



ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας

Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων

*(Πόρισμα Ομάδας Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ όπως εγκρίθηκε με την απόφαση
Α159/Σ9/11.04.2011 της Διοικούσας Επιτροπής)*



Μέλη Ομάδας Εργασίας

Μωυσής Δαμιανίδης, Η.Μ.

Γεώργιος Κατσαρός, Δρ Η.Μ.

Ματθαίος Τόλης, Μ.Μ.

Φώτιος Στεργιόπουλος, Η.Μ.

Θεσσαλονίκη Απρίλιος 2011

Τεχνικό Εγχειρίδιο για τη Μελέτη και Υλοποίηση Φ/Β Συστημάτων



Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2011

Ομάδα εργασίας Μόνιμης Επιτροπής Ενέργειας
ΤΕΕ/Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας

Φώτης Στεργιόπουλος, Μωυσής Δαμιανίδης, Μάνθος Τόλης

Συντονιστής: Δρ Γιώργος Κατσαρός

Πρόλογος

Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των ΑΠΕ στη χώρα μας δυστυχώς με μεγάλη καθυστέρηση συγκριτικά με τους Ευρωπαίους εταίρους μας και του μεγάλου όγκου αιτήσεων που έχουν υποβληθεί για κάθε είδους φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β), δημιουργούνται ανάγκες για τη προσαρμογή των συναδέλφων μηχανικών στη μελέτη, επίβλεψη, κατασκευή, έλεγχο και συντήρηση των Φ/Β συστημάτων.

Η Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας υπό την Προεδρεία του Χ. Βλαχοκώστα του Τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΚΜ/ΤΕΕ) αφουγκραζόμενη τα σύγχρονα μηνύματα όρισε μια Ομάδα Εργασίας (ΟΕ) για τη σύνταξη ενός Τεχνικού Εγχειριδίου για τη μελέτη και υλοποίηση Φ/Β συστημάτων. Πιστεύουμε ότι σας παραθέτουμε ένα σύγχρονο εγχειρίδιο με παραδείγματα από τεχνικές μελέτες, οικονομικές αναλύσεις, συμβουλές υλοποίησης, εφαρμογές και μεθόδους ελέγχου διαφορετικών τύπων Φ/Β συστημάτων.

Ως συντονιστής της ΟΕ θα ήθελα να ευχαριστήσω του συναδέλφους Φ. Στεργιόπουλο, Μ. Δαμιανίδη και Μ. Τόλη για τη συνεισφορά τους, το υλικό τους και το χρόνο τους για σύνταξη του εγχειριδίου.

Θεσσαλονίκη Μάρτιος 2011.

Δρ Κατσαρός Ε. Γεώργιος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

Περιεχόμενα

Εισαγωγή		Σελίδα 4
ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΡΩΤΗ		
Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία		
1. Ηλιακή Ενέργεια		Σελίδα 6
2. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία		Σελίδα 6
3. Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών		Σελίδα 13
4. Επίδραση έντασης ακτινοβολίας και θερμοκρασίας		Σελίδα 15
5. Από τα φωτοβολταϊκά κελιά στα φωτοβολταϊκά πάνελ		Σελίδα 17
6. Επίδραση της σκίασης		Σελίδα 20
7. Πρακτικοί κανόνες χωροθέτησης – ενεργειακή απολαβή πάνελ στον Ελλαδικό χώρο		Σελίδα 24
8. Τρόποι στήριξης Φ/Β πάνελ		Σελίδα 28
9. Αντιστροφείς (inverters)		Σελίδα 37
10. Καλωδιώσεις		Σελίδα 54
11. Υποσταθμοί Μέσης Τάσης		Σελίδα 56
12. Βιβλιογραφία/References		Σελίδα 61
ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗ		
Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων		
1. Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων		Σελίδα 63
2. Περί Συμβάσεως Αγοραπωλησίας		Σελίδα 69
3. Case Study Οικονομικής Ανάλυσης και Επένδυσης		Σελίδα 70
ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΤΗ		
Τεχνική Ανάλυση Κατασκευής Φωτοβολταϊκού Σταθμού επί Στέγης στη Βι.Πε. Σερρών		
1. Εισαγωγή		Σελίδα 77
2. Ενεργειακή Μελέτη		Σελίδα 78
3. Ιδιαιτερότητες Χώρου - Αυτοψία		Σελίδα 79
4. Μελέτη Χωροθέτησης		Σελίδα 80
5. Εγκατάσταση των πάνελ πάνω σε τριγωνικές βάσεις		Σελίδα 80
6. Δομικές Εργασίες		Σελίδα 80
7. Σύστημα Γείωσης και Αντικεραυνικής Προστασίας		Σελίδα 85
8. Ερμάριο ΔΕΗ		Σελίδα 87
9. Μηχανολογικός Εξοπλισμός		Σελίδα 88
10. Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός		Σελίδα 91
11. Κεντρικός Πίνακας		Σελίδα 99
12. Φωτογραφίες Έργου		Σελίδα 102
13. Ενεργειακή Εκτίμηση		Σελίδα 105
14. Σύγκριση Εκτίμησης – Παραχθείσας Ενέργειας		Σελίδα 107

ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕΤΑΡΤΗ		
Τεχνική Ανάλυση Κατασκευής Φωτοβολταϊκού Σταθμού με Κινητές Βάσεις (Trackers) Ισχύος 99,9 kWp		
1. Γενικά		Σελίδα 110
2. Μελέτη Εφαρμογής		Σελίδα 111
3. Χρονοδιάγραμμα κατασκευής		Σελίδα 121
4. Εργασίες Διαμόρφωσης Χώρου		Σελίδα 123
5. Έλεγχος - Δοκιμές		Σελίδα 131
6. Ενεργειακή Μελέτη – Αποτελέσματα Λειτουργίας		Σελίδα 133
7. Οικονομική Θεώρηση		Σελίδα 140
8. Φωτογραφικό Υλικό		Σελίδα 154
ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΕΜΠΤΗ		
Βασική Σχεδίαση Σταθμού Ισχύος 1 MWp		
Βασική Σχεδίαση Σταθμού Ισχύος 1 MWp		Σελίδα 162

Εισαγωγή

Το εγχειρίδιο αποτελείται από πέντε ενότητες.

Η πρώτη ενότητα είναι μια σύντομη θεωρητική ανασκόπηση του Φ/Β φαινομένου, των διαφόρων υλικών συμπεριλαμβανόμενου ηλεκτρολογικών, ηλεκτρονικών συστημάτων και μοντελοποίηση των ηλεκτρολογικών κυκλωμάτων. Επίσης παρουσιάζονται πρακτικοί κανόνες χωροθέτησης και εφαρμογής των Φ/Β συλλεκτών (panels).

Η δεύτερη ενότητα παρουσιάζει πρακτικούς κανόνες εφαρμογής Φ/Β συστημάτων, αδειοδοτικές διαδικασίες και τεχνικές οικονομικών αναλύσεων απόδοσης των Φ/Β σταθμών.

Η τρίτη ενότητα παρουσιάζει ένα, σε λειτουργία, Φ/Β σταθμό ισχύος 100 KWp επί βιομηχανικής στέγης με τη πλήρη τεχνική μελέτη, τα στάδια της κατασκευής με πλούσιο φωτογραφικό υλικό και τεχνικές, οικονομικές αναλύσεις απόδοσης. Επίσης γίνεται μια σύντομη σύγκριση στην απόδοση του σταθμού ως προς τα δεδομένα της αρχικής μελέτης.

Η τετάρτη ενότητα παρουσιάζει ένα, σε λειτουργία, Φ/Β πάρκο με κινητές βάσεις (trackers) ισχύος 100 KWp, με πολλές κατασκευαστικές λεπτομέρειες, χρονοδιαγράμματα έργου, μεθόδους ελέγχου του σταθμού, υποδείγματα δηλώσεων, ανάλυση αποδόσεων, οικονομικές αναλύσεις και πλούσιο φωτογραφικό υλικό.

Η τελευταία ενότητα, παρουσιάζει ένα Φ/Β πάρκο ισχύος 1 MWp το οποίο είναι στο στάδιο της κατασκευής. Αναλύεται ο τρόπος χωροθέτησης του πάρκου και παρουσιάζονται τα ηλεκτρολογικά σχέδια τα οποία αποτελούν το «ευαίσθητο» κομμάτι των Φ/Β πάρκων υψηλής ισχύος (>500 KWp).

ΕΝΟΤΗΤΑ 1

Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία

Επιμέλεια Φώτης Στεργιόπουλος
Καθηγητής Εφαρμογών, Τμήμα Αυτοματισμού ΑΤΕΙ Θεσ/νίκης

1. Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Έτσι όταν υλοποιηθεί ένα σύστημα εκμετάλλευσης της για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας (ηλεκτρική ή θερμική για παράδειγμα), η πρώτη ύλη-καύσιμο είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μία «καθαρή» μορφή ενέργειας εν συγκρίσει με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι η ηλιακή ενέργεια μπορεί εν δυνάμει να αποτελέσει μία σημαντική μορφή ενέργειας προς εκμετάλλευση.

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για την διατήρηση της ζωής στη Γη και αποτελεί τη βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα, η ηλιακή ενέργεια είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των φυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομάζα ή, υπό κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσουν στη δημιουργία πετρελαίου μετά από εκατομμύρια χρόνια. Η θερμότητα του ήλιου δημιουργεί θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ περιοχών και ανάπτυξη ανέμων η ενέργεια των οποίων χρησιμοποιείται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, ποσότητες νερού εξατμίζονται λόγω της θερμότητας του ήλιου, πέφτουν ως βροχή σε υψόμετρα και κατηφορίζουν προς τη θάλασσα, με δυνατότητα εκμετάλλευσης της δυναμικής τους ενέργειας σε υδροηλεκτρικές γεννήτριες. Ωστόσο, με τον όρο «ηλιακή ενέργεια» αναφερόμαστε συνήθως στην ενέργεια του ήλιου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή κυρίως θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

