ροπή Σύσφιξης Md	40 Nm

**Εικόνα 56 Βάση Καναλιού MQ-72,41-F**

✓ Ενδιάμεσος και Ακραίος Σφιγκτήρας MSP-MQ



**Εικόνα 57 Ενδιάμεσος και Ακραίος Σφιγκτήρας MSP-MQ**

Οι σφικτήρες για να στηρίξουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα τοποθετηθούν επάνω στα τέσσερα κανάλια MQ-41 με βίδες τύπου M8x40. Υπολογίζουμε ότι θα χρειαστούμε 62 ενδιάμεσους σφικτήρες MSP-MQ-MC και 16 ακραίους σφικτήρες MSP-MQ-EC.

- ✓ Εκτωνούμενο Αγκύριο Γαλβανισμένο εν Θερμό για την αγκύρωση της μεταλλικής κατασκευής στο δώμα



Τύπος	HSA-F M 10x90/20
Διάμετρος	10 mm
Τεμάχια	44

**Εικόνα 58 Εκτωνούμενο Αγκύριο Γαλβανισμένο εν Θερμό για την αγκύρωση της μεταλλικής κατασκευής στο δώμα**

- ✓ Χημικό Αγκύριο για την πλήρωση των οπών και την αποκατάσταση της μόνωσης.



**Εικόνα 59 Χημικό Αγκύριο για την πλήρωση των οπών και την αποκατάσταση της μόνωσης**

Συνολικά υπολογίζουμε ότι θα χρειαστούμε τρία τεμάχια των 330ml.

Σε συνέχεια της επικοινωνίας μας, σας αποστέλλουμε τιμές για τα προϊόντα HILTI που μας ζητήσατε:

Κωδικός	Περιγραφή	Μονάδα Μέτρηση	Ποσότητα ανά Μ.Μ.	Ποσότητα	Τιμή	Έκπτωση%	Ποσό
304104	Κανάλι εγκατάστασης MQ-72-F 3m	3ΜΕΤΡΑ	3	25	95,94	60	959,40
304099	Κανάλι εγκατάστασης MQ-41-F 3m	3ΜΕΤΡΑ	3	25	49,08	60	490,80
388355	εξάρτημα Φ/Β MSP MQ-C-F	Πακέτο	10	3	101,20	60	121,44
388356	εξάρτημα Φ/Β βίδα MSP MQ-S	Πακέτο	100	1	167,00	60	66,80
388353	εξάρτημα Φ/Β MSP MQ-HC-F	Τεμάχιο	1	22	17,91	60	157,61
304165	Στήριγμα ράγας MQP-21-72-F	Τεμάχιο	1	11	33,58	60	147,75
304115	Βραχίονας MQK-41/300-F	Πακέτο	10	1	191,90	60	76,76
304116	Βραχίονας MQK-41/450-F	Πακέτο	10	1	234,50	60	93,80
337127	Εκτ.αγκύριο HSA-F M10X90/20	Πακέτο	50	1	60,16	33	40,31
315959	Χημικό αγκύριο HIT-HY 150 330/	Τεμάχιο	1	3	37,30	33	74,97
382948	ΕΞΑΡΤ.ΣΥΣΦΙΞΗΣ MSP-MQ-MC 48-	Πακέτο	10	7	65,70	60	183,96
382958	ΕΞΑΡΤ.ΣΥΣΦΙΞΗ MSP-MQ-EC 50	Πακέτο	10	1	59,30	60	23,72
ΕΞΟΔΑ	ΕΞΟΔΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ 23%		1	1	30,00	0	30,00

Σύνολο 2.467,32

Τα προϊόντα της Hilti AG διαθέτουν πιστοποιητικό διασφάλισης ποιότητας ISO 9001 από τον Ελβετικό Οργανισμό SQS (Swiss Association for Quality and Management Systems).

### Εικόνα 60 Προσφορά Εξαρτημάτων μεταλλικής βάσης στήριξης

Στη συνέχεια προχωράμε στην πληρωμή του ποσού και στην μεταφορά των υλικών στο χώρο της εγκατάστασης.

### 3.1.3. Γείωση και Αντικεραυνική Προστασία

Όπως γνωρίζουμε γείωση ονομάζεται η σύνδεση ενός ακροδέκτη ηλεκτρικού κυκλώματος με το έδαφος ή άλλο αντικείμενο μηδενικού δυναμικού. Οποιοδήποτε σημείο είναι συνδεδεμένο με τη γείωση έχει μηδενικό δυναμικό. Η γείωση μπορεί να προσφέρει ασφάλεια από την ηλεκτροπληξία, τα βραχυκυκλώματα και άλλες επικίνδυνες καταστάσεις που προκύπτουν από βλάβες σε συσκευές που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα και έτσι είναι υποχρεωτική από τον νόμο. Η γείωση αποτελεί καταβόθρα φορτίου, πρακτικά άπειρου. Η σύνδεση με τη γείωση μπορεί να εξουδετερώσει οποιοδήποτε θετικό ή αρνητικό φορτίο, ενώ φορτίζει αγωγίματα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα στο ηλεκτροστατικό πεδίο. Θα πρέπει να αναφέρουμε ακόμα ότι όλα τα σημεία που είναι γειωμένα συμπεριφέρονται σαν να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους (ισοδυναμικές συνδέσεις). Στην πράξη ο γειωτής είναι αγωγός ή αγωγοί κάποιου γεωμετρικού σχήματος, ο οποίος ή οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, προκειμένου να εξασφαλίσουν την καλύτερη δυνατή επαφή με την γη και κατά συνέπεια την αποτελεσματικότερη διάχυση του ρεύματος σφάλματος στη γη. Οι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι γειωτών είναι : Ραβδοειδής, τύπου "Ε"

και φυσικά η θεμελιακή γείωση η οποία από το 2007 είναι υποχρεωτική για κάθε νεοαναγειρόμενο κτίριο με βάση το πρότυπο DIN 18015 Teil 1.



**Εικόνα 61 Γειωτής τύπου E & Ηλεκτρόδια γείωσης**



**Εικόνα 62 Θεμελιακή γείωση**

Ο τύπος γειωτή που θα χρησιμοποιηθεί στην φωτοβολταϊκή μας εγκατάσταση, λόγω και της μη ύπαρξης, θεμελιακής γείωσης είναι ένας πολυγωνικός σχηματισμός από ηλεκτρόδια γείωσης στον κήπο του κτιρίου.

Η επιλογή και η εγκατάσταση των ηλεκτροδίων θα πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε η τιμή της αντίστασης γείωσης ( $\Omega$ ) να ικανοποιεί τις απαιτήσεις προστασίας και λειτουργίας της εγκατάστασης, ακόμα τα ρεύματα σφάλματος προς γή και τα ρεύματα διαρροής προς γή θα μπορούν να κυκλοφορούν χωρίς να δημιουργείται κίνδυνος, ιδιαίτερα από τις θερμικές, θερμομηχανικές και ηλεκτρομηχανικές καταπονήσεις. Επίσης τα υλικά θα πρέπει να είναι στιβαρής κατασκευής έτσι ώστε να αντέχουν στις αναμενόμενες εξωτερικές συνθήκες σε βάθος χρόνου αλλά και να είναι ανθεκτικά στην πιθανή ηλεκτρόλυση τους με άλλα μεταλλικά μέρη.

Η αποτελεσματικότητα του ηλεκτροδίου γείωσης εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες του εδάφους (ειδική αντίσταση εδάφους) αλλά και από την αντοχή του στη διάβρωση σε βάθος χρόνου, έτσι ο τύπος και το βάθος έμπηξης των ηλεκτροδίων μέσα στο έδαφος πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η αποξήρανση και το πάγωμα του εδάφους να μην αυξάνουν την αντίσταση γείωσης πέρα από την απαιτούμενη τιμή.

Με βάση το πρότυπο IEC 62446 «Ελάχιστες απαιτήσεις φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων» η τιμή της αντίστασης γείωσης δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 14,1Ω.

Η διατομή των αγωγών γείωσης θα πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο ίσοι με τις τιμές του παρακάτω πίνακα:

	Με μηχανική προστασία	Χωρίς μηχανική προστασία
Με προστασία έναντι διάβρωσης *	Σύμφωνα με το άρθρο 543.1	16 mm <sup>2</sup> Χαλκός 16 mm <sup>2</sup> Γαλβανισμένος χάλυβας
Χωρίς προστασία έναντι διάβρωσης		25 mm <sup>2</sup> Cu 50 mm <sup>2</sup> Fe
*Η προστασία έναντι διάβρωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ενός μανδύα		

**Πίνακας 14 Ελάχιστες αγωγές διατομών γείωσης θαμμένων στο έδαφος**

Ο Πίνακας 14 παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων μεταξύ τους και των ηλεκτροδίων με τον ζυγό γείωσης. Θα χρησιμοποιήσουμε αγωγό CU (χαλκός) διατομής 25mm<sup>2</sup> και για την προστασία έναντι διάβρωσης θα χρησιμοποιήσουμε σωλήνα «σπιδάλ» βαρέως τύπου, εξασφαλίζοντας στις άκρες πως θα υπάρχει μόνωση της σωλήνας για την αποφυγή της εισροής νερού.

Στον ζυγό γείωσης θα πρέπει να συνδέονται οι παρακάτω αγωγοί:

- Αγωγοί γείωσης
- Αγωγοί προστασίας
- Αγωγοί της κύριας ισοδυναμικής σύνδεσης
- Αγωγοί γείωσης λειτουργίας, εάν απαιτείται

Το σημείο τοποθέτησης του θα πρέπει να είναι προσβάσιμο για να μπορεί να αποσυνδεθεί ο αγωγός γείωσης, να μετρηθεί η τιμή της αντίστασης γείωσης αλλά και να μπορεί να συνδεθεί ανά πάσα στιγμή κάποιος άλλος αγωγός προστασίας για να έχουμε ισοδυναμική σύνδεση. Το εξάρτημα που θα χρησιμοποιήσουμε για ζυγό γείωσης θα πρέπει να έχει επαρκή μηχανική αντοχή, ώστε να εξασφαλίζει τη διατήρηση της ηλεκτρικής συνέχειας και η αποσύνδεση θα πρέπει να είναι δυνατή μόνο με τη χρησιμοποίηση ενός εργαλείου.

Η διατομή των αγωγών προστασίας εξαρτάται από τη διατομή των αγωγών φάσεων και προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα:

Διατομή των αγωγών φάσεων της εγκατάστασης S (mm <sup>2</sup> )	Ελάχιστη διατομή του αντίστοιχου αγωγού προστασίας S <sub>e</sub> (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

**Πίνακας 15 Διατομές αγωγών σε συσχετισμό με τις διατομές των αγωγών φάσεων**

Οι τιμές που παρουσιάζει ο Πίνακας 15 ισχύουν μόνο αν ο αγωγός προστασίας είναι κατασκευασμένος από το ίδιο μέταλλο, όπως οι αγωγοί φάσεων (χαλκός).

Ως αγωγοί προστασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Αγωγοί πολυπολικών καλωδίων
- Μονωμένοι ή γυμνοί αγωγοί τοποθετημένοι σε κοινό περίβλημα με τους ενεργούς αγωγούς
- Μονωμένοι ή γυμνοί αγωγοί τοποθετημένοι χωριστά από τους ενεργούς αγωγούς
- Μεταλλικά περιβλήματα καλωδίων, όπως μανδύες, πλέγματα, οπλισμοί.
- Μεταλλικοί σωλήνες ή άλλα μεταλλικά περιβλήματα αγωγών
- Ορισμένα ξένα αγώγιμα στοιχεία.

Όλοι οι παραπάνω αγωγοί εφόσον χρησιμοποιηθούν ως αγωγοί προστασίας θα πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Η ηλεκτρική τους συνέχεια πρέπει να εξασφαλίζεται, είτε από τη κατασκευή τους είτε με κατάλληλες συνδέσεις, κατά τρόπο ώστε να είναι πλήρως προστατευμένη έναντι μηχανικών, χημικών ή ηλεκτροχημικών αλλοιώσεων
- Η διατομή τους θα πρέπει να είναι η κατάλληλη έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η αγωγιμότητα τους
- Δεν πρέπει να μπορούν να αφαιρεθούν παρά μόνο αν έχουν προβλεφθεί κατάλληλα μέτρα που να αντισταθμίζουν αυτή την αφαίρεση.

### 3.1.4. Σύστημα γείωσης

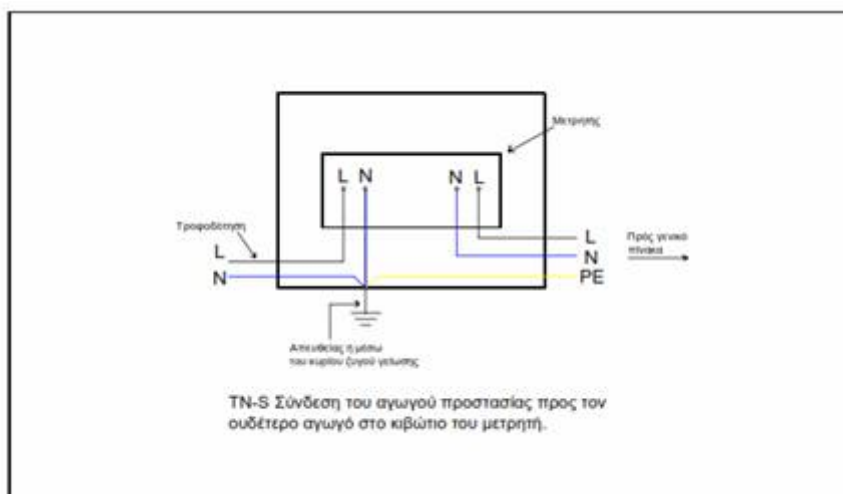
Όλα τα εκτεθειμένα αγώγιμα μέρη πρέπει να συνδέονται προς τη γη μέσω αγωγών προστασίας, υπό τις ειδικές συνθήκες που ισχύουν για το σύστημα σύνδεσης των γειώσεων (TN, TT, IT) που εφαρμόζεται στην εγκατάσταση.

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που τροφοδοτούνται από ένα σύστημα τροφοδότησης το οποίο ανήκει ή λειτουργεί με την ευθύνη διαφορετικού φορέα από

εκείνο στον οποίο ανήκει η εγκατάσταση, όπως τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε στέγη, εφαρμόζεται εκείνο από τα συστήματα σύνδεσης των γειώσεων TN ή TT που εφαρμόζεται στο σύστημα τροφοδότησης.

Στην περίπτωση μας το σύστημα γείωσης που εφαρμόζεται στο σύστημα τροφοδότησης μέσω του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας είναι το TN.

Στο σύστημα σύνδεσης των γειώσεων TN, ένα σφάλμα μεταξύ αγωγού φάσης και εκτεθειμένων αγώγιμων μερών είναι ουσιαστικά σφάλμα μεταξύ αγωγού φάσης και ουδέτερου. Το ρεύμα σφάλματος κυκλοφορεί μέσω των ενεργών αγωγών και των αγωγών προστασίας και η τιμή του καθορίζεται από τις σύνθετες αντιστάσεις αυτών των αγωγών και της πηγής. Σε όλη την εγκατάσταση ο αγωγός προστασίας είναι χωριστός από τον ουδέτερο και δεν πρέπει να έχει καμία σύνδεση προς αυτόν. Γι' αυτό το λόγο το σύστημα συμβολίζεται με TN-S όπου S (separated -χωριστά).



**Εικόνα 63 Σύστημα γείωσης TN-S σύνδεση του αγωγού προστασίας προς τον ουδέτερο αγωγό στο κιβώτιο του μετρητή.**

Τα χαρακτηριστικά των διατάξεων προστασίας και οι σύνθετες αντιστάσεις των κυκλωμάτων πρέπει να εξασφαλίζουν, ότι αν συμβεί ένα σφάλμα αμελητέας σύνθετης αντίστασης σε οποιοδήποτε σημείο της εγκατάστασης μεταξύ ενός αγωγού φάσης και ενός εκτεθειμένου αγώγιμου μέρους ή ενός αγωγού προστασίας, η αυτόματη διακοπή της τροφοδότησης, προκειμένου να αποφευχθεί η ηλεκτροπληξία.

Στα κυκλώματα διανομής, δηλαδή στις γραμμές που τροφοδοτούν πίνακες διανομής, η αυτόματη διακοπή της τροφοδότησης πρέπει να γίνεται σε χρόνο μικρότερο ή ίσο 5s.

Για να πραγματοποιείται η διακοπή της τροφοδότησης στους παραπάνω χρόνους, όταν συμβεί ένα σφάλμα αμελητέας σύνθετης αντίστασης σε οποιοδήποτε σημείο της εγκατάστασης μεταξύ ενός αγωγού φάσης και ενός εκτεθειμένου αγωγίμου μέρους ή ενός αγωγού προστασίας, πρέπει τα χαρακτηριστικά λειτουργίας των διατάξεων προστασίας και οι σύνθετες αντιστάσεις των κυκλωμάτων να εξασφαλίζουν την τήρηση της ακόλουθης συνθήκης.

$$Z_s \times I_a \leq U_o$$

όπου:

- ✓  $Z_s$ : η σύνθετη αντίσταση του βρόγχου σφάλματος
- ✓  $I_a$ : το ρεύμα που προκαλεί την αυτόματη λειτουργία της διάταξης προστασίας στο χρόνο που ορίστηκε προηγουμένως.
- ✓  $U_o$ : η ονομαστική τάση μεταξύ φάσης και γης

Αν δεν είναι δυνατή η τήρηση της απαίτησης να είναι ο χρόνος διακοπής της τροφοδότησης μικρότερος ή ίσος προς τα όρια που ορίστηκαν παραπάνω πρέπει:

- Ή να πραγματοποιηθεί συμπληρωματική ισοδυναμική σύνδεση, προκειμένου να μειωθεί η τιμή της γείωσης άρα και της σύνθετης αντίστασης βρόγχου ( $Z_s$ ).
- Ή να εφαρμοσθεί προστασία με διάταξη διαφορικού ρεύματος (ρελέ διαφυγής).

Η χρησιμοποίηση διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος είναι πάντοτε δεκτή ως συμπληρωματικό μέτρο προστασίας έναντι έμμεσης επαφής. Αυτό σημαίνει ότι, ακόμα και αν πληρούνται οι απαιτήσεις προστασίας με διατάξεις υπερέντασης (ασφάλειες, μικροαυτόματοι, αυτόματοι διακόπτες) είναι πάντοτε δεκτή η χρησιμοποίηση της. Οι διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος προκαλούν τη διακοπή της τροφοδότησης, όταν το διαφορικό ρεύμα υπερβαίνει το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας τους  $I_{\Delta n}$ , δηλαδή όταν υπάρχει ένα ρεύμα μεγαλύτερο από αυτή τη τιμή, το οποίο διαρρέει εκτός κυκλώματος. Η απαίτηση  $Z_s \times I_a \leq U_o$  ισχύει και για τη περίπτωση των διατάξεων προστασίας διαφορικού ρεύματος, όπου  $I_a$  είναι το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας  $I_{\Delta n}$  αυτής της διάταξης.

### **3.2. Αντικεραυνική Προστασία και Προστασία Από Υπερτάσεις**

Οι υπερτάσεις ανάλογα με την πηγή που τις προκαλεί μπορούν να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και να απαιτούν διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης. Οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας (ms...s) οφείλονται στη ποιότητα παροχής του δικτύου και αντιμετωπίζονται με σταθεροποιητές τάσεως. Στην πράξη οι κατασκευαστές μετατροπέων, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας είναι σε κακή κατάσταση, ρυθμίζουν τους αναστροφείς έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν σε μεγάλα εύρη συχνότητας και τάσης. Ακόμα υπάρχουν οι υπερτάσεις από χειρισμούς διακοπών όπως και από κεραυνούς που ονομάζονται κρουστικές υπερτάσεις καθώς έχουν μικρή διάρκεια (μs) αλλά μεγάλη απόλυτη τιμή (kV) και αντιμετωπίζονται με τους απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων. Οι πλέον καταστροφικές και δύσκολες σε αντιμετώπιση είναι οι υπερτάσεις οφειλόμενες σε κεραυνούς.

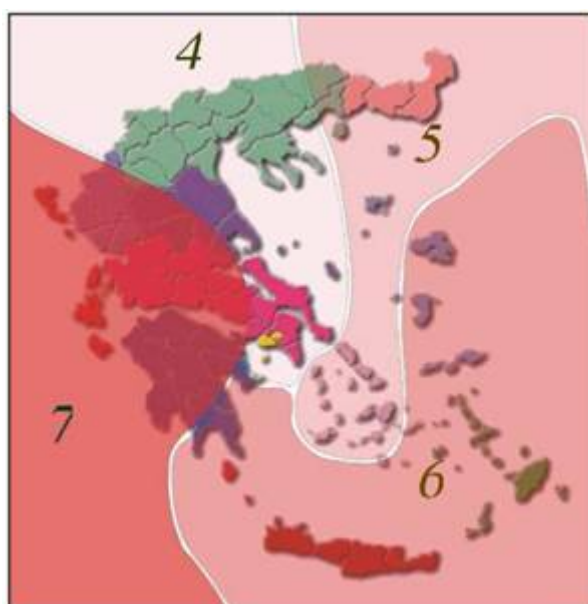
Η πτώση ενός κεραυνού μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές σε μια ηλεκτρολογική εγκατάσταση, το μέγεθος των οποίων μπορεί να είναι ολοκληρωτική καταστροφή όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

Ο κεραυνός είναι μια φυσική ροή ρεύματος του οποίου η ροή δημιουργεί τις κρουστικές υπερτάσεις. Οι κεραυνοί είναι ένα φυσικό φαινόμενο και προφανώς δεν είναι όμοιοι μεταξύ τους και ως εκ τούτου η ενέργεια και η μορφή τους κάθε φορά μπορεί να διαφέρει. Σύμφωνα με το πρότυπο [ΕΛΟΤ EN 62305-1].

Πολλές είναι οι περιπτώσεις σημαντικών καταστροφών και θανάτων που προκαλούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, αστικά κέντρα, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι τώρα εσφαλμένη εντύπωση ότι οι κεραυνοί δεν πλήττουν τις πόλεις. Η πιθανότητα και η συχνότητα κεραυνικού πλήγματος σε κτίριο και στις εγκαταστάσεις του, είναι πολύ μεγαλύτερη να συμβεί σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως στις πόλεις λόγω του ότι η δόμηση είναι συνεχής και το ενδεχόμενο ο κεραυνός να πλήξει κτίριο είναι μεγαλύτερο, παρά σε αραιοκατοικημένες περιοχές. Επίσης, τα δίκτυα κοινής ωφέλειας (ύδρευσης, ΔΕΗ, ΟΤΕ, φυσικού αερίου) μέσω των οποίων το κεραυνικό ρεύμα μπορεί να διοχετευθεί στις εσωτερικές εγκαταστάσεις τους, είναι πυκνά καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις, με αποτέλεσμα οι ζημιές που προκαλούνται, από τυχόν κεραυνοπτώσεις επί των δικτύων ή πλησίον αυτών, να είναι περισσότερες και μεγαλύτερης έκτασης. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ζημιές που αναφέρονται στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα κτιρίων, από τη διοχέτευση του κεραυνικού ρεύματος μέσω των δικτύων κοινής ωφέλειας, να είναι πολύ περισσότερες και μεγαλύτερου κόστους, διότι λόγω της ηλεκτρικής

αγωγιμότητας που παρουσιάζουν οι μεταλλικοί σωλήνες των εν λόγω δικτύων, είναι δυνατό να άγουν το κεραυνικό ρεύμα και να προσβάλλουν τις εσωτερικές εγκαταστάσεις κτιρίων σε αρκετή απόσταση από το σημείο του κεραυνικού πλήγματος, απόσταση η οποία εξαρτάται από την ειδική αντίσταση του εδάφους και μία τάξη μεγέθους είναι το 1km.

Στην Ελλάδα η συχνότητα πτώσης κεραυνών παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη:



Εικόνα 64 Αριθμός πτώσης κεραυνών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ανά έτος.

Αν ένα κτίριο δεχθεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ζημιές που μπορεί να προκληθούν σε αυτό αλλά και στα γειτονικά του, με δεδομένο ότι κανένα από αυτά δεν έχει εγκατεστημένη κεραυνική προστασία, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Θραύσεις σε δομικά μέρη του, με άμεση συνέπεια τη μερική καταστροφή του.
- Επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής στο εσωτερικό του κτιρίου, με κίνδυνο την ηλεκτροπληξία ατόμων που μπορεί να επιφέρει και θάνατο.
- Υπερτάσεις στα δίκτυα ύδρευσης, θέρμανσης, κλιματισμού και φυσικού αερίου, με κίνδυνο την ηλεκτροπληξία ατόμων, την ανάπτυξη επικίνδυνων σπινθήρων και την πρόκληση πυρκαγιάς.
- Υπερτάσεις στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, με κίνδυνο την καταστροφή τους και την πρόκληση πυρκαγιάς.

Με βάση το πρότυπο IEC 61643-12 αναφέρει ότι εάν μια κατασκευή δεχθεί ένα άμεσο κεραυνικό (I) πλήγμα το 50% του ρεύματος θα εκφορτιστεί στη τοπική

γείωση της κατασκευής ενώ το υπόλοιπο 50% ( $I_s$ ) θα κατανεμηθεί στις υπόλοιπες εισερχόμενες αγωγίμες παροχές όπως μεταλλικοί σωλήνες ύδρευσης, μεταλλικοί σωλήνες φυσικού αερίου, ενεργειακή παροχή κ.λ.π. Το ποσοστό του κεραυνικού ρεύματος που θα περάσει από την κάθε αγωγή παροχή ( $I_i$ ) μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$I_i = \frac{I_s}{n}$$

Σε περίπτωση που μια εισερχόμενη παροχή έχει περισσότερες από μια αγωγίμες γραμμές (π.χ. μια ενεργειακή 3Φ αγωγή παροχή έχει ένα καλώδιο με 4 αγωγούς  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  και  $N$ ) τότε ο υπολογισμός του κεραυνικού ρεύματος για κάθε αγωγό ( $I_v$ ) προκύπτει από τη διαίρεση του κεραυνικού ρεύματος που θα εκφορτιστεί από την αγωγή παροχή ( $I_i$ ) ως προς το πλήθος των αγωγίμων γραμμών ( $m$ ):

$$I_v = \frac{I_i}{m}$$

Για παράδειγμα εάν μια κατασκευή διαθέτει μια μόνο εισερχόμενη ενεργειακή παροχή ( $n=1$ ) που αποτελείται από ένα καλώδιο με τέσσερις ( $m=4$ ) αγωγούς ( $L_1, L_2, L_3$  και  $N$ ) τότε σε περίπτωση άμεσου κεραυνικού πλήγματος στη κατασκευή, το τοπικό σύστημα γείωσης θα εκφορτίσει το 50% και η ενεργειακή παροχή το άλλο 50% του ρεύματος, δηλαδή ο κάθε αγωγός του καλωδίου θα εκφορτίσει το 12,5% του ολικού κεραυνικού ρεύματος, όπως φαίνεται αναλυτικά στους παρακάτω υπολογισμούς:

$$\begin{aligned} \checkmark \quad n=1 & \sim \begin{cases} I_i = I_s / 1 \\ I_i = 50\% \end{cases} \\ \checkmark \quad m=4 & \sim \begin{cases} I_v = I_i / 4 \\ I_v = 12,5\% \end{cases} \end{aligned}$$

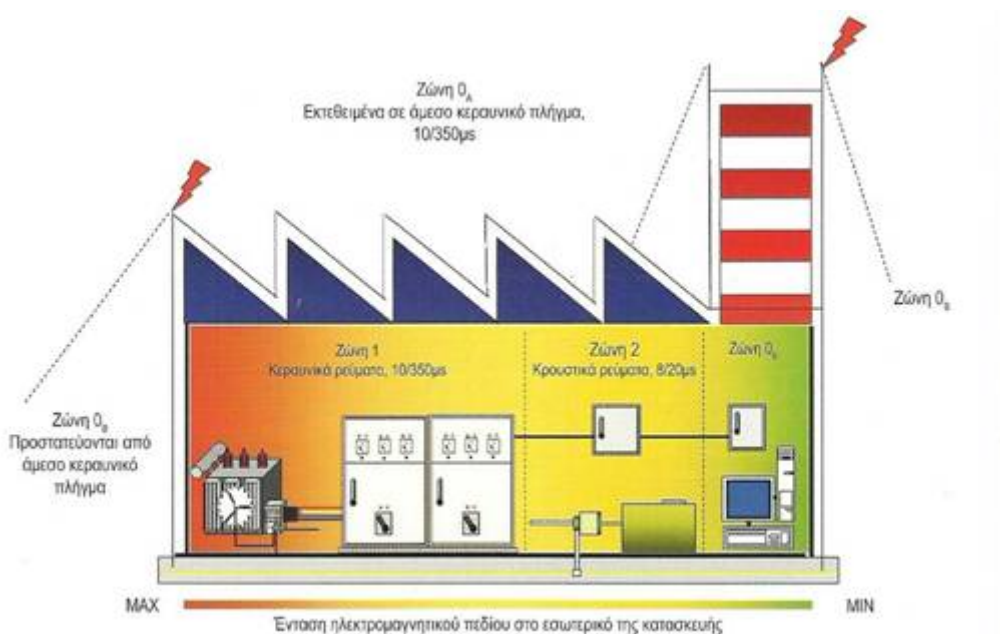
Βέβαια θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ένας ρυθμιστικός παράγοντας της πιθανότητας πτώσης ενός κεραυνού σε ένα κτίριο είναι ο συσχετισμός του ύψους αυτού και των διπλανών κτιρίων του. Είναι προφανές ότι αν ένα κτίριο είναι ψηλότερο από τα κτίρια που βρίσκονται γύρω του τότε αυτόματα αυξάνεται η πιθανότητα πτώσης κεραυνού.

Όσον αφορά την περίπτωση μας η Θήβα συνολικά δέχεται τέσσερις κεραυνούς ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο το χρόνο. Όπως καταλαβαίνουμε οι πιθανότητες να δεχθεί το δώμα άμεσο κεραυνικό πλήγμα είναι ελάχιστες, παρ' όλο το σχετικά μεγάλο ύψος του.

Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να αναλογιστούμε πώς αν η εγκατάσταση μας δεχθεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα χωρίς αντικεραυνική προστασία τότε η μη σωστή αντιμετώπιση της κρουστικής υπέρτασης θα καταστρέψει εξ' ολοκλήρου την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και όχι μόνο.

Επομένως θα πρέπει να εξηγήσουμε στον πελάτη την κατάσταση και στη συνέχεια να προχωρήσουμε στη μελέτη του συστήματος. Θα πρέπει να πούμε ότι το κόστος της αντικεραυνικής προστασίας ανέρχεται στα 800€, κάτι που έχει προϋπολογισθεί.

Σκοπός του συστήματος είναι να προστατεύσει ανθρώπους και ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές διατάξεις από κρουστικές υπερτάσεις. Όπως προβλέπεται από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-4, ο όγκος της κατασκευής που πρόκειται να προστατευθεί χωρίζεται σε ζώνες (Lightning Protection Zones LPZ, όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα).



Εικόνα 65 Βασικές Ζώνες Προστασίας

Οι βασικές ζώνες προστασίας - LPZ είναι οι ακόλουθες:

- LPZ 0<sub>A</sub>: Στη ζώνη αυτή αντικείμενα υπόκεινται σε άμεσα κεραυνικά πλήγματα και είναι εκτεθειμένα σε κρουστικές υπερτάσεις και ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις χωρίς απόσβεση.
- LPZ 0<sub>B</sub>: Στη ζώνη αυτή αντικείμενα δεν δέχονται άμεσα κεραυνικά πλήγματα ενώ είναι εκτεθειμένα σε κρουστικές υπερτάσεις και ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις χωρίς καμιά απόσβεση.
- LPZ 1: Αντικείμενα στη ζώνη αυτή υπόκεινται σε ισχυρές ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις μειωμένης έντασης από τις προηγούμενες ζώνες.
- LPZ 2: Αντικείμενα στη ζώνη αυτή υπόκεινται σε εξασθενημένες ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις, ανάλογα με τα μέτρα προστασίας που έχουν προβλεφθεί στη προηγούμενη ζώνη.

Είναι προφανές λοιπόν ότι μέσα σε κάθε ζώνη όλες οι συσκευές πρέπει να έχουν το ίδιο δυναμικό, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή των κύριων ισοδυναμικών συνδέσεων. Αυτές περιορίζουν τα διάφορα δυναμικά μεταξύ των μεταλλικών μερών και αγώγιμων εισερχόμενων παροχών στο σημείο εισόδου ενός κτιρίου και πάντα έχοντας ως σημείο αναφοράς το τοπικό ηλεκτρόδιο γείωσης. Οι κύριες ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται στα σύνορα των ζωνών αντικεραυνικής προστασίας συνδέοντας όλα τα μεταλλικά μέρη απευθείας σε ισοδυναμικούς δεσμούς, ενώ οι ενεργές παροχές συνδέονται μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων.

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 61643-11 οι απαγωγοί ενεργειακών δικτύων χαμηλής τάσεως χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες.

1<sup>η</sup> -TYPE1 (T1)- Class I, πρωτεύουσα προστασία από κεραυνικά ρεύματα,  $I_{imp}$  (10/350μs).

2<sup>η</sup> -TYPE2 (T2) – Class II, δευτερεύουσα προστασία από κρουστικά ρεύματα,  $I_{max}$  (8/20μs).

3<sup>η</sup> -TYPE3 (T3) – Class III, λεπτή προστασία από κρουστικά ρεύματα,  $I_{sc}$  (8/20μs) και κρουστικές υπερτάσεις,  $U_{oc}$  (1,2/50μs).

- Οι απαγωγοί T1 εγκαθίστανται συνήθως στην είσοδο της εγκατάστασης (π.χ. γενικός πίνακας παροχής) στα όρια των ζωνών LPZ 0<sub>A</sub> –LPZ1 ή LPZ 0<sub>B</sub> –LPZ1, προσφέροντας προστασία από κεραυνικά ρεύματα (10/350μs). Έχουν στάθμη προστασίας ( $U_p$ ) μικρότερη από 4kV και παρέχουν προστασία σε ανθρώπους και σε συσκευές όπως ο γενικός πίνακας και οι καλωδιώσεις.

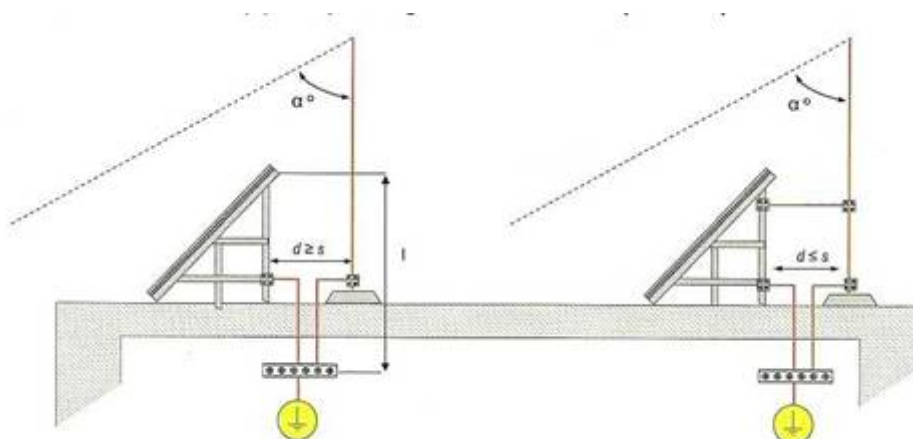
- Οι απαγωγοί T2 εγκαθίστανται συνήθως σε διάφορα κομβικά σημεία της εγκατάστασης (π.χ. υποπίνακες) στα όρια των ζωνών LPZ1-LPZ2, προσφέροντας προστασία από κρουστικά ρεύματα (8/20μs). Έχουν στάθμη προστασίας ( $U_p$ ) μικρότερη από 2,5kV παρέχοντας προστασία σε συσκευές όπως οι υποπίνακες, οι ρευματοδότες, οι διακόπτες. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι η συνήθης αιτία της εμφάνισης υπέρτασης τύπου (8/20μs) είναι η επαναφορά της τάσης από τους χειρισμούς που πραγματοποιεί η ΔΕΗ.
- Οι απαγωγοί T3 εγκαθίστανται ακριβώς πριν από την είσοδο μιας ευαίσθητης συσκευής που περιέχει ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως είναι το σύστημα τηλεμετρίας το οποίο θα εγκαταστήσουμε στο σύστημα μας, προσφέροντας λεπτή προστασία από κρουστικά ρεύματα (8/20μs). Έχουν στάθμη προστασίας ( $U_p$ ) μικρότερη από 1,5kV και παρέχουν προστασία σε ηλεκτρονικές συσκευές. Απαραίτητη προϋπόθεση για σωστή λειτουργία των απαγωγών T3 είναι να προηγούνται απαγωγοί T2 τουλάχιστον.

Όσον αφορά το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, με βάση το πρότυπο IEC/EN 62305-3 θα πρέπει να είναι σύμφωνα με την κλάση αντικεραυνικής προστασίας LPC (Lightning Protection Zone). Οι κλάσεις αντικεραυνικής προστασίας είναι τέσσερις. Η LPC I είναι η πιο απαιτητική και η LPC IV είναι η λιγότερο. Τις περισσότερες φορές ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την κλάση είναι η επιφάνεια που καταλαμβάνει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, σημαντικό ρόλο φυσικά παίζει και η συχνότητα πτώσης κεραυνών αλλά και ο αριθμός των μεταλλικών αντικειμένων που βρίσκονται δίπλα στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (π.χ. καμινάδες ή κεραίες). Εκτός βέβαια από τις φυσικές παραμέτρους που αναφέραμε θα πρέπει να συνυπολογίσουμε την πιθανότητα της απώλειας μιας ανθρώπινης ζωής, της διακοπής μιας δημόσιας υπηρεσίας ή την πρόκλησης πυρκαγιάς και την μόλυνση του περιβάλλοντος.

Στην πράξη το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας μπορεί να είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη μεταλλική κατασκευή (βάσεις στήριξης) ή και όχι. Στην περίπτωση που ανάμεσα στον συλλεκτήριο αγωγό και στην μεταλλική κατασκευή παρεμβάλλεται ο αέρας τότε σε δοκιμές που έχουν γίνει σε εργαστήρια κρουστικών τάσεων σε περίπτωση άμεσου πλήγματος ο συλλεκτήριος αγωγός θα

απορροφήσει μόνο το 25% του κρουστικού ρεύματος, ενώ στη περίπτωση που ο συλλεκτήριος αγωγός είναι άμεσα συνδεδεμένος στη μεταλλική κατασκευή τότε σε περίπτωση άμεσου πλήγματος, ο συλλεκτήριος αγωγός θα απορροφήσει σχεδόν το 100% του κρουστικού ρεύματος. Βέβαια η διαστασιολόγηση του συστήματος θα πρέπει να γίνει με βάση τις απαιτήσεις του EN 50154-2. Ακόμα οι αγωγοί και οι συνδέσεις σε όλο τους το μήκος θα πρέπει να αντέχουν ένα κρουστικό ρεύμα, δηλαδή με λίγα λόγια να είναι καλά βιδωμένα και πακτωμένα και να μην υπάρχει πιθανότητα να λιώσουν εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας.

Η θέση που θα πρέπει να τοποθετηθούν οι συλλεκτήριοι αγωγοί εξαρτάται από την κλάση προστασίας και υπολογίζεται από την γωνία προστασίας, όπως βλέπουμε και στα παρακάτω σχήματα:



**Εικόνα 66 Υπολογισμός Γωνίας Προστασίας Συλλεκτήριου Αγωγού**

Επιπρόσθετα στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που βρίσκονται επάνω σε στέγες θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας και τα παρακάτω, προτού διαστασιολογήσουμε το εξωτερικό σύστημα προστασίας:

- Θα πρέπει να προστατεύεται οποιαδήποτε επιφάνεια της στέγης είτε αυτή είναι κεκλιμένη στέγη είτε αυτή είναι τάρτασα.
- Θα πρέπει επίσης να προστατεύονται οι καμινάδες αλλά και κάποιες επεκτάσεις της στέγης.
- Θα πρέπει να προστατεύεται οποιοσδήποτε άνθρωπος εργάζεται επάνω στη στέγη.
- Θα πρέπει να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα τόξου μεταξύ των μεταλλικών μερών και των συλλεκτήριων αγωγών.

- Όλα τα εξαρτήματα θα πρέπει να έχουν ελεγχθεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις του EN 50164. Δηλαδή να αντέχουν σε πιθανές ηλεκτροδυναμικές και μηχανικές δυνάμεις που μπορεί να υποστούν.

Οι αγωγοί καθόδου θα συνδέουν τη μεταλλική κατασκευή με το γειωτή που έχουμε κατασκευάσει. Για μεγαλύτερη απορρόφηση ενός κρουστικού ρεύματος, καλό θα ήταν να έχουμε αρκετούς παράλληλους αγωγούς (τουλάχιστον δύο). Και εδώ πριν διαστασιολογήσουμε το σύστημα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη τα παρακάτω:

- Για κάθε συλλεκτήριο αγωγό θα πρέπει να υπάρχει και ένας αγωγός καθόδου.
- Οι αγωγοί καθόδου θα πρέπει εγκαθίστανται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αποτελούν φυσική συνέχεια των συλλεκτήριων αγωγών.
- Οι αγωγοί καθόδου θα πρέπει να διανύουν τη μικρότερη δυνατή απόσταση. Οι μεγάλες καμπύλες θα πρέπει να αποφεύγονται και αν αυτό δεν είναι εφικτό η μέγιστη γωνία που θα πρέπει να έχουν υπολογίζεται με βάση το EN 62305-3.
- Θα πρέπει να προσεχθούν ιδιαίτερα οι συνδέσεις σε όλο το μήκος των αγωγών για να αποφευχθεί ενδεχόμενη καταστροφή τους σε βάθος χρόνου.

Η απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου ανάλογα με τη κλάση προστασίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Κλάση προστασίας (LPS Class)	Απόσταση (m)
I	10
II	10
III	15
IV	20

**Πίνακας 16 Απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου ανάλογα με τη κλάση προστασίας**

Η ελάχιστη διατομή των αγωγών καθόδου με βάση το πρότυπο EN 50164-2 σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Υλικό κατασκευής	Διατομή (mm <sup>2</sup> )
Χαλκός	50
Αλουμίνιο	50
Γαλβανισμένο μέταλλο	50
Ανοξειδωτος χαλύβδινός αγωγός	50

**Πίνακας 17 Ελάχιστη διατομή των αγωγών καθόδου με βάση το πρότυπο EN 50164-2 σε σχέση με το υλικό κατασκευής τους**

Για το υλικό που θα επιλέξουμε θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Στην περίπτωση που το υλικό έχει υποστεί ηλεκτρόλυση, αυτή θα πρέπει να είναι λεία και συνεχείς και το μέγιστο βάρος της θα πρέπει να είναι 350gr/m<sup>2</sup> αν μιλάμε για κυλινδρικό αγωγό.
- Η διατομή όπως παρατηρούμε είναι η ίδια για όλα τα υλικά κατασκευής. Σε περιπτώσεις όπου οι αγωγοί καθόδου δεν προβλέπεται να υποστούν μηχανικές καταπονήσεις η διατομή επιτρέπεται να πέσει στα 28mm<sup>2</sup>. Σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει να μεριμνήσουμε έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ των αγωγών καθόδου να είναι μικρότερη από την αναγραφόμενη.
- Αντίθετα εάν οι μηχανικές καταπονήσεις είναι σημαντικές η διατομή μπορεί να αυξηθεί στα 75mm<sup>2</sup>.

Κλείνοντας θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η γείωση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και η γείωση του κτιρίου μπορεί και πρέπει να είναι η ίδια. Ο λόγος είναι οι ανεπιθύμητες διαφορές δυναμικού που μπορεί να προκύψουν. Στις περισσότερες περιπτώσεις το υπάρχον σύστημα γείωσης του κτιρίου έχει κατασκευαστεί με βάση το τοπικό πρότυπο και τους εθνικούς κανόνες ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, έτσι δεν υπάρχει πρόβλημα σύνδεσης και της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης επάνω σε αυτό, Βέβαια πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η ισοδυναμική σύνδεση ανάμεσα στα μεταλλικά μέρη.

Ακόμα πρέπει να αναφέρουμε ότι όταν η γείωση ενδέχεται να δεχθεί κρουστικά ρεύματα, τότε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή της αντίστασης γείωσης θα πρέπει να είναι 10Ω.

Γενικά η σχεδίαση και διαστασιολόγηση του συστήματος γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας θα πρέπει να γίνει με βάση το πρότυπο IEC / EN 62305-03 & EN 50164 για την γενικότερη προστασία της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης του κτιρίου, της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης αλλά και των ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών.

### 3.2.1. Επιλογή Εξοπλισμού Γείωσης και Αντικεραυνικής Προστασίας

Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει να εξετάσουμε είναι σε τι κατάσταση βρίσκεται η υπάρχουσα γείωση του κτιρίου.

Η γείωση του κτιρίου αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια γείωσης σε σχηματισμό τριγώνου και μετρήθηκε  $37\Omega$ .

Όπως αναφέραμε και παραπάνω θα προχωρήσουμε στην σχεδίαση και κατασκευή συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Επομένως τα  $37\Omega$  σύμφωνα με τα παραπάνω είναι μη αποδεκτή τιμή, άρα θα προχωρήσουμε στη κατασκευή γειωτή με στόχο τα  $10\Omega$ . Κύριο μέλημα στη διαστασιολόγηση μας είναι η ισοδυναμική σύνδεση όλων των μεταλλικών μερών της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης τα οποία είναι:

- Μεταλλικές βάσεις φωτοβολταϊκών.
- Μεταλλικό περίβλημα Φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Γενικός πίνακας διανομής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.
- Μετρητής ΔΕΗ.
- Ηλιακός Θερμοσίφωνα
- Κεραία τηλεόρασης

Ο γειωτής που θα κατασκευάσουμε θα αποτελείται από ένα σύστημα από ηλεκτρόδια γείωσης συνδεδεμένα μεταξύ τους. Επειδή δεν γνωρίζουμε την ειδική αντίσταση του εδάφους και επειδή η αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων δεν θα είναι ικανοποιητικές λόγω του περιορισμένου χώρου, θα χρησιμοποιήσουμε όσα ηλεκτρόδια χρειαστούν για να πετύχουμε την επιθυμητή τιμή. Ακόμα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο βελτιωτικό γείωσης αν δεν μείνουμε ικανοποιημένοι από τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας.

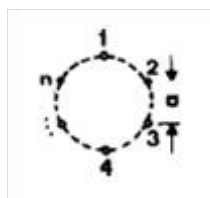
Η κλάση της αντικεραυνικής προστασίας επιλέγουμε να είναι η LPS IV (η λιγότερο απαιτητική) λόγω του ότι μιλάμε για οικία, με χαμηλό το ρίσκο της απώλειας της ανθρώπινης ζωής και το μόνο που θα πρέπει να προστατέψουμε σε

περίπτωση άμεσου κεραυνικού πλήγματος είναι ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός και οι οικιακές συσκευές.

Η εταιρία ΕΛΕΜΚΟ είναι η κορυφαία στην Ελλάδα στο αντικείμενο «Ολοκληρωμένα συστήματα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας». Η τεχνογνωσία τους, αλλά και τα πιστοποιημένα και δοκιμασμένα σε ακραίες συνθήκες (κρουστικά ρεύματα) υλικά τους μας επιτρέπουν να επιλέξουμε το καλύτερο τεχνοοικονομικά προϊόν για την εγκατάσταση μας.

Επομένως θα ξεκινήσουμε την διαστασιολόγηση στον γειωτή που θα κατασκευάσουμε. Όπως αναφέραμε και στην προμελέτη αυτό θα γίνει στον κήπο που βρίσκεται στο πίσω μέρος του κτιρίου.

Ο γειωτής που επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε είναι ένα πολύγωνο από ράβδους γείωσης. Η επιλογή μας έγινε λόγω της ευελιξίας στην κατασκευή, καθώς σε περίπτωση που π.χ. υπολογίσουμε θεωρητικά ότι θα χρειαστούμε τρεις ράβδους αλλά μετά την κατασκευή στη μέτρηση που θα κάνουμε δεν είμαστε ικανοποιημένοι με το αποτέλεσμα μπορούμε εύκολα να προσθέσουμε και άλλους ράβδους και έτσι να πετύχουμε την επιθυμητή τιμή της αντίστασης γείωσης.



Εικόνα 67 Πολύγωνο πασσάλων,  $a > 1m$

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την τιμή της αντίστασης γείωσης άρα και τον αριθμό των ράβδων που θα χρησιμοποιήσουμε, είναι η ειδική αντίσταση του εδάφους. Η ειδική αντίσταση του εδάφους εξαρτάται από τη πυκνότητα και τη σύσταση του. Προφανώς υπάρχει ποικιλία εδαφών και ειδικών αντιστάσεων. Εδάφη χωματώδη, αμμώδη, βραχώδη, υγρά, ξηρά, ανομοιογενή κ.τ.λ. Όσο ξηρότερο και πετρώδες είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ειδική αντίσταση του,  $\rho$ , μετρούμενη συνήθως σε  $\Omega \cdot m$ . Ενδεικτικά οι ειδικές αντιστάσεις εδαφών παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα:

<i>Τύπος εδάφους</i>	<i>Ειδική αντίσταση <math>\rho</math> (<math>\Omega \cdot m</math>)</i>
Ελώδες έδαφος	30
Αργιλώδες, πηλώδες ή αγρού	100
Υγρή άμμος	200
Υγρά χαλίκια	500
Ξηρή άμμος,	1000
Πετρώδες και ξηρά χαλίκια	3000

Πίνακας 18 Ειδικές αντιστάσεις εδαφών

Θεωρητικά λοιπόν για να υπολογίσουμε πόσους ράβδους θα χρειαστούμε θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$R_A \approx k \frac{1}{n} R_{A1}$$

όπου

- ✓  $n$  είναι ο αριθμός των ράβδων
- ✓ ο συντελεστής  $k=1, \dots, 1.5$  ανάλογα με τον αριθμό των ράβδων.  
Π.χ. αν  $n$  (αριθμός ράβδων)=10 τότε  $k=1.25$
- ✓  $R_{A1}$  είναι η αντίσταση του ενός ράβδου και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R_{A1} \cong \frac{\rho}{l_{eff}}$$

όπου

- ✓  $\rho$  είναι η ειδική αντίσταση του εδάφους
- ✓  $l_{eff}=l-0.5m$


Επομένως αν λύσουμε την παραπάνω εξίσωση ως προς  $n$  και με τιμή  $R_{γειωτή}=10\Omega$ , απόσταση μεταξύ των ράβδων  $l=4$  και υποθετική τιμή για το συντελεστή  $k=1.1$ , θα έχουμε:

$$n = \frac{k \times \rho}{l_{eff} \times R_{γειωτή}} = \frac{1.1 \times 100 \Omega m}{3.5 \times 10 \Omega} \approx 3 \text{ ράβδοι}$$

Πρακτικά οι 3 ράβδοι είναι ένας καλός αριθμός, όμως για να μην έχουμε δυσάρεστες εκπλήξεις κατά την μέτρηση θα έχουμε μαζί μας 5 ράβδους.

Επομένως από τον κατάλογο της ΕΛΕΜΚΟ επιλέγουμε 5 ράβδους χαλύβδινες επιψευδαργυρωμένες διατομής σταυρού μήκους 1,5m, εργαστηριακά δοκιμασμένη κατά EN 50164-2 με κωδικό 6300015. Η ράβδος είναι κατασκευασμένη από χάλυβα επιψευδαργυρωμένο εν θερμό (St/tZn) και έχει διαστάσεις 50x3mm (μήκος πτερυγίου x πάχος). Η ράβδος στο επάνω μέρος φέρει ακροδέκτη για σύνδεση με αγωγό μέσω ειδικού σφιγκτήρα. Η σύνδεση συνιστάται να γίνει εντός κατάλληλου φρεατίου.

Η εγκατάσταση της ράβδου θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση βαριάς, φροντίζοντας η ράβδος να είναι σε κατακόρυφη θέση.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά		
	Τύπος	H-100kA	
	Διαστάσεις(mm)	50x50x3	
	Μήκος(mm)	1500	
	Βάρος(kg/τμχ)	3,816	
	Περιβαντολογική ρύπανση	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες)	
		Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου(7 ημέρες)	
	Τάση Θραύσεως	600-770 N/mm <sup>2</sup>	
	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	<0,25μΩm	
	Βάρος επιμετάλλωσης	>500g/m <sup>2</sup>	

**Πίνακας 19 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ηλεκτροδίου Γείωσης**

Αφού τοποθετήσουμε τους ράβδους θα πρέπει να τους ενώσουμε με αγωγό χαλκού διατομής 28mm<sup>2</sup> μέσω των ειδικών σφιγκτήρων της ΕΛΕΜΚΟ κωδικού 6206108.


Ο σφιγκτήρας είναι κατάλληλος για σύνδεση με ράβδο γείωσης διατομής σταυρού. Είναι εργαστηριακά δοκιμασμένος κατά ΕΛΟΤ EN 50164-1 τύπου “H”(Βαρέως τύπου). Κατασκευάζεται από χάλυβα θερμό επιψευδαργυρωμένο (St/tZn). Ο σφιγκτήρας αποτελείται από ένα πλακίδιο διαστάσεων 36x35x2mm. Η σύσφιξη επιτυγχάνεται με μια χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη βίδα,

διαστάσεων M10x30mm, κατά EN 28677 και ένα περικόχλιο M10 από χάλυβα θερμά επιμεταλλωμένο, κατά EN 24032.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
	Συνδεσμολογία	«Γ», Διασταύρωση, Παράλληλη
	Ροπή σύσφιξης	12Nm
	Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο, εντός εδάφους ή εντός σκυροδέματος
	Διαστάσεις Αγωγών	35-70mm <sup>2</sup>
	Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Al, Cu/eSn, St/tZn, Ανοξειδωτο μέταλλο
	Αντίσταση διάβασης	<1mΩ
	Περιβαλλοντική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)
	Ικανότητα εκφόρτισης ρεύματος σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1	Κλάση H -100kA (10/350μsec)

**Πίνακας 20 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Σφικκτήρα**

Ο μονόκλωνος χάλκινος αγωγός κυκλικής διατομής Φ6 (κωδικός 6420006), είναι εργαστηριακά δοκιμασμένος κατά EN 50164-2 είναι κατασκευασμένος από καθαρό ηλεκτρολυτικό χαλκό(Cu). Ο αγωγός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αγωγός συλλεκτήριου συστήματος και ως αγωγός καθόδου.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
	Τάση θραύσεως	200-450N/mm <sup>2</sup>
	Επιμήκυνση	<7%
	Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο, εντός εδάφους ή εντός σκυροδέματος
	Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Cu/eSn,Cu, Ανοξειδωτο μέταλλο
	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	-0,019 μΩm
	Περιβαλλοντική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2	Ατμόσφαιρα αλατομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)
	Διαφορά στην ηλεκτρική αντίσταση μετά την περιβαλλοντική ρύπανση	<50%

**Πίνακας 21 Τεχνικά Χαρακτηριστικά χάλκινου αγωγού**

Οι ράβδοι γείωσης θα τοποθετηθούν μέσα σε πλαστικά φρεάτια βαρέως τύπου διαστάσεων 20x20cm, ενώ στα σημεία των ενώσεων θα τοποθετήσουμε πίσσα για τη βέλτιστη αγωγιμότητα. Ακόμα ο αγωγός χαλκού θα τοποθετηθεί μέσα σε σωλήνα τύπου σπιδάλ βαρέως τύπου για να αποφύγουμε την άμεση επαφή με το χώμα, άρα και τη ταχύτερη γήρανσή του.



**Εικόνα 68 Σύνδεση αγωγού προστασίας με ράβδο εντός φρεατίου και χρησιμοποίηση πίσσας για αύξηση της αγωγιμότητας και βέλτιστη επαφή**

Μετά την κατασκευή του γειωτή η αντίσταση γείωσης μετρήθηκε στα 8,67Ω. Με δεδομένο ότι το μέγιστο επιτρεπτό όριο είναι τα 10Ω όπως αναφέραμε στο θεωρητικό μέρος, μπορούμε να προχωρήσουμε και στην κατασκευή των υπόλοιπων κομματιών της ισοδυναμικής σύνδεσης της εγκατάστασης μας.

Για την ισοδυναμική σύνδεση των βάσεων με το γειωτή θα χρησιμοποιήσουμε αγωγό αλουμινίου. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιούμε και εδώ αγωγό χαλκού είναι οικονομικός καθώς η απόσταση που θα πρέπει να διανύσει ο αγωγός είναι αρκετά μεγάλη και το αλουμίνιο είναι φθηνότερο από τον χαλκό.


Ο μονόκλωνος αγωγός κυκλικής διατομής 50mm<sup>2</sup>, με κωδικό 6440008, είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο (Al) και θα χρησιμοποιηθεί ως αγωγός συλλεκτήριου συστήματος και ως αγωγός καθόδου. Με τον αγωγό αλουμινίου θα ενώσουμε ισοδυναμικά τις μεταλλικές βάσεις, τον ηλιακό θερμοσίφωνα και την κεραία της τηλεόρασης με τη βοήθεια ειδικών σφιγκτήρων.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Τάση θραύσεως	<150N/mm <sup>2</sup>
Επιμήκυνση	>15%
Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο, εντός εδάφους ή εντός σκυροδέματος
Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Cu/eSn,Cu, Ανοξειδωτο μέταλλο, St/tZn,Al
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	<0,028 μΩm
Περιβαντολογική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)
Διαφορά στην ηλεκτρική αντίσταση μετά την περιβαντολογική ρύπανση	<50%

Πίνακας 22 Τεχνικά χαρακτηριστικά αγωγού αλουμινίου

Η στήριξη του αγωγού αλουμινίου στον τοίχο και στην επιφάνεια του δώματος θα γίνει με τη βοήθεια του ειδικού στηρίγματος (κωδικός 6101102) το οποίο είναι κατασκευασμένο από χαλύβδινο επιψευδαργυρωμένο εν θερμό (St/tZn) έλασμα, διαστάσεων 20x3mm, εφοδιασμένο με πλαστική ροδέλα αποστάσεως στην οποία προσαρμόζεται ροδέλα στεγανοποίησης από PVC. Το στηρίγμα είναι διμερές και η

σύσφιξη του αγωγού επιτυγχάνεται με δύο ανοξείδωτες βίδες M6x16mm. Η στερέωση του σε σκυρόδεμα ή τούβλο θα πραγματοποιείται με UPAT 8mm και ξυλόβιδα.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
	Επιτρεπτή σύνδεση με αγωγούς	Cu/eSn,Cu, Ανοξείδωτο μέταλλο, St/tZn,Al
	Ροπή σύσφιξης	3,5Nm
	Διαστάσεις αγωγών	50-70mm <sup>2</sup>

**Πίνακας 23 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτήματος στήριξης Αγωγού Μπετού**



**Εικόνα 69 Σύνδεσμος στήριξης αγωγών προστασίας μπετού**

Η σύνδεση του χαλκού με το αλουμίνιο θα γίνει με τη βοήθεια του διμεταλλικού συνδέσμου της ΕΛΕΜΚΟ (κωδικός 6261810). Είναι εργαστηριακά δοκιμασμένος κατά ΕΛΟΤ EN 50164-1 βαρέως τύπου. Είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα (SS V2A). Ο σφιγκτήρας αποτελείται από δύο εξωτερικά πλακίδια διαστάσεων 50x50x2mm και ένα ενδιάμεσο πλακίδιο διαστάσεων 50x50x1,5mm το οποίο παρεμβάλλεται ανάμεσα στους αγωγούς ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια επαφής μεταξύ τους. Η σύσφιξη επιτυγχάνεται με τέσσερις βίδες από ανοξείδωτο χάλυβα διαστάσεων M6x25mm, κατά EN 28677 και τέσσερα περικόχλια από ανοξείδωτο χάλυβα M6.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
	Συνδεσμολογία	T, Παράλληλη & Διασταύρωση
Ροπή σύσφιξης	9Nm	
Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο, εντός εδάφους ή εντός σκυροδέματος	
Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Cu/eSn,Cu, Ανοξείδωτο μέταλλο, Al	
Αντίσταση διάβασης	<2,5mΩ	
Περιβαλλοντική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)	
Κατηγορία ικανότητας εκφόρτισης ρεύματος σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1	Κλάση H-100kA (10-350μs), 50 Coulomb, 2,5 MJoule/Ohm	

**Πίνακας 24 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διμεταλλικού Αγωγού Σύνδεσης**



**Εικόνα 70 Διμεταλλικός σύνδεσμος για ένωση αγωγού χαλκού με αλουμίνιο.**

Για την σύνδεση του αγωγού αλουμινίου με τις βάσεις στήριξης και τον ηλιακό θα χρησιμοποιήσουμε τον κατάλληλο μεταλλικό σύνδεσμο της ΕΛΕΜΚΟ (κωδικός 6245440). Αποτελείται από πλακίδιο από αλουμίνιο με διαστάσεις 109x25x3mm διαμορφωμένο με μορφή «Z» επί του οποίου εδράζεται κυλινδρική βάση από αλουμίνιο εντός της οποίας τοποθετείται ειδική βίδα χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη διαστάσεων M10x25mm, κατάλληλα διαμορφωμένη στη κεφαλή για την υποδοχή του αγωγού. Η σύσφιξη του αγωγού επιτυγχάνεται με εξάγωνο περικόχλιο χαλύβδινο θερμά επιψευδαργυρωμένο, M10 κατά EN 24032. Η

σύνδεση με τη μεταλλική επιφάνεια των βάσεων θα γίνει επάνω στα ντιζοστρίφωνα στήριξης. Ενώ για τον ηλιακό θα επιτευχθεί με τη βοήθεια βίδας M8 ή M10 και αντίστοιχα περικόχλια.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
	Συνδεσμολογία	Τα, Παράλληλη & Διασταύρωση
Ροπή σύσφιξης	17Nm, M10	
Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο.	
Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Cu/eSn, Cu, Ανοξείδωτο μέταλλο, Al	
Αντίσταση διάβασης	<1mΩ	
Περιβαντολογική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)	
Κατηγορία ικανότητας εκφόρτισης ρεύματος σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1	Κλάση H-100kA(10-350μs), 50 Coulomb, 2,5 MJoule/Ohm	

**Πίνακας 25 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτήματος σύνδεσης Αγωγού Προστασίας με Μεταλλική Βάση Στήριξης**



**Εικόνα 71 Γωνιακός σύνδεσμος Φ10 Al**

Για τη ισοδυναμική σύνδεση του ιστού της κεραίας θα χρησιμοποιήσουμε το περιλαίμιο ισοδυναμικής σύνδεσης για τη σύνδεση αγωγού κυκλικής διατομής. Είναι κατασκευασμένο από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο. Αποτελείται από δύο ελάσματα διαστάσεων 40x3mm. Η σύσφιξη του περιλαίμιου επί του σωλήνα πραγματοποιείται με δύο χαλύβδινες θερμά επιψευδαργυρωμένες εξάγωνες βίδες M8x20mm κατά EN24017 και δύο χαλύβδινα θερμά επιψευδαργυρωμένα περικόχλια M8 κατά EN24032. Το περιλαίμιο μπορεί να συνδεθεί με αγωγό διαμέτρου 6-10Φ μέσω σφιγκτήρα σύνδεσης αγωγού με μεταλλική επιφάνεια.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Συνδεσμολογία	T, Παράλληλη
Ροπή σύσφιξης	10Nm, M10
Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο.
Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Ανοξείδωτο μέταλλο, Al, St/tZn
Αντίσταση διάβασης	<1mΩ
Περιβαλλοντική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)
Κατηγορία ικανότητας εκφόρτισης ρεύματος σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1	Κλάση H-100kA (10-350μs), 50 Coulomb, 2,5 MJoule/Ohm

**Πίνακας 26 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτήματος σύνδεσης Αγωγού Προστασίας με Μεταλλικό Ιστό της Κεραίας Λήψης Τηλεοπτικού Σήματος**

Για την σύλληψη πιθανού άμεσου κεραυνικού πλήγματος θα χρησιμοποιήσουμε ακίδες οι οποίες θα τοποθετηθούν επάνω στις μεταλλικές βάσεις με τη βοήθεια ειδικού σφιγκτήρα. Οι ακίδες θα τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η γωνία προστασίας να καλύπτει σχεδόν όλη την ταράτσα.

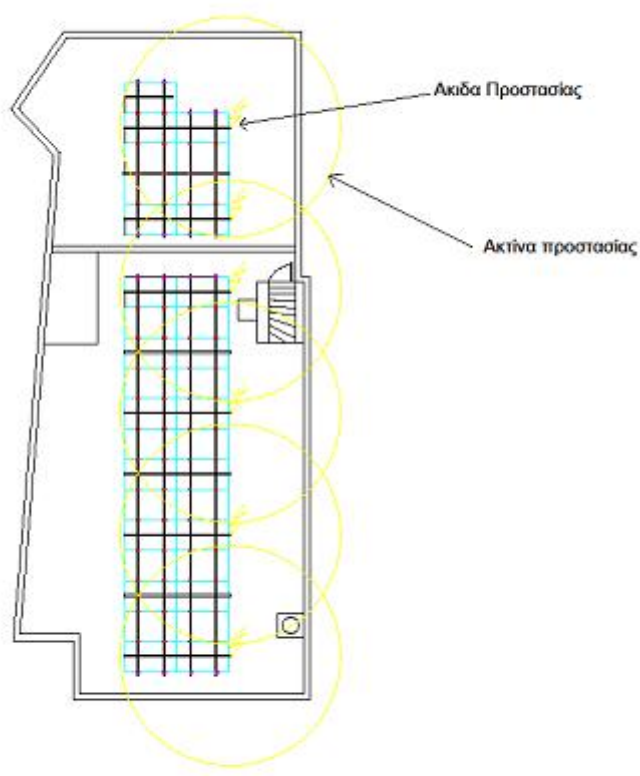


**Εικόνα 72 Ακίδα σύλληψης άμεσου κεραυνικού πλήγματος**




**Εικόνα 73** Ειδικός σφιγκτήρας στήριξης της ακίδας

✓ Σημεία τοποθέτησης ακίδων:



**Εικόνα 74** Σημεία τοποθέτησης ακίδων σύλληψης για τη συνολική προστασία του δώματος από κεραυνικό πλήγμα

Η ακίδα χρησιμοποιείται για την προστασία από άμεσο κεραυνικό πλήγμα δομικών ή μεταλλικών εξάρσεων. Η ακίδα έχει διαστάσεις 10x300mm και είναι κατασκευασμένη από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο (St/tZn). Συνδέεται με το συλλεκτήριο αγωγό μέσω ειδικού σφιγκτήρα.

	Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
	Συνδεσμολογία	T, Παράλληλη & Διασταύρωση
	Τάση θραύσεως	290-510 N/mm <sup>2</sup>
	Θέση εγκατάστασης	Σε εξωτερικό χώρο
	Επιτρεπτή σύνδεση σε εξωτερικό χώρο με	Cu/eSn,Cu, Ανοξείδωτο μέταλλο, Al
	Διαφορά στην ηλεκτρική αντίσταση μετά τη περιβαλλοντολογική ρύπανση	<50%
	Περιβαλλοντολογική γήρανση σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2	Ατμόσφαιρα αλατοομίχλης (3 μέρες) Όξινη ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (7 ημέρες)
	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	<0,15μΩm
	Βάρος επιμετάλλωσης	>350g/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 27 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ακίδας σύλληψης άμεσου κεραυνικού πλήγματος**

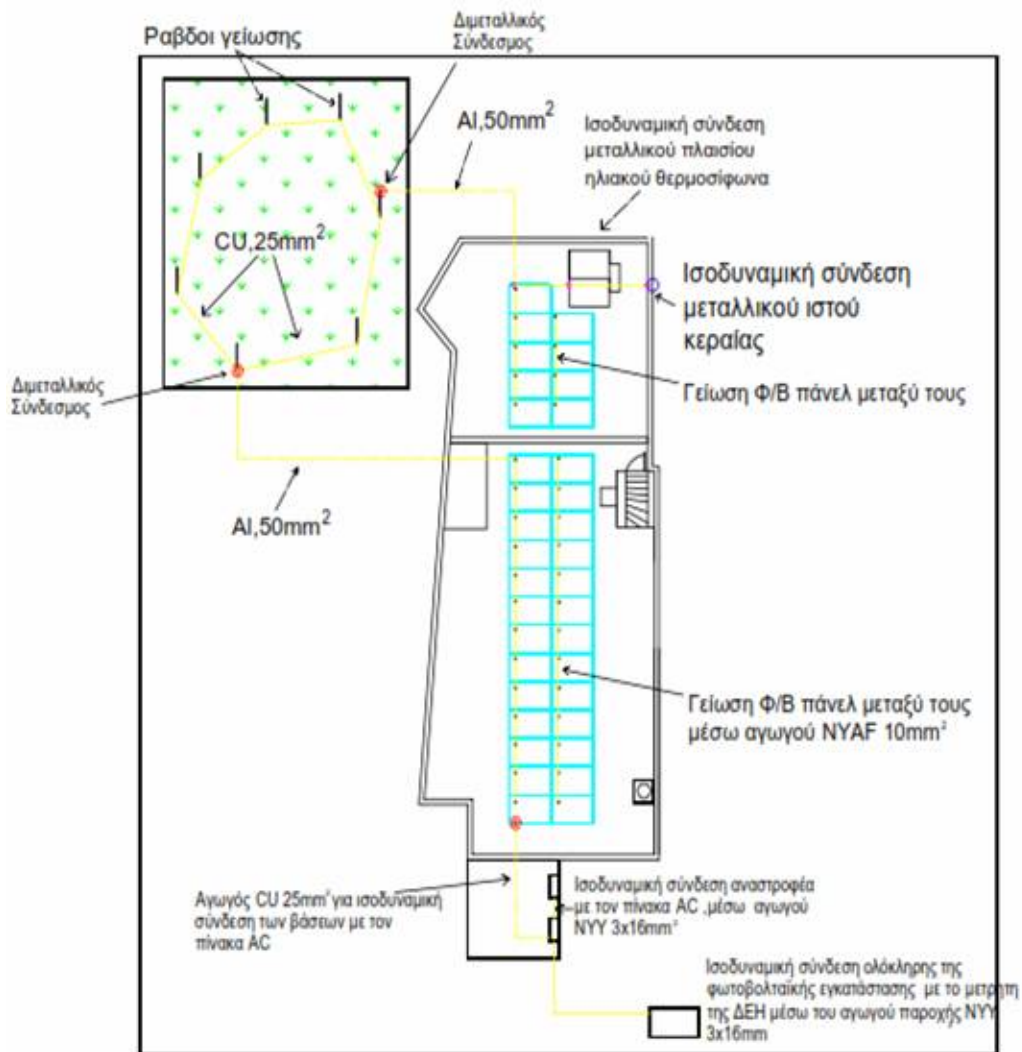
Ισοδυναμική σύνδεση θα πρέπει να υπάρχει και μεταξύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Το εγχειρίδιο εγκατάστασης του πλαισίου το αναφέρει και έτσι με τη βοήθεια ενός αγωγού τύπου NYAF (πολύκλωνος αγωγός χαλκού, εύκαμπτος) διατομής 16mm<sup>2</sup> θα ενώσουμε ισοδυναμικά τα πλαίσια. Για να στερεωθούν οι αγωγοί στις οπές θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποια κώσ οπής και ανοξείδωτες βίδες και ανοξείδωτα περικόχλια.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι το μεταλλικό πλαίσιο των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι κατασκευασμένο από ανοδιομένο αλουμίνιο για μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση. Έτσι η επαφή του ανοδιομένου αλουμινίου με την μεταλλική βάση δεν μας εξασφαλίζει την ηλεκτρική συνέχεια όπως θα νομίζαμε, κάτι το οποίο μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε με τη χρήση ενός πολυμέτρου. Έτσι πέρα από την ισοδυναμική σύνδεση των πάνελ μεταξύ τους, θα πρέπει να ενώσουμε ισοδυναμικά και τα πάνελ με τις βάσεις στήριξης. Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις υπάρχουσες οπές των πάνελ και με τη βοήθεια αυτοδιάτρητων βιδών θα δημιουργήσουμε οπές στις μεταλλικές βάσεις. Έτσι και εδώ με τη βοήθεια αγωγού τύπου NYAF(πολύκλωνος αγωγός χαλκού, εύκαμπτος) διατομής 16mm<sup>2</sup> και των κώσ

οπής θα πετύχουμε την ισοδυναμική σύνδεση όλων των φωτοβολταϊκών πάνελ με τις μεταλλικές βάσεις.



Εικόνα 75 Ισοδυναμική σύνδεση φωτοβολταϊκών πάνελ με τη βοήθεια αγωγού προστασίας και κώσ οπής.



Εικόνα 76 Συνολική Ισοδυναμική Σύνδεση Προστασίας

Τέλος οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων, εφ' όσον θα χρησιμοποιήσουμε και αντικεραυνική προστασία θα πρέπει να είναι της μορφής T1+T2. Οι απαγωγοί θα τοποθετηθούν εντός των δύο πινάκων DC και AC, και θα τους προμηθευτούμε από την ΕΛΕΜΚΟ. Θα χρειαζόμασταν και έναν απαγωγό κρουστικών υπερτάσεων τύπου T3 για το σύστημα τηλεμετρίας, όμως ρίχνοντας μια γρήγορη ματιά στο εγχειρίδιο εγκατάστασης του μετατροπέα διαπιστώνουμε ότι το σύστημα τηλεμετρίας αλλά και το μόντεμ είναι ενσωματωμένα εντός του μετατροπέα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των απαγωγών θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα.

- Απαγωγός T1+T2 πίνακα DC:

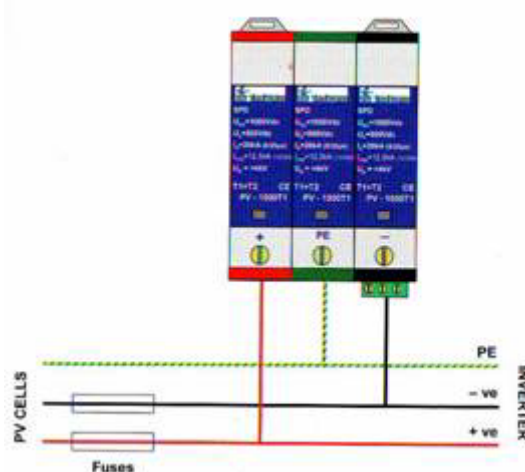
Θα χρησιμοποιήσουμε τον Διπολικό απαγωγό PV-1000 Φωτοβολταϊκών συστημάτων T1+T2 1000Vdc (κωδικός 6810312). Συνολικά θα χρειαστούμε 2 τεμάχια ένα για κάθε στοιχειοσειρά. Ο απαγωγός είναι ημιαγωγικού τύπου και έχει περάσει με επιτυχία της δοκιμές του ευρωπαϊκού προτύπου EN61643-1 class I και κατατάσσονται στον τύπο T1 παρέχοντας προστασία σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα που ανήκουν στην κατηγορία IV έως και κατηγορία III. Οι απαγωγοί είναι κατάλληλη για προστασία τοπικά στην είσοδο των μετατροπέων αμέσως μετά την άφιξη του σήματος DC από τις συστοιχίες των φωτοβολταϊκών.



**Εικόνα 77 Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων τύπου T1+T2 συμβατά με ρεύματα DC.**

Αριθμός πόλων	3
Σύνδεση πόλων	$L_{+ve}, PE, L_{-ve}$
Ονομαστική τάση δικτύου $U_N$	690V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας, $U_c(L-GND)$	1000V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας, $U_c(L_{+ve}, L_{-ve})$	1000V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας ενός στοιχείου	500V DC
$I_{imp}$ , "class I" test, (10/350 $\mu$ s)	12,5kA
$I_{max}$ , "class II" test, (8/20 $\mu$ s)	40kA
$I_n$ , "class II" test, (8/20 $\mu$ s)	20kA
$U_p$ , (σε $I_n$ )	<4kV
Κύριο κύκλωμα	MOV(ημιαγωγός)
Χρόνος απόκρισης, $t_A$	<25ns
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Απαγωγού	
Ικανότητα σε βραχυκύκλωμα, $I_k$	3kA/50Hz
Διάταξη θερμικής απόξευξης	NAI
Οπτική ένδειξη καλής λειτουργίας	NAI
Διαστάσεις	90x64x52,5 mm
Υλικό κατασκευής περιβλήματος	Polycarbonated Halogen free
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-40°C...+80°C
Πρότυπα	EN 61643-11, IEC 61643-1
Υποδοχή ακροδεκτών	Έως 35mm <sup>2</sup>

Πίνακας 28 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Απαγωγού



Εικόνα 78 Συνδεσμολογία Απαγωγού συνεχούς ρεύματος

- Απαγωγός T1+T2 πίνακα AC:

Θα χρησιμοποιήσουμε τον τριφασικό απαγωγό κεραυνικών ρευμάτων «Trige Tron 35T1 4p» με στάθμη προστασίας T1+T2. Μπορεί να εγκατασταθεί στο κεντρικό πίνακα παροχής από το δίκτυο διανομής 230/400V, 50Hz και είναι κατάλληλος για την προστασία ευαίσθητων ηλεκτρικών συσκευών εγκατεστημένες σε περιοχές εκτεθειμένες σε κεραυνούς. Ο απαγωγός έχει περάσει με επιτυχία τις εργαστηριακές δοκιμές ClassI (10/350μs) και ClassII (8/20μs), όπως ορίζονται από τα πρότυπα EN61643-11 και IEC 61643-1.



**Εικόνα 79 Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων τύπου Trige Tron 35T1 4p» με στάθμη προστασίας T1+T2 συμβατός με τον πίνακα διανομής εναλλασσόμενου ρεύματος.**

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Απαγωγού	
Αριθμός πόλων	4
Σύνδεση πόλων	L <sub>1</sub> -N, L <sub>2</sub> -N, L <sub>3</sub> -N
Ονομαστική τάση δικτύου U <sub>N</sub>	230/400V, 50Hz
Μέγιστη τάση λειτουργίας, U <sub>c</sub>	275V, 50Hz, 350V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας, U <sub>MCOV</sub>	400V, 50Hz, 520V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας ενός στοιχείου	500V DC
I <sub>imp</sub> , "class I" test, (10/350μs) 4πόλοι, 1 πόλος	140kA, 35kA
I <sub>max</sub> , "class II" test, (8/20μs), 1 πόλος	200kA
I <sub>n</sub> , "class II" test, (8/20μs), 1 πόλος	20kA
U <sub>p</sub> , (σε I <sub>n</sub> )	<1,9kV
Κύριο κύκλωμα	Ημιαγωγός L-N+σπινθηριστής N-PE
Χρόνος απόκρισης, t <sub>A</sub>	<25ns(ημιαγωγός), <100ns (σπινθηριστής)
Ικανότητα σε βραχυκύκλωμα, I <sub>k</sub>	25kA/50Hz
Διάταξη θερμικής απόζευξης	NAI
Οπτική ένδειξη καλής λειτουργίας	NAI
Διαστάσεις	90x64x140 mm
Υλικό κατασκευής περιβλήματος	Polycarbonated Halogen free
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-40°C...+80 °C
Πρότυπα	EN 61643-11, IEC 61643-1
Υποδοχή ακροδεκτών	Έως 35mm <sup>2</sup>

**Πίνακας 29 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Απαγωγού**

### 3.2.2. Παραγγελία Υλικών Γείωσης και Αντικεραυνικής Προστασίας

Περιγραφή Είδους	Κωδικός ΕΛΕΜΚΟ	Μονάδα Μέτρησης	Ποσότητα	Καθαρή Αξία	ΦΠΑ	Συνολική Αξία
Σταυροειδής Ράβδος Γείωσης	6300015	Τεμάχιο	5	8,82	23%	54,24
Σύνδεσμοι για σύνδεση αγωγών προστασίας με σταυροειδή ράβδο γείωσης	6206108	Τεμάχιο	5	1,65		10,14
Αγωγός Χαλκού διατομής 25τ.χ	6420006	Κιλά	4	10,89		53,33
Αγωγός αλουμινίου διατομής 50τ.χ	6440008	Κιλά	4	7,00		34,44
Στηρίγματα αγωγών προστασίας σε μπετό	6101102	Τεμάχιο	25	1,54		47,35
Διμεταλλικός σύνδεσμος	6261810	Τεμάχιο	2	3,87	23%	9,52
Σύνδεσμος βάσης περικόχλιο	6245440	Τεμάχιο	5	2,56		15,74
Ακίδες σύλληψης	6501012	Τεμάχιο	1	2,70		3,32
Ακίδες σύλληψης	6441101	Τεμάχιο	6	12,33		90,99
Σιαγών στήριξης ακίδας	6441102	Τεμάχιο	18	0,91		20,14
Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων τύπου T1+T2-DC	6810312	Τεμάχιο	2	210,00		516,60
Απαγωγός κρουστικών υπερτάσεων τύπου T1+T2-AC	6854200	Τεμάχιο	1	550,00		676,50
Αγωγός NYAF-16mm <sup>2</sup> , κιτρινοπράσινος	-	Μέτρα	50	1,20		73,80
Κώσ οπής μονάδας 5,5-5	-	Τεμάχια	100	0,04	4,00	
						1610,11

Πίνακας 30 Υπολογισμός Συνολικού Κόστους

### 3.3. Ηλεκτρολογική διαστασιολόγηση

Ξεκινάμε από το φωτοβολταϊκό πάνελ και την εν γένει ηλεκτρική συμπεριφορά του. Σε κάθε τεχνικό εγχειρίδιο ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου αναφέρονται οι ονομαστικές τιμές των ηλεκτρικών μεγεθών του.

Για να προκύψουν αυτές οι τιμές γίνονται δοκιμές σε δύο ειδικές συνθήκες.

- Η πρώτη είναι η λεγόμενη STC (standard test condition) όπου τα πάνελ δοκιμάζονται κάτω από τεχνητή ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m<sup>2</sup>, θερμοκρασία

πλαisiού 25°C, αέρια μάζα «τύπου»:1,5 με ανοχή της τιμής της ισχύς να ορίζεται στο ±3%.

- Η δεύτερη είναι η NOCT(Nominal Operating Cell Temperature) όπου τα πάνελ δοκιμάζονται κάτω από τεχνητή ηλιακή ακτινοβολία 800W/m<sup>2</sup>, θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C, αέρια μάζα «τύπου»:1,5 και ταχύτητα ανέμου 1m/s. Μετά από αυτή τη δοκιμή προκύπτει να η αντίστοιχη θερμοκρασία του πλαisiού. Όπως γίνεται εύκολα κατανοητό οι συνθήκες NOCT είναι πολύ πιο κοντά στην πραγματικότητα και αυτή θα είναι η πραγματική συμπεριφορά του πάνελ. Παρ' όλα αυτά με βάση το πρότυπο η διαστασιολόγηση του συστήματος θα πρέπει να γίνει με βάση τις δυσμενέστερες συνθήκες που μπορεί να προκύψουν, δηλαδή τις συνθήκες STC.

Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες. Έτσι σε κάθε τεχνικό εγχειρίδιο αναφέρονται τρία ποσοστά που δείχνουν πόσο μεταβάλλεται η τάση ανοιχτού κυκλώματος, η ισχύς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης ανά βαθμό °C αύξησης της θερμοκρασίας. Έτσι αν ένα πάνελ έχει δοκιμαστεί σε συνθήκες NOCT(θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C) και η τάση ανοιχτού κυκλώματος έχει μετρηθεί στα 40V και ο αντίστοιχος θερμοκρασιακός συντελεστής έχει μετρηθεί -0,33%/ °C. Τότε για κάθε βαθμό °C αύξησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, τότε η τάση ανοιχτού κυκλώματος θα μειώνεται κατά 0,33%.

Έτσι για να εξετάσουμε την συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού πλαisiού στην εγκατάσταση μας θα πρέπει να δούμε ποιες είναι οι τιμές της θερμοκρασίας στην περιοχή της Θήβας, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Τοποθεσία: 38.18'58''Νότια,23.19'1''Ανατολικά

Υψόμετρο:202μέτρα

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο: 30°

Ετήσιες απώλειες ηλιακής ενέργειας εξαιτίας του ορίζοντα: 0,1%

Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
9,2	10	11,9	15,4	20,9	25,7	27,8	27,5	23,6	19,3	14,5	10,6

**Πίνακας 31 Μέση ημερήσια Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C Πηγή: PVGIS.com**

Ελάχιστη Απόλυτη Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C	-7 °C
Μέγιστη Απόλυτη Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C	46,5 °C

**Πίνακας 32 Ελάχιστη –Μέγιστη Θερμοκρασία περιβάλλοντος °C Πηγή: PVGIS.com**

Με βάση τις παραπάνω τιμές, μπορούμε να υπολογίσουμε την αντίστοιχη θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών πάνελ από τον τύπο:

$$T_{\text{φωτοβολταϊκού πάνελ}} = T_{\text{περιβάλλοντος}} + \left( \frac{NOCT_{\text{πάνελ}} - 20}{800} \right) * I_{\text{ηλιακή ακτινοβολία}}$$

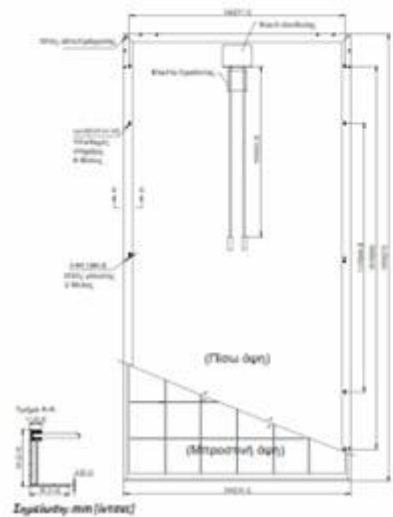
Όπου:

$I$  (W/m<sup>2</sup>): Είναι η στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

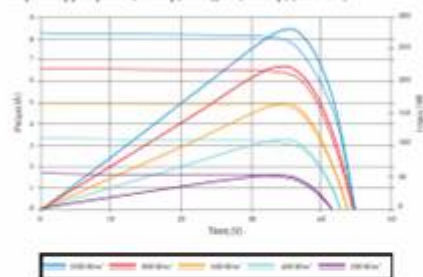
NOCT(°C) : Αναφέρεται στο τεχνικό εγχειρίδιο του πάνελ.

# STP280 - 24/Vd

Τεχνικό Εγχειρίδιο Φωτοβολταϊκού Πάνελ



Καμπύλη ρεύματος-τάσης & ισχύος-τάσης (280-24)



Επιτυχρίστια εξαιρετική απόδοση υπό συνθήκες πραγματικό φωτισμού: με ένταση ακτινοβολίας 200 W/m² (AM 1.5, 25 °C), 95,5% η υψηλότερη από την εκτιμώμενη απόδοση υπό τις πρότυπες συνθήκες δοκιμής (1000 W/m²)

### Χαρακτηριστικά θερμοκρασίας

Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψελής (NOCT)	45 ± 2 °C
Συντελεστής θερμοκρασίας σε Pmax	-0,44 %/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας σε Voc	-0,33 %/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας σε Isc	0,025 %/°C

### Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

STC (πρότυπες συνθήκες δοκιμών)	STP280-24/Vd
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	35,2 V
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (Imp)	7,95 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc)	44,8 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)	8,33 A
Μέγιστη ισχύς σε συνθήκες STC (Pmax)	280 W
Απόδοση Φ/β πλαισίου	14,4%
Θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου	-40 °C έως +85 °C
Μέγιστη τάση συστήματος	1000 V DC (IEC) / 600 V DC (UL)
Μέγιστο ρεύμα ασφαλείας σφραγ	20 A
Ανοχή ισχύος	0/+5 %

STC: Ένταση ακτινοβολίας 1000 W/m², θερμοκρασία κελιά 25 °C, AM = 1,5. Διάρκεια του καλύτερου ήλιου (προσέγγιση) κατηγορίας AAA (IEC 61894-9), εφίδρωσης με μετρημένο ισχύος <math>\approx 10\%</math>

NOCT	STP280-24/Vd
Μέγιστη ισχύς σε NOCT (Pmax)	204 W
Βέλτιστη τάση λειτουργίας (Vmp)	32,6 V
Βέλτιστο ρεύμα λειτουργίας (Imp)	6,39 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος (Voc)	40,8 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)	6,74 A

NOCT: Ένταση ακτινοβολίας 800 W/m², θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C, AM = 1,5, εφίδρωση μετρημένο 1 m/s. Χρηστή του καλύτερου ήλιου (προσέγγιση) κατηγορίας AAA (IEC 61894-9), εφίδρωσης με μετρημένο ισχύος <math>\approx 10\%</math>

### Μηχανικά χαρακτηριστικά

Φωτοβολταϊκή κυψελή	Πολυκρυσταλλική 156 x 156 mm (3 ίντσες)
Αρ. κυψελών	72 (6 x 12)
Διαστάσεις	1956 x 992 x 50 mm (77,8 x 39,1 x 2,0")
Βάρος	27,0 κιλά (59,5 lbs.)
Εμπροσθιο γυαλί	Σκληρωμένο γυαλί πάχους 4,0 mm (0,16 ίντσες)
Πλαίσιο	Χρώμα ανοξείδωτου αλουμινίου
Κουτί σύνδεσης	Κλάση IP67
	TUV (ZPF) 1169-2007, UL 4703, UL 44
Καλώδια εξόδου	4,0 mm² (0,006 ίντσες²), συμμετρικά μήκη (-) 1100 mm (43,3 ίντσες) και (+) 1100 mm (43,3 ίντσες)
Βασίδια	Ενσωματωμένα βασίδια RADOIX® SOLAR με κλειδωμο αντιστροφή

### Συσκευασία

Εμπορευματοκιβώτιο	20' γενικής χρήσης (GP)	40' γενικής χρήσης (GP)	40' υψηλής χωρητικότητας (HC)
Τμήτρα ανά παλέτα	21	21	21
Παλέτες ανά εμπορευματοκιβώτιο	3	12	24
Τμήτρα ανά εμπορευματοκιβώτιο	105	252	504

Εικόνα 80 Τεχνικό εγχειρίδιο φωτοβολταϊκού πάνελ

Με βάση το τεχνικό εγχειρίδιο του πάνελ, μπορούμε να υπολογίσουμε την συμπεριφορά των ηλεκτρικών μεγεθών του πάνελ με βάση την αυξομείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Η τάση του πάνελ είναι πολύ σημαντική γιατί καθορίζει αν οι στοιχειοσειρές βρίσκονται εντός των ορίων του μετατροπέα για να λειτουργεί αυτός στο μέγιστο δυνατό βαθμό απόδοσης. Ακόμα αν η τάση της στοιχειοσειράς είναι πολύ χαμηλή ο μετατροπέας δεν μπορεί να ξεκινήσει την λειτουργία του ενώ αν η τάση είναι πολύ

υψηλή τότε ο μετατροπέας θα υποστεί ανεπανόρθωτη βλάβη η οποία δεν θα καλύπτεται από την εγγύηση.

Όπως βλέπουμε στο τεχνικό εγχειρίδιο ο θερμοκρασιακός συντελεστής της τάσης ισούται με  $-0,33\%/^{\circ}\text{C}$ .

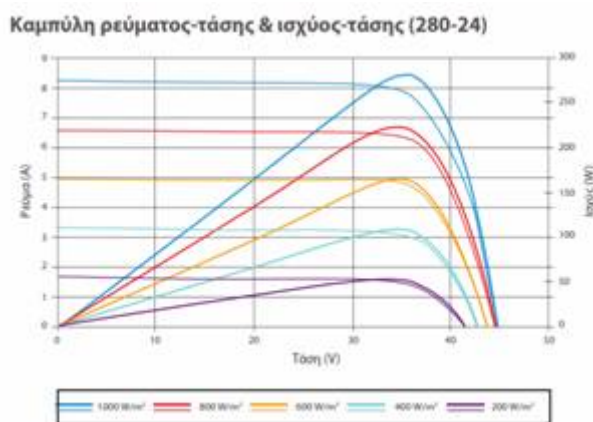
Επομένως οι τιμές της τάσης σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο και τους πίνακες θερμοκρασίας παρουσιάζονται παρακάτω:

Φωτοβολταϊκό Πάνελ	Ελάχιστη	Μέση	Μέγιστη
Τάση Λειτουργίας ( $V_{mp}$ )	28V	32V	50V

**Πίνακας 33 Τιμές Τάσης Φωτοβολταϊκού Πάνελ με βάση την αυξομείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος**

Το συνεχές ρεύμα που διαρρέει το πάνελ δεν εξαρτάται και τόσο από την θερμοκρασία ( $-0,055\%/^{\circ}\text{C}$  ο θερμοκρασιακός συντελεστής) του περιβάλλοντος αλλά από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Μας χρησιμεύει κυρίως για να διαστασιολογήσουμε τους αγωγούς συνεχούς ρεύματος και φυσικά τα υλικά του πίνακα συνεχούς ρεύματος. Φυσικά και για το ρεύμα υπάρχει περιορισμός στην είσοδο του μετατροπέα.

Η ονομαστική ισχύς τέλος επηρεάζεται περισσότερο από όλα τα ηλεκτρικά μεγέθη ( $-0,44\%/^{\circ}\text{C}$  ο θερμοκρασιακός συντελεστής). Ενδεικτικά να αναφέρουμε ότι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος  $20^{\circ}\text{C}$  η ονομαστική ισχύς του πάνελ, σύμφωνα με το τεχνικό εγχειρίδιο, είναι  $204\text{Wp}$ .



**Εικόνα 81 Καμπύλη ρεύματος τάσης & ισχύος τάσης**

Το επόμενο βήμα είναι να προσπαθήσουμε να διαστασιολογήσουμε τα πάνελ στον μετατροπέα. Έπειτα θα επιβεβαιώσουμε τους υπολογισμούς μας με το πρόγραμμα εξομοίωσης της εταιρίας του μετατροπέα.

Με βάση τη χωροθέτηση των πάνελ και την υπερύψωση που πετύχαμε με τη βοήθεια των βάσεων στήριξης, δεν χρειαζόμαστε παραπάνω από ένα ανιχνευτή του σημείου της μέγιστης ισχύος, καθώς όλα τα πάνελ θα έχουν τον ίδιο προσανατολισμό και την ίδια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Ο μετατροπέας που επιλέξαμε έχει τρεις και υποχρεωτικά πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τους δύο. Επομένως θα ισομοιάσουμε τα πάνελ στις δύο εισόδους του μετατροπέα. Θα μπορούσαμε να ισομοιάσουμε τα πάνελ και στις τρεις εισόδους του μετατροπέα, όμως όπως αναφέρει το εγχειρίδιο εγκατάστασης του μετατροπέα οι μέγιστες αποδόσεις επιτυγχάνονται με την υψηλότερη δυνατή τάση εισόδου. Αυτές οι επιδόσεις είναι εφικτές όταν με την ίδια ισχύ συνδέονται όσο το δυνατόν λιγότερες εισοδοί.

	A' είσοδος μετατροπέα	B' είσοδος μετατροπέα
Αριθμός πάνελ	18 πάνελ σε σειρά	17 πάνελ σε σειρά
Ελάχιστη τάση λειτουργίας	18x28=504V	17x28=476V
Μέση τάση λειτουργίας	18x32=576V	17x32=544V
Μέγιστη τάση λειτουργίας	18x50=900V	17x50=850V
Ρεύμα λειτουργίας <sup>5</sup>	7,95x1,25=9,94A	7,95x1,25=9,94A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	8,33x1,25=10,41A	8,33x1,25=10,41A

**Πίνακας 34 Διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών πάνελ.**

Έτσι βλέποντας το τεχνικό εγχειρίδιο του μετατροπέα παρατηρούμε ότι είμαστε μέσα στα όρια τάσης που λειτουργεί το σημείο μέγιστης ισχύος (420-850V). Στην A' είσοδο του μετατροπέα η απόκλιση που υπάρχει στη μέγιστη θερμοκρασία θα προκύψει μια ημέρα με πάρα πολύ κρύο, ενώ στη B' είσοδο βλέπουμε ότι είμαστε εντός ορίων σε οποιαδήποτε θερμοκρασία.

<sup>5</sup> Οι τιμές των ρευμάτων λειτουργίας και βραχυκύκλωσης με βάση το πρότυπο EN 62446:2009 θα πρέπει να πολλαπλασιάζονται με το 1,25.

### Αντιστροφέας ΡΙΚΟ 10.1

- Τριφασική τροφοδοσία για αποφυγή ασυμμετρών τάσης
- Μετατροπή χωρίς μετασχηματιστή
- Δυνατότητα παράλληλης σύνδεσης των δύο ανεξάρτητων MFP-Trackers για επέκταση του ρεύματος εισόδου
- Καταγραφή δεδομένων και διάφορες θύρες διασύνδεσης στάνταρ: Ethernet, RS485, εισόδος S0 και έξοδος
- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός αποδύκτης DC
- Κατασκευή χωρίς μολύβδο σύμφωνα με την οδηγία ΕΕ RoHS



### Τεχνικά στοιχεία

Πλευρά εισόδου (μήγμα DC)		Πλευρά εξόδου (μήγμα AC)	
Αριθμός εισόδων DC / Αριθμός MFP-Tracker	3 / 3	Αριθμός φάσεων τροφοδοσίας	3
Μέγ. προτεινόμενη ισχύς DC	11000 W	Τάση δικτύου	3/N/PE, AC, 230 V / 400 V
Μέγ. τάση εισόδου (τάση ανοικτού κυκλώματος)	950 V	Υποσέλι, κάτω όριο απενεργοποίησης τάσης	254,5 V (GR)
Ελάχ. τάση εισόδου	180 V	Υποσέλι, κάτω όριο απενεργοποίησης τάσης	184 V (GR)
Αρχική τάση εισόδου	180 V	Μέγ. ρεύμα εισόδου ανά φάση	14,6 A
Ονομαστική τάση εισόδου	680 V	Ονομαστική ισχύς AC	9000 W
Μέγ. τάση MFP με ονομαστική ισχύ DC αντιστροφής	850 V	Μέγ. ισχύς AC	10100 W (βέλγιο 10000 W)
Ελάχ. Τάση MFP λειτουργία, με ονομαστική ισχύ DC αντιστροφής, σε συμμετρική λειτουργία Multistring, δύο tracker ή παράλληλη λειτουργία	420 V	Μέγιστος βαθμός απόδοσης	96 %
Δευτερεύουσα, κάτω περιοχή τάσης MFP, με τυμωτική ισχύ αντιστροφής	180 V ... Υπέρ μη	Ευρεσιμετρικός βαθμός απόδοσης	95,4 %
Μέγ. προς μεταφορά ποσοστό ισχύος DC στη δευτερεύουσα περιοχή τάσης MFP	70 %	Ονομαστική συχνότητα	50 Hz
Μέγ. ρεύμα εισόδου	12,5 A	Ελάχ. Συχνότητα δικτύου fmin, όριο απενεργοποίησης	48,5 Hz (GR)
Μέγ. ρεύμα εισόδου σε παράλληλη σύνδεση	25 A	Μέγ. συχνότητα δικτύου fmax, όριο απενεργοποίησης	50,5 Hz (GR)
		Απώλεια εντάσεως τάσης	<1 W
		Κατηγορία προστασίας	I
		Γαλβανική απομόνωση	Χωρίς μεταστροφή
		Όνομα Σημαντικότητας αερίου κενού Cos phi	1
		Είδος επέμβασης δικτύου	ENS, Παρακολούθηση θύσεων
		Προστασία πολικότητας	Δίοδοι θραυστικού κυκλώματος στην πλευρά DC
		Προστασία προκύπτων	AFI και παρακολούθηση θραυστικού κυκλώματος γείωσης
		Συνθήκες χρήσης	Εσωτερικό + εξωτερικό
		Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20° ... 60° C
		Μέγ. θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Ροίκω	40° C
		Μέγ. ατμοσφαιρική υγρασία	0 ... 95 %
		Μέθοδος ψύξης	Ρυθμιζόμενος αντιστροφέας
		Μέγ. θόρυβος	Αερισμός: 25% -> 33dB(A) Αερισμός: 50% -> 41dB(A) Αερισμός: 75% ... 100% -> <46dB(A)
		Κατηγορία προστασίας IP κατά IEC 60529	IP 55
		Τεχνική σύνδεση πλευράς εισόδου	MC 4
		Τεχνική σύνδεση πλευράς εξόδου	Ελαστική σύνδεση αεροδότην
		Διαστάσεις (Π/Β/Υ)	520 x 230 x 450 mm <sup>3</sup>
		Γραμμή	34 kg
		Σημείο αποδύκτης	Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός αποδύκτης



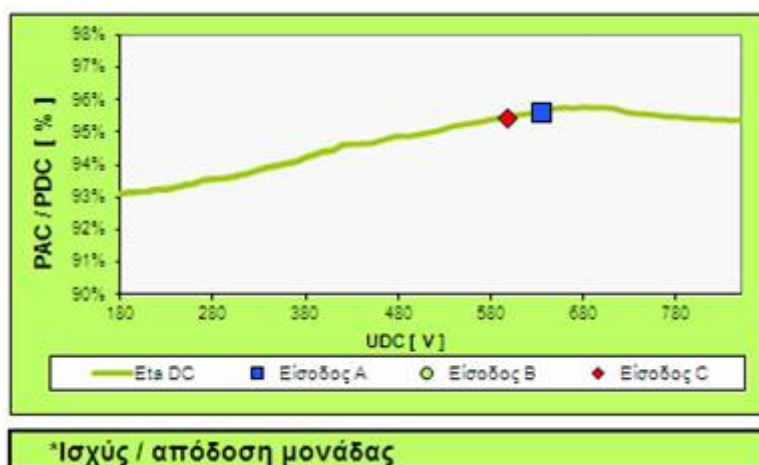
Εικόνα 82 Τεχνικό εγχειρίδιο μετατροπέα

Με τη βοήθεια του προγράμματος εξομίωσης του μετατροπέα θα επιβεβαιώσουμε ότι οι θεωρητικοί υπολογισμοί που πραγματοποιήσαμε είναι ορθοί και δεν θα έχουμε πρόβλημα με τη λειτουργία και απόδοση του μετατροπέα μας και του συστήματος.

Χαρακτηριστικά μονάδας		μετατροπέα			
Θέση της μονάδας	GREECE Athens / Αθήνα	ΡΙΚΟ 10.1 (Software < 03.90) parallel			
Αζιμούθιο	20° Δύση	Όνομαστική ισχύς AC	10,00 kW		
Κλίση στέγης	35°	Μέγιστη ισχύς AC	10,00 kW		
	Ολική αποκοπή/αύλιο κακλώνες επάνω				
	1.770 kWh/ετη	Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος	25°C		
Χαρακτηριστικά πλαισίων		Είσοδος A    B		Είσοδος C	
Επιλογή κατασκευαστή	αντιγραφή εισόδου A	Εισαγωγή	Εισαγωγή	Εισαγωγή	Εισαγωγή
Επιλογή τύπου πλαισίου	ST7280-24Vdc	ST7280-24Vdc	ST7280-24Vdc	ST7280-24Vdc	ST7280-24Vdc
Μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	45 V	45 V	45 V	45 V	45 V
Τάση ανοιχτού κυκλώματος σε -10 °C	50 V	50 V	50 V	50 V	50 V
Τάση MPP σε STC	35 V	35 V	35 V	35 V	35 V
Τάση MPP σε +50 °C	31 V	31 V	31 V	31 V	31 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	8,3 A	8,3 A	8,3 A	8,3 A	8,3 A
Ισχύς DC	280 Wp	280 Wp	280 Wp	280 Wp	280 Wp
Αριθμός πλαισίων ανά string	5 ... 15	15	15	5 ... 15	17
Αριθμός strings	1 ... 3	1	1	1 ... 1	1
Μεμονωμένα αποτελέσματα		Είσοδος A    B		Είσοδος C	
	Ορατή τιμή (για μετατροπέα)				
Τάση ανοιχτού κυκλώματος σε STC	950 V	908 V	✓	762 V	✓
Τάση ανοιχτού κυκλώματος σε -10 °C	950 V	902 V	✓	852 V	✓
Τάση MPP σε STC	180 V	634 V	✓	688 V	✓
Τάση MPP σε +50 °C	180 V	585 V	✓	634 V	✓
Ρεύμα ανά είσοδο DC	25 A / 12,5 A	8,3 A	✓	8,3 A	✓
Βαθμός απόδοσης		95,6%		95,6%	
Ισχύς ανά είσοδο DC		5,04 kWp		4,76 kWp	

Εικόνα 83 Πρόγραμμα εξομοίωσης μετατροπέα

Όπως παρατηρούμε και οι δύο στοιχειοσειρές πάνελ που εισάγαμε στο πρόγραμμα εξομοίωσης δεν θα έχουν κανένα απολύτως πρόβλημα στη λειτουργία τους ακόμα και σε ακραίες θερμοκρασίες. Βλέπουμε ότι ο μετατροπέα από μόνος του, εφ' όσον δεν υπάρχουν τρεις στοιχειοσειρές, απαιτεί τον παραλληλισμό των δύο.



Εικόνα 84 Διάγραμμα βαθμού ισχύος προς τάση συνεχούς ρεύματος στοιχειοσειρών.

Το παραπάνω διάγραμμα μας δείχνει τον λόγο ισχύος των δύο στοιχειοσειρών σε σχέση με την τάση λειτουργίας τους. Παρατηρούμε πως ο βαθμός απόδοσης και

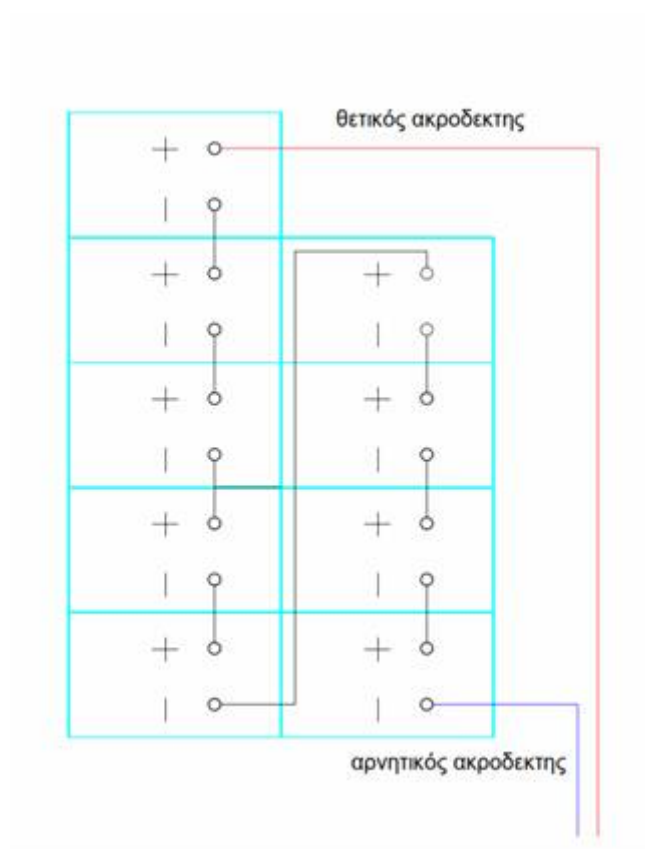
των δύο στοιχειοσειρών είναι πολύ κοντά στο μέγιστο κάτι που σημαίνει πως το σύστημα μας θα λειτουργεί πολύ κοντά στη μέγιστη δυνατή παραγωγή.

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε ότι στην διαστασιολόγηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει να λαμβάνουμε υπ' όψιν τον προσανατολισμό και την κλίση των πάνελ, αλλά και τη γήρανσή τους. Ας υποθέσουμε ότι ένα σύστημα έχει μια στοιχειοσειρά με μέγιστη ισχύ τα 2,5KWp, η οποία έχει κλίση 12° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και προσανατολισμό 30 μοίρες δυτικά. Δεδομένο είναι ότι η στοιχειοσειρά αυτή, πέρα από τις δεδομένες απώλειες θερμοκρασίας, δεν θα υπερβεί ποτέ τα 1,7KWp. Αλλά ακόμη και αν ο προσανατολισμός και η κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο ήταν η βέλτιστη, τότε θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας και τη γήρανση του πάνελ. Ένα πάνελ, με βάση τα λεγόμενα του κατασκευαστή, κάθε έτος λειτουργίας του χάνει περίπου 1,5% από την ονομαστική ισχύ του. Με βάση όλα τα παραπάνω εύκολα προκύπτει ότι θα πρέπει να υποδιαστασιολογούμε τα φωτοβολταϊκά συστήματα για να μην έχουμε στο μέλλον μικρούς βαθμούς απόδοσης και εν γένει υπολειτουργία των συστημάτων. Για παράδειγμα αν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα σύστημα 7,8Kip με δύο στοιχειοσειρές. Η πρώτη στοιχειοσειρά έχει ισχύ 4KWp με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο 25° και προσανατολισμό 10° ανατολικά. Και η δεύτερη έχει ισχύ 3,8KWp με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο 25° και προσανατολισμό 50° δυτικά. Το προφανές θα ήταν να επιλέξουμε έναν μετατροπέα με ονομαστική ισχύ τα 8KWp. Όμως με δεδομένα όλα τα παραπάνω, θα πρέπει να επιλέξουμε έναν μετατροπέα με ονομαστική ισχύ τα 7KWp, εάν φυσικά το εγχειρίδιο εγκατάστασης του το επιτρέπει.

- ✓ Αγωγοί συνεχούς ρεύματος.

Οι αγωγοί συνεχούς ρεύματος συνδέουν τις δύο στοιχειοσειρές των πάνελ με τον πίνακα συνεχούς ρεύματος και τον πίνακα συνεχούς ρεύματος με τον μετατροπέα.

Πριν κάνουμε την επιλογή μας θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι οι αγωγοί αυτοί θα πρέπει να αντέχουν σε τάση έως και 1000VDC.

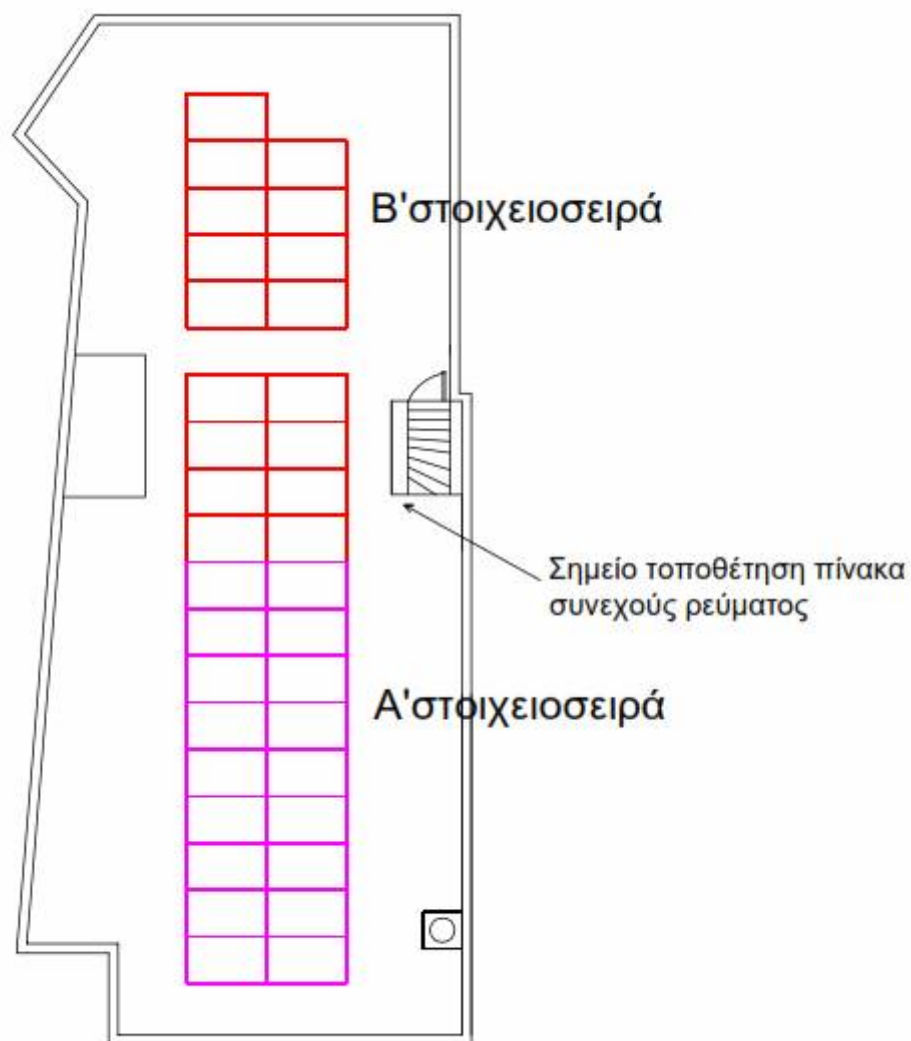


**Εικόνα 85 Παράδειγμα συνδεσμολογίας στοιχειοσειράς**

Όπως εύκολα παρατηρούμε ο θετικός ακροδέκτης του ενός πάνελ συνδέεται με τον αρνητικό του άλλου και έτσι με αυτό τον τρόπο τα πάνελ της στοιχειοσειράς συνδέονται σε σειρά και οι δύο ακροδέκτες που περισσεύουν (θετικός & αρνητικός) οδηγούνται στον πίνακα συνεχούς ρεύματος. Για να συνδέσουμε τις στοιχειοσειρές στον μετατροπέα θα χρησιμοποιήσουμε κονέκτορες τύπου “Huber+Sunhner” αρσενικού και θηλυκού τύπου.

Στην εγκατάσταση μας τώρα οι δύο στοιχειοσειρές θα χωριστούν με βάση το “flashlist” των πάνελ που θα προμηθευτούμε. Τα πάνελ στην πράξη έχουν κάποιες μικρές διαφορές στα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά. Έτσι έμεις τα ταξινομούμε με βάση το ρεύμα λειτουργίας τους όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα: Με κίτρινο χρώμα είναι η Α' Στοιχειοσειρά και με λευκό η Β' Στοιχειοσειρά.

Seriennummer	Palettennummer	Voc(V)	Isc(A)	Pmax(W)	Vpm(V)	Ipm(A)	Modultyp
947113476080050812	CNSTP121030000790	44,9	8,51	296,7	36,1	8,22	STP285-24/Vd
947113476080070812	CNSTP121030000790	45	8,47	297	36,5	8,13	STP285-24/Vd
947113476080150812	CNSTP121030000790	44,6	8,47	294,3	36,3	8,12	STP285-24/Vd
947113476080170812	CNSTP121030000790	45	8,51	297,1	36,2	8,21	STP285-24/Vd
947113476080320812	CNSTP121030000790	45	8,55	296,6	36,2	8,19	STP285-24/Vd
947113476080520812	CNSTP121030000790	45	8,58	296,2	36,1	8,2	STP285-24/Vd
947113476080530812	CNSTP121030000790	45	8,58	297,3	36,3	8,2	STP285-24/Vd
947113476080550812	CNSTP121030000790	45	8,63	298	36,2	8,23	STP285-24/Vd
947113476080690812	CNSTP121030000790	44,9	8,51	295,5	36,8	8,04	STP285-24/Vd
947113476080740812	CNSTP121030000790	44,7	8,53	294,6	36	8,17	STP285-24/Vd
947113476080790812	CNSTP121030000790	44,8	8,53	293,5	36,3	8,09	STP285-24/Vd
947113476080850812	CNSTP121030000790	44,7	8,48	292,4	36	8,13	STP285-24/Vd
947113476081000812	CNSTP121030000790	44,8	8,6	295,5	36,2	8,17	STP285-24/Vd
947113476081100812	CNSTP121030000790	44,9	8,57	296,4	36,2	8,19	STP285-24/Vd
947113461814780612	CNSTP121030000850	44,5	8,46	285,7	35,9	7,97	STP285-24/Vd
947113476080160812	CNSTP121030000850	44,7	8,56	287,2	36	7,98	STP285-24/Vd
947113476080180812	CNSTP121030000850	44,8	8,61	288,3	36,1	8	STP285-24/Vd
947113476081720812	CNSTP121030000850	44,9	8,56	288,5	36	8,01	STP285-24/Vd
947113476090490812	CNSTP121030000850	44,6	8,55	286,8	35,9	8	STP285-24/Vd
947113476090800812	CNSTP121030000850	44,8	8,54	290	36,1	8,02	STP285-24/Vd
947113476091120812	CNSTP121030000850	44,5	8,58	286,4	35,9	7,97	STP285-24/Vd
947113476091220812	CNSTP121030000850	44,9	8,57	289,7	36,1	8,02	STP285-24/Vd
947113476091390812	CNSTP121030000850	44,9	8,55	291,3	36,4	8,01	STP285-24/Vd
947113476091500812	CNSTP121030000850	44,6	8,53	287,6	35,8	8,02	STP285-24/Vd
947113476091550812	CNSTP121030000850	44,8	8,58	289,1	36	8,02	STP285-24/Vd
947113476093180812	CNSTP121030000850	44,9	8,6	289,5	36,1	8,02	STP285-24/Vd
947113476093550812	CNSTP121030000850	44,8	8,51	285,9	35,9	7,96	STP285-24/Vd
947113476093670812	CNSTP121030000850	44,8	8,59	288,6	36	8,01	STP285-24/Vd
947113476093750812	CNSTP121030000850	44,9	8,56	289,6	36,1	8,02	STP285-24/Vd
947113476093760812	CNSTP121030000850	44,8	8,54	287,3	36	7,98	STP285-24/Vd
947113476093830812	CNSTP121030000850	44,8	8,57	287,2	35,8	8,01	STP285-24/Vd
947113476094770812	CNSTP121030000850	44,8	8,52	289,9	36,3	7,99	STP285-24/Vd
947113476094820812	CNSTP121030000850	44,9	8,58	289,6	36,1	8,02	STP285-24/Vd
947113476094840812	CNSTP121030000850	45	8,58	290,3	36,2	8,01	STP285-24/Vd
947113476094970812	CNSTP121030000850	44,9	8,58	290,4	36,2	8,01	STP285-24/Vd



**Εικόνα 86 Κάτοψη Στοιχειοσειρών των Φωτοβολταϊκών Πάνελ στις δύο Εισόδους του Μετατροπέα**

Η διατομή των αγωγών του πάνελ είναι  $4\text{mm}^2$  και έχουν μήκος 1m. Με βάση τον κατασκευαστή αυτή θα πρέπει να είναι η ελάχιστη διατομή που μπορούμε να επιλέξουμε.

Έτσι αν υποθέσουμε ότι επιλέγουμε τον αγωγό με διατομή  $4\text{mm}^2$ , θα πρέπει να εξετάσουμε αν το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να περάσει από τον αγωγό θα δημιουργήσει πρόβλημα στη μόνωση του και φυσικά αν υπάρχουν απώλειες ισχύος τέτοιες έτσι ώστε να επιλέξουμε μεγαλύτερη διατομή.

Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει τον αγωγό είναι 10,41A, όπως είδαμε παραπάνω.

Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει τον αγωγό χωρίς να του δημιουργήσει βλάβη με βάση τους πίνακες 52-K1 & 52-Δ1 του πρότυπου HD384 υπολογίζεται από τον τύπο:

$$A = K1 * \Delta 1$$

$$A = 23 * 0,71 = 16,33A$$

όπου:

- ✓ K1 είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα ορατών ηλεκτρικών γραμμών με μόνωση PVC και τοποθετημένων σε σωλήνα, για την διατομή 4mm<sup>2</sup>.
- ✓ Δ1 είναι ο συντελεστής διόρθωσης για θερμοκρασίας περιβάλλοντος διαφορετική των 30°C. Επειδή οι αγωγοί θα είναι τοποθετημένοι επάνω στην πλάκα και σε άμεση έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία υποθέτουμε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος θα αγγίξει τους 50 °C.

Ακόμα θα φροντίσουμε η απόσταση μεταξύ του θετικού και του αρνητικού αγωγού να είναι τουλάχιστον διπλάσια της διαμέτρου του. Ο λόγος που θα το κάνουμε αυτό είναι για να μην έχουμε περαιτέρω απώλειες, με βάση τον πίνακα 52-E 1 που αναφέρεται στην ομαδοποίηση περισσότερων από ένα φορτισμένων αγωγών.

Επομένως όσον αφορά την αντοχή του αγωγού στην τιμή του ρεύματος που τον διαρρέει συμπεραίνουμε ότι η διατομή 4mm<sup>2</sup> μας αρκεί.

Το επόμενο που θα πρέπει να εξετάσουμε θα πρέπει να είναι η πτώση τάσης του αγωγού λόγω της απόστασης. Το μήκος των αγωγών και των δύο στοιχειοσειρών από το πάνελ στον πίνακα είναι 15 μέτρα. Ο τύπος που θα μας δώσει το αποτέλεσμα που χρειαζόμαστε είναι:

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * l * I * \cos \varphi}{S * n} = \frac{2 * 0,017 * 15 * 8 * 1}{4 * 1} = 1,02V$$

Όπου:

- ✓ ρ είναι η ειδική αντίσταση του χαλκού.
- ✓ l είναι το μήκος του αγωγού.
- ✓ I είναι το ρεύμα λειτουργίας που διαρρέει τον αγωγό.
- ✓ Cosφ είναι ο συντελεστής ισχύος.
- ✓ S είναι η διατομή του αγωγού.
- ✓ n είναι ο αριθμός αγωγών στην ίδια φάση.

Τα 1,02V πτώση τάσης της γραμμής, που μεταφράζονται σε 0,15% απώλειες ισχύος με ανώτατο όριο το 1% κρίνεται αποδεκτή τιμή, επομένως για την μεταφορά συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος από τα πάνελ στον πίνακα συνεχούς ρεύματος θα χρησιμοποιήσουμε τέσσερις αγωγούς διατομής 4mm<sup>2</sup> (δύο για κάθε στοιχειοσειρά).

Ο κάθε αγωγός θα τοποθετηθεί εντός σωλήνας τύπου σπιράλ βαρέως τύπου. Για να ξεχωρίζουμε τον θετικό και τον αρνητικό αγωγό της στοιχειοσειράς θα χρησιμοποιήσουμε κόκκινο αγωγό για το θετικό και μαύρο για τον αρνητικό.



Εικόνα 87 Αγωγός Συνεχούς Ρεύματος

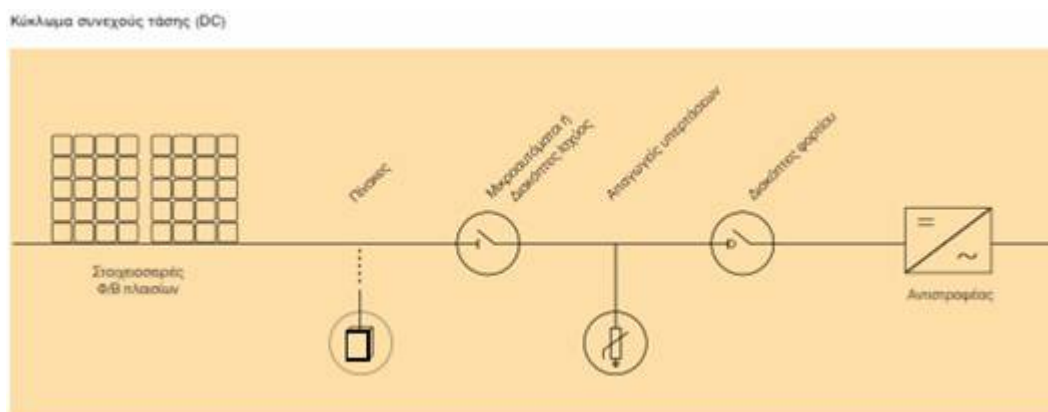
Κατασκευαστής	Oflex Solar
Τύπος	XLS
Διατομή	4mm <sup>2</sup>
Ονομαστική τάση	900-1500VDC
Μέγιστη Τάση Λειτουργίας	1800VDC
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-40 °C έως +100°C
Κλίση Αγωγού	<90°

Πίνακας 35 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αγωγού Συνεχούς Ρεύματος

Την ίδια διατομή αγωγού θα χρησιμοποιήσουμε και για την σύνδεση των στοιχειοσειρών από τον πίνακα συνεχούς ρεύματος στον μετατροπέα.

#### ✓ Πίνακας Συνεχούς Ρεύματος

Ο πίνακας συνεχούς ρεύματος θα αποτελείται από το ερμάριο, τον διακόπτη φορτίου, τις ασφάλειες τήξεως των στοιχειοσειρών και τον απαγωγό κρουστικών υπερτάσεων με την σειρά που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



**Εικόνα 88 Υπόδειγμα Πίνακα Συνεχούς Ρεύματος**

Στην θέση του μικροαυτόματου όπως φαίνεται στο σχήμα θα τοποθετήσουμε ασφάλειες τήξεως. Για καλύτερο έλεγχο στο κύκλωμα θα ασφαλίσουμε και τους τέσσερις αγωγούς των δύο στοιχειοσειρών (θετικό και αρνητικό). Όπως είδαμε παραπάνω το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει τον αγωγό των στοιχειοσειρών είναι 10,41A. Επομένως τα φουσίγγια που θα τοποθετήσουμε στις ασφαλειοθήκες θα είναι 12A.

Οι δύο απαγωγοί υπερτάσεων (ένας για κάθε στοιχειοσειρά) θα είναι τύπου T2, όπως αναλύσαμε και στο κεφάλαιο «Γείωσης και αντικεραυνική προστασία».

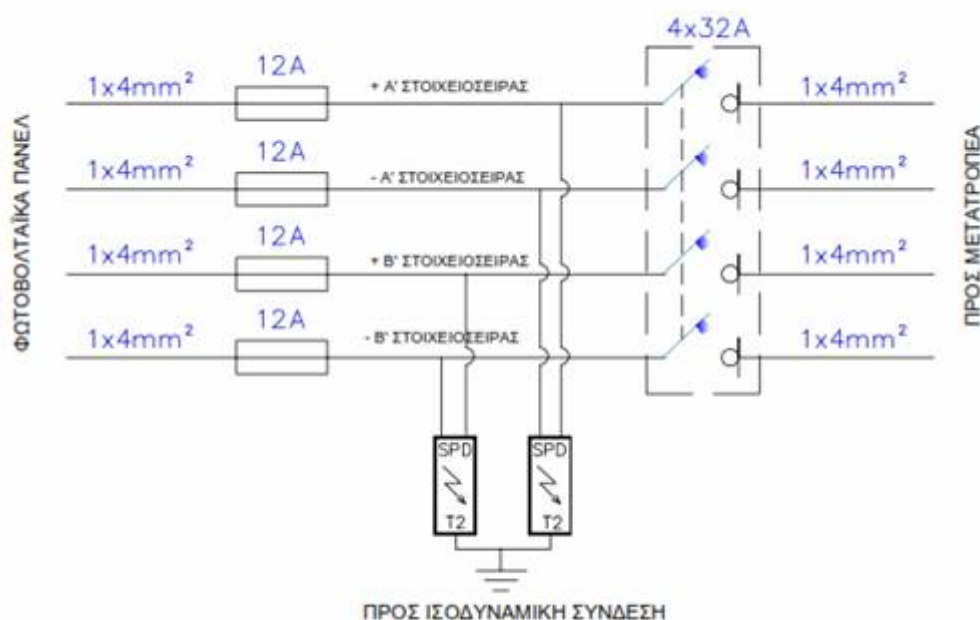
Ο διακόπτης φορτίου θα είναι τετραπολικός για να ελέγχει και τους τέσσερις αγωγούς των στοιχειοσειρών. Με δεδομένο ότι κάθε αγωγός δεν αναμένεται να ξεπεράσει τα 12A η ονομαστική τιμή του τετραπολικού διακόπτη μπορεί να είναι 32A με μέγιστη τάση λειτουργίας τα 1000V.

Το ερμάριο θα πρέπει να είναι 10 θέσεων και να παρέχει προστασία IP65, αφού θα τοποθετηθεί σε εξωτερικό χώρο και για την σωστή μόνωση των οπών που θα κάνουμε για να περαστούν οι αγωγοί εντός πίνακα θα προμηθευτούμε κατάλληλους στυπιοθλίπτες.

Υλικά Πίνακα Συνεχούς Ρεύματος:

Υλικό	Ποσότητα	Ονομαστική Ένταση (A)	Ονομαστική Τάση (V) 136	Κατασκευαστής	Κωδικός	Κόστος προ ΦΠΑ (€)

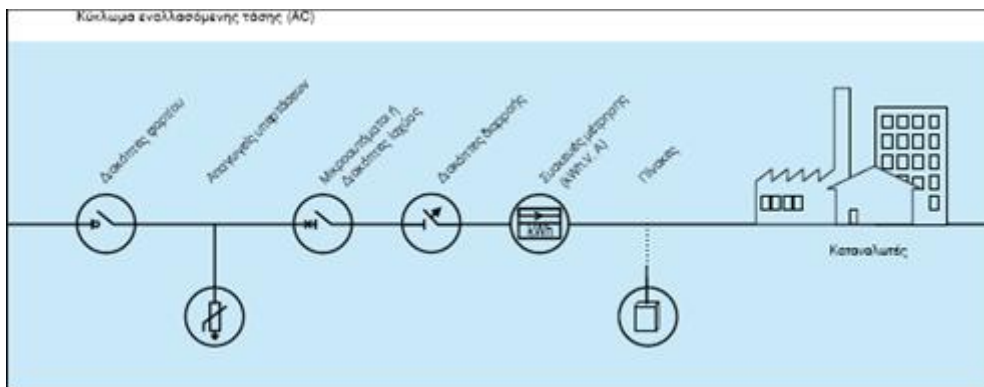
<b>Πίνακας 36</b> <b>Κόστος</b> <b>Εξαρτημάτων</b> <b>των</b> <b>Πίνακα</b> <b>Συνεχούς</b> <b>Ρεύματος</b>	Ασφαλειοθήκη	4	-	-	Hager	L501PV	3,47
	Φυσίγγι	4	12	1000	Hager	LF312PV	8,60
	Απαγωγός Υπερτάσεων	2	25000	1000	ΕΛΕΜΚΟ	6810312	516,60
	Διακόπτης Φορτίου	1	4x32	1000	Hager	SB432PV	120,00
	Ερμάριο	1	-	-	Hager	VE110PN	25,60
	Στυπιοθλίπτες	4	-	-	Hager	VZ016M	5,12
	Μεταλλική πλάτη στήριξης	1	-	-	Hager	VZ041	35,50
						Συνολικό Κόστος	<b>714,89</b>



Εικόνα 89 Λειτουργικό σχέδιο πίνακα συνεχούς ρεύματος

✓ Πίνακας εναλλασσομένου ρεύματος

Ο πίνακας εναλλασσομένου ρεύματος θα αποτελείται από το ερμάριο, τον διακόπτη φορτίου, τους διακόπτες ισχύος και τον απαγωγό κρουστικών υπερτάσεων. Λόγω της ύπαρξης ενσωματωμένου ρελέ διαρροής ρεύματος στον μετατροπέα επιλέγουμε να μην τοποθετήσουμε επιπλέον ρελέ διαρροής και στον πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος καθώς κρίνεται περιττός.



**Πίνακας 37 Υπόδειγμα Πίνακα Εναλλασσόμενου Ρεύματος**

Και εδώ για να μπορέσουμε να επιλέξουμε το διακοπτικό υλικό του πίνακα θα πρέπει να γνωρίζουμε το ρεύμα και την τάση των αγωγών κάτι το οποίο υπολογίζεται από το πρόγραμμα εξομοίωσης του μετατροπέα και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

### AC τριφασικό

Wechselrichter				
ΡΙΚΟ	4.2	5.5	8.3	10.1
Αριθμός μετατροπέων	0	0	0	1 ΤΕΜ.
Ολικό ρεύμα / φάση	14,5 A			
Ονομαστική τάση (3*230V)	400 V			
Μέγιστη ισχύς AC (cos φ = 1)	10,00 kVA			

**Πίνακας 38 Υπολογισμός Ρεύματος Εξόδου Μετατροπέα με βάση το Πρόγραμμα Εξομοίωσης**

Επομένως με βάση τον παραπάνω πίνακα θα έχουμε 14,5Α ρεύμα λειτουργίας αγωγού ανά φάση και 400V πολική τάση. Και εδώ η επιλογή του διακοπτικού υλικού θα γίνει με την διόρθωση του ρεύματος ( $14,5 \cdot 1,25 = 18,12A$ ) με βάση το πρότυπο EN 62446:2009.

Η απόσταση του αγωγού εναλλασσομένου ρεύματος από τον μετατροπέα στο πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος θα είναι περίπου 2 μέτρα επομένως η πτώση τάσης θα είναι αμελητέα άρα το μόνο που θα πρέπει να επιλέξουμε είναι η διατομή του αγωγού με βάση το πρότυπο HD 384.

Έτσι με δεδομένο ότι ο αγωγός θα έχει μόνωση PVC, θα είναι επιτείχιος και θα βρίσκεται μέσα σε σωλήνα. Η μέγιστη θερμοκρασία δεν θα ξεπεράσει τους 30° και

ο αγωγός δεν θα είναι σε επαφή με άλλους, με βάση τον πίνακα 52-K1 επιλέγουμε διατομή αγωγού σύνδεσης μετατροπέα και πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος τα 6mm<sup>2</sup>. Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει τον αγωγό χωρίς να του δημιουργεί βλάβη είναι τα 34A.

Όσον αφορά το διακοπτικό υλικό για διακόπτη φορτίου θα επιλέξουμε τρεις αυτόματες ασφάλειες διπολικές ονομαστικού ρεύματος 20A, καμπύλης B. Στην ουσία θα τοποθετήσουμε έναν ηλεκτρονόμο για τις τρεις φάσεις που σε περίπτωση υπερέντασης θα κόβει το κύκλωμα.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η καμπύλη σε ένα ηλεκτρονόμο υποδεικνύει την ευαισθησία τους σε στιγμιαίες υπερεντάσεις. Έτσι ένας ηλεκτρονόμος με καμπύλη B είναι λιγότερο ευαίσθητος στις στιγμιαίες υπερεντάσεις από έναν με καμπύλη C. Με βάση το εγχειρίδιο εγκατάστασης του μετατροπέα η καμπύλη του διακοπτικού υλικού θα πρέπει να είναι B.

Για διακόπτη ελέγχου φορτίου θα επιλέξουμε έναν τριπολικό διακόπτη με τον οποίο θα μπορούμε ανά πάσα στιγμή να ελέγχουμε τις τρεις φάσεις. Ο διακόπτης θα έχει ονομαστικό ρεύμα 25A, καμπύλης B.

	ΡΙΚΟ						
	3.0	3.2	4.2	5.5	7.0	8.3	10.1
Τύπος	μονοπολικός		τριπολικός				
Χαρακτηριστικά διέγερσης	B						
Ονομαστικό ρεύμα	25 A		16 A			25 A	

**Πίνακας 39 Συνιστώμενοι Διακόπτες Προστασίας Αγωγών AC**

Τέλος θα τοποθετήσουμε τον τριφασικό απαγωγό κρουστικών υπερτάσεων όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο «Γείωση & Αντικεραυνική Προστασία».

Το ερμάριο θα πρέπει να είναι 16 θέσεων και να παρέχει προστασία IP65, αφού θα τοποθετηθεί σε εξωτερικό χώρο και για την σωστή μόνωση των οπών που θα κάνουμε για να περαστούν οι αγωγοί εντός πίνακα θα προμηθευτούμε κατάλληλους στυπιοθλίπτες.

Όλοι οι αγωγοί που θα χρησιμοποιηθούν εντός του πίνακα θα είναι τύπου NYAF, διατομής 10mm<sup>2</sup> και κατάλληλου χρώματος. Η επιλογή της διατομής έγινε με

γνώμονα τη πιθανή υπέρταση εντός του πίνακα. Έτσι ενώ θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αγωγούς διατομής 4mm<sup>2</sup>, θα χρησιμοποιήσουμε αγωγούς 10mm<sup>2</sup>, για να προστατέψουμε τον αγωγό. Για τη σήμανση των αγωγών θα χρησιμοποιήσουμε μαύρο, καφέ, γκρι χρώμα για τις τρεις φάσεις, μπλε για τον ουδέτερο και κιτρινοπράσινο για την γείωση.

Τέλος θα πρέπει να υπολογίσουμε την διατομή του αγωγού που θα συνδέει τον πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος με το δίκτυο. Η ελάχιστη διατομή που μας επιτρέπει η ΔΕΗ να χρησιμοποιήσουμε είναι τα 10mm<sup>2</sup>.

Στην πράξη το μήκος του αγωγού θα είναι 15μέτρα, ενώ το μέγιστο ρεύμα ανά φάση είναι 18,12Α όπως είδαμε και παραπάνω.

Έτσι αν υποθέσουμε ότι επιλέγουμε την διατομή των 10mm<sup>2</sup>, για αγωγό πολυπολικό, επιτείχιο με μόνωση PVC με βάση τον πίνακα 52-K1 του πρότυπου HD 384 το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει τον αγωγό χωρίς να του δημιουργεί βλάβη είναι τα 46<sup>A</sup>.

Ακόμα η πτώση τάσης του αγωγού υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * l * I \pi * \cos\varphi}{S * n} = \frac{\sqrt{3} * 0,017 * 15 * 18,12 * 1}{10 * 1} = 0,79V$$

όπου:

- ρ είναι η ειδική αντίσταση του χαλκού.
- l είναι το μήκος του αγωγού.
- I είναι το ρεύμα λειτουργίας που διαρρέει τον αγωγό.
- Cosφ είναι ο συντελεστής ισχύος.
- S είναι η διατομή του αγωγού.
- n είναι ο αριθμός αγωγών στην ίδια φάση.

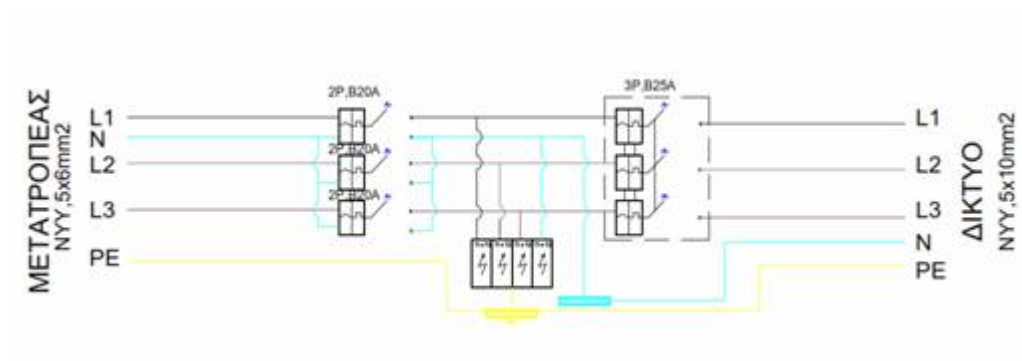
Τα 0,79V μεταφράζονται σε απώλειες ισχύος 0,16% με όριο το 1%. Επομένως για την σύνδεση του πίνακα εναλλασσομένου ρεύματος με το δίκτυο θα χρησιμοποιήσουμε αγωγό NYY 5x10mm<sup>2</sup>.



Εικόνα 90 Πίνακας Εναλλασσομένου Ρεύματος

Υλικό	Ποσότητα	Ονομαστική Ένταση (A)	Ονομαστική Τάση (V)	Κατασκευαστής	Κωδικός	Κόστος προ ΦΠΑ (€)
Ασφάλειες	3	20	-	Hager	L501PV	3,47
Διακόπτης Φορτίου	1	25	-	Hager	LF312PV	8,60
Απαγωγός Υπερτάσεων	1	25000	1000	ΕΛΕΜΚΟ	6854200	676,50
Ερμάριο	1	-	-	Hager	VE110PN	25,60
Στυπιοθλίπτες	2	-	-	Hager	VZ016M	5,12
Μεταλλική πλάτη στήριξης	1	-	-	Hager	VZ041	35,50
					Συνολικό Κόστος	<b>754,79</b>

Πίνακας 40 Κόστος Υλικών Πίνακα Εναλλασσομένου Ρεύματος



Εικόνα 91 Λειτουργικό σχέδιο πίνακα εναλλασσόμενου ρεύματος



Έτσι μετά την ολοκλήρωση της μελέτης εφαρμογής προχωράμε στην παραγγελία του υπόλοιπου ηλεκτρολογικού υλικού όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Υλικό	Μονάδα Μέτρησης	Ποσότητα	Τιμή μονάδας (€)	Συνολική Αξία (€)	Συνολική Αξία Με Φ.Π.Α. (€)
Αγωγός Συνεχούς Ρεύματος Μαύρος 4mm <sup>2</sup>	Μέτρα	30	0,9	27	33,21
Αγωγός Συνεχούς Ρεύματος Κόκκινος 4mm <sup>2</sup>	Μέτρα	30	0,9	27	33,21
Κονέκτορες Huber+Sunhner Αρσενικός	Τεμάχια	4	1,6	6,4	7,87
Κονέκτορες Huber+Sunhner Θηλυκός	Τεμάχια	4	1,5	6	7,38
Ανοξειδωτες Βίδες, παξιμάδια και ροδέλες.	Τεμάχια	100	0.03	3	3,69
Σωλήνα SPIRAL Φ16 Βαρέως Τύπου	Μέτρα	60	0,42	25,2	30,99
Σωλήνα SPIRAL Φ32 Βαρέως Τύπου	Μέτρα	10	1,07	10,7	13,16
Σωλήνα Ευθεία Φ32 (3m)	Τεμάχια	2	1,53	3,06	3,76
Κολάρα Φ16	Τεμάχια	30	0,11	3,3	4,06
Κολάρα Φ32	Τεμάχια	30	0,183	5,49	6,75
Φρεάτια Γείωσης 20x20	Τεμάχια	5	5,6	28	34,44
Μούφα Φ16	Τεμάχια	10	0,097	0,97	1,19
Μούφα Φ32	Τεμάχια	10	0,291	2,91	3,58
Αγωγός NYΥ 5x6mm <sup>2</sup>	Μέτρα	3	2,87	8,61	10,59
Αγωγός NYΥ 5x10mm <sup>2</sup>	Μέτρα	16	4,76	76,16	93,68
Δεματικά	Τεμάχια	2	3,17	6,34	7,8
Σύνολο					295,36

**Πίνακας 41 Κόστος Λοιπού ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού**

### 3.4. Σύστημα Τηλεμετρίας

Το σύστημα τηλεμετρίας είναι το απαραίτητο εργαλείο του κάθε ιδιοκτήτη φωτοβολταϊκού συστήματος για να μπορεί να ελέγχει τη λειτουργία του. Η εκάστοτε εταιρία κατασκευής μετατροπέων κατασκευάζει και το αντίστοιχο σύστημα τηλεμετρίας που άλλοτε είναι ενσωματωμένο στον μετατροπέα και άλλοτε όχι.

Για να κατανοήσουμε πόσο απαραίτητο είναι το σύστημα τηλεμετρίας ας υποθέσουμε ότι το σύστημα μας παρουσίασε μια βλάβη και σταμάτησε να λειτουργεί. Χωρίς την ύπαρξη της ηλεκτρονικής παρακολούθησης για να εντοπίσουμε την βλάβη θα έπρεπε να ελέγξουμε τον μετατροπέα. Είναι προφανές ότι η βλάβη θα εντοπιζόνταν μετά από μέρες κάτι που φυσικά σημαίνει χαμένη παραγωγή και φυσικά χαμένα ευρώ. Με την βοήθεια της τηλεμετρίας με ένα απλό «κλικ» στον προσωπικό μας ηλεκτρονικό υπολογιστή βλέπουμε την «ακτινογραφία» του συστήματος μας και έτσι μπορούμε άμεσα να καταλάβουμε αν αυτό δουλεύει σωστά.



Εικόνα 93 Εξωτερικό σύστημα τηλεμετρίας

Ο μετατροπέας Kostal Piko έχει ενσωματωμένο το σύστημα τηλεμετρίας. Είναι προφανές ότι για να λειτουργήσει το σύστημα τηλεμετρίας θα πρέπει να υπάρχει μια σύνδεση με το διαδίκτυο. Έτσι αν ο πελάτης έχει στο σπίτι του εγκατεστημένο διαδίκτυο μπορούμε με έναν αγωγό RJ45 να συνδέσουμε τον μετατροπέα με το διαδίκτυο. Αν αυτό για οποιοδήποτε λόγο δεν είναι εφικτό ο μετατροπέας Kostal Piko έχει την δυνατότητα τοποθέτησης ενσωματωμένου GSM modem.

Στην περίπτωση μας ο πελάτης έχει εγκατεστημένο διαδίκτυο στο σπίτι του, όμως επειδή η σύνδεση του μόντεμ με τον μετατροπέα είναι αρκετά δύσκολη, θα επιλέξουμε το ενσωματωμένο μόντεμ του μετατροπέα. Προϋπόθεση για τη χρήση του

μόντεμ GSM είναι μια κάρτα δεδομένων με συμβόλαιο από έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας. Το λογισμικό GSM-Link επιτρέπει την ελεύθερη επιλογή του πάροχου κινητής τηλεφωνίας. Από τη χρήση του μόντεμ προκύπτει ένα επιπλέον κόστος για τον πελάτη περίπου 5ευρώ τον μήνα.

Ο πάροχος ο οποίος θα επιλέξουμε θα πρέπει να έχει αρκετά δυνατό σήμα στη περιοχή, ενώ το τιμολόγιο πρέπει να επιτρέπει την επικοινωνία πακέτων δεδομένων μέσω GPRS. Ακόμα το τιμολόγιο πρέπει να επιτρέπει όγκο δεδομένων τουλάχιστον 5MB ανά μήνα. Τέλος η κάρτα SIM πρέπει να έχει ενεργοποιηθεί πριν από την τοποθέτηση.

Για να προγραμματίσουμε τον μετατροπέα θα πρέπει να τον έχουμε απενεργοποιήσει για τουλάχιστον 5 λεπτά. Στη συνέχεια και αφού ανοίξουμε το καπάκι συνδέουμε με ένα αγωγό RJ45 την αντίστοιχη υποδοχή του μετατροπέα με τον ηλεκτρονικό μας υπολογιστή, ενεργοποιούμε και πάλι τον μετατροπέα.

Στο πρόγραμμα πλοήγησης στο διαδίκτυο καταχωρούμε στη γραμμή διεύθυνσης το σειριακό αριθμό και το όνομα του μετατροπέα. Στη σελίδα «ρυθμίσεις» καταχωρούμε τον αριθμό PIN στο πεδίο «GSM-PIN».

**Ρυθμίσεις** ver 4.03

Αριθ. σειράς: 0000ABC112233

Αριθ. προϊόντος: 10094860

Γλώσσα:

Όνομα:

Διεύθυνση WR-Bus (RS485):  (1..220)

Αποθήκευση δεδομένων (όλα):  λεπτά

Λειτουργία εξόδου σύνδεσης:  (SOI/AL-Out)

Ίδια κατανάλωση:  Λειτουργία 1

Όριο ηλεκτρικής ισχύος:  W

σταθερή υπέρβαση των ορίων:  λεπτά

Χρόνος λειτουργίας:  λεπτά

Ενεργοποίηση:  Αριθμός / Ημέρα

Λειτουργία 2

Όριο ενεργοποίησης:  W

Όριο απενεργοποίησης:  W

Καθυστέρηση σε πτώση ισχύος / βλάβη:  λεπτά

Λειτουργία αναλογικών ασύδων:

Δίκτυο:  Auto IP / DHCP

Χαρακτηριστές ρυθμίσεις δικτύου

Διεύθυνση WR IP:

Μάσκα υποδικτύου:

Εξωτερικός δρομολογητής (πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο υποδίκτυο)

Διεύθυνση δρομολογητή:

Διεύθυνση DNS:

Εξωτερική κλήση:  (μόνο με αναλογικό μόνιμο και συσκευή OTE)

GSM-PIN:

Νέος κωδικός ασύδου:  Επανάληψη:

Postal-Code:

Εξαγωγή δεδομένων:  Portal -

Εικόνα 94 Σελίδα Ρυθμίσεων Λογισμικού Μετατροπέα

Στη συνέχεια ξεκινάμε το λογισμικό «GSM-Link»

This program configured the internet access for your PIRQ-Inverter.

**Internet**

Host/IP-address:  (e.g.: e081230001 or e90342E100001 or 192.168.1.1)

Bus-address:

**GSM**

Accesspoint (APN):

Username:  (empty if none)

Password:  (empty if none)

Please use the information provided by your GSM mobile network provider.

**Εικόνα 95 Σελίδα Ρυθμίσεων Λογισμικού Μετατροπέα GSM-Link**

Στο πεδίο «Host/IP-address» καταχωρούμε το σειριακό αριθμό ή τη διεύθυνση IP του μετατροπέα. Στην ενότητα GSM καταχωρούμε τα δεδομένα (APN, όνομα χρήστη και κωδικό πρόσβασης) της κάρτας SIM στα αντίστοιχα πεδία.



## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΕΠΕΝΔΥΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η γεωγραφική θέση τη Ελλάδα είναι τέτοια που η ηλιακή ενέργεια θα μπορούσε να είναι ο μεγαλύτερος ενεργειακός πόρος της χώρας. Πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι η Ελλάδα θα μπορούσε να καλύψει όλες τις ενεργειακές της ανάγκες μόνο από τον ήλιο και τον αέρα!

Σήμερα το 70% περίπου της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με καύση λιγνίτη και πετρελαίου, τοποθετώντας την χώρα στις πρώτες θέσεις των πλέον ρυπογόνων κρατών της Ευρώπης. Με βάση ψήφισμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 2013 θα επιβάλλονται υψηλά πρόστιμα στις χώρες με υψηλούς ρύπους. Στην περίπτωση που η χώρα μας δεν προχωρήσει άμεσα σε αύξηση του ρυθμού εγκαταστάσεων ΑΠΕ, το κόστος των υψηλών προστίμων θα μετακυλήσει μέσω των τιμολόγιων ηλεκτρικού ρεύματος στον καταναλωτή.

Τα οικιακά φωτοβολταϊκά ωφελούν οικονομικά τον καταναλωτή αφού με την ευνοϊκή τιμολόγηση «feed in tariff» έχει τη δυνατότητα ο καταναλωτής να μην πληρώνει για την κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος του σπιτιού του αλλά και μετά την απόσβεση της επένδυσης (περίπου 6 χρόνια) να έχει ένα επιπλέον εισόδημα.

Το δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους είναι η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας καθώς και η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα - του αερίου το οποίο έχει τη μεγαλύτερη αρνητική επίπτωση στην κλιματική αλλαγή στην ατμόσφαιρα. Ένα μέσο οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα εξοικονομεί περίπου 0,95Kg διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) για κάθε παραγόμενη KWh, δηλαδή περίπου 13 τόνους διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο όσο δηλαδή παράγει ένα αυτοκίνητο διανύοντας 7.000χλμ κυκλοφορίας το χρόνο.

Για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε δώμα στην περιοχή της Θήβας, με τελικό κόστος επένδυσης τα 22000€ και εκτιμώμενο έσοδο στην 25ετία τα 105.000€ (συμπεριλαμβανομένης και της κατανάλωσης) η επένδυση αναμένεται να αποσβεστεί στα 6 χρόνια. Όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 11, η

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στις 303439 kwh. Δηλαδή θα εξοικονομηθούν συνολικά  $303439 * 0,95, 288.267$  Kgr CO<sub>2</sub>.



**Εικόνα 96 Το Τοκελάου. Το πρώτο κράτος το οποίο θα εξυπηρετεί τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας μόνο από φωτοβολταϊκά πλαίσια**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- ❖ Διπλωματική εργασία Δήμητρας Βάρλα « Υπολογιστική μελέτη συστημάτων γείωσης»
- ❖ Διπλωματική εργασία Μαγδαληνής Βεργοπούλου «Ήπιες μορφές ενέργειας»
- ❖ Διπλωματική εργασία Γεωργίου Κτενίδη «Μελέτη διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ενέργειας 100KWp»
- ❖ Διπλωματική εργασία Θωμά Ντούμα «Μελέτη υπερτάσεων λόγω κεραυνών σε φωτοβολταϊκές διατάξεις»
- ❖ Εγχειρίδιο εγκατάστασης Kostal Piko
- ❖ Εγχειρίδιο εγκατάστασης Suntech
- ❖ Κατάλογος υλικών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων HILTI
- ❖ Κατάλογος Ηλεκτρολογικού Υλικού Hager
- ❖ Προϊόντα φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων ABB
- ❖ «Προστασία από υπερτάσεις Ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων»  
ΕΛΕΜΚΟ
- ❖ Πρότυπο Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων HD 384
- ❖ Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62446:2009 «Ελάχιστες απαιτήσεις φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων»
- ❖ “Global Lighting Protection Solutions for Solar Applications” ΕΛΕΜΚΟ

## Λογισμικά

Word

Excel

Autocad

PV SYST

Math Type

## Ιστοσελίδες

[www.PVGIS.com](http://www.PVGIS.com)

[www.hnms.gr/](http://www.hnms.gr/)(Εθνική μετεωρολογική υπηρεσία)

[www.irishellas.com](http://www.irishellas.com)

[www.michanikos.gr](http://www.michanikos.gr)

[www.geovsolutions.gr](http://www.geovsolutions.gr)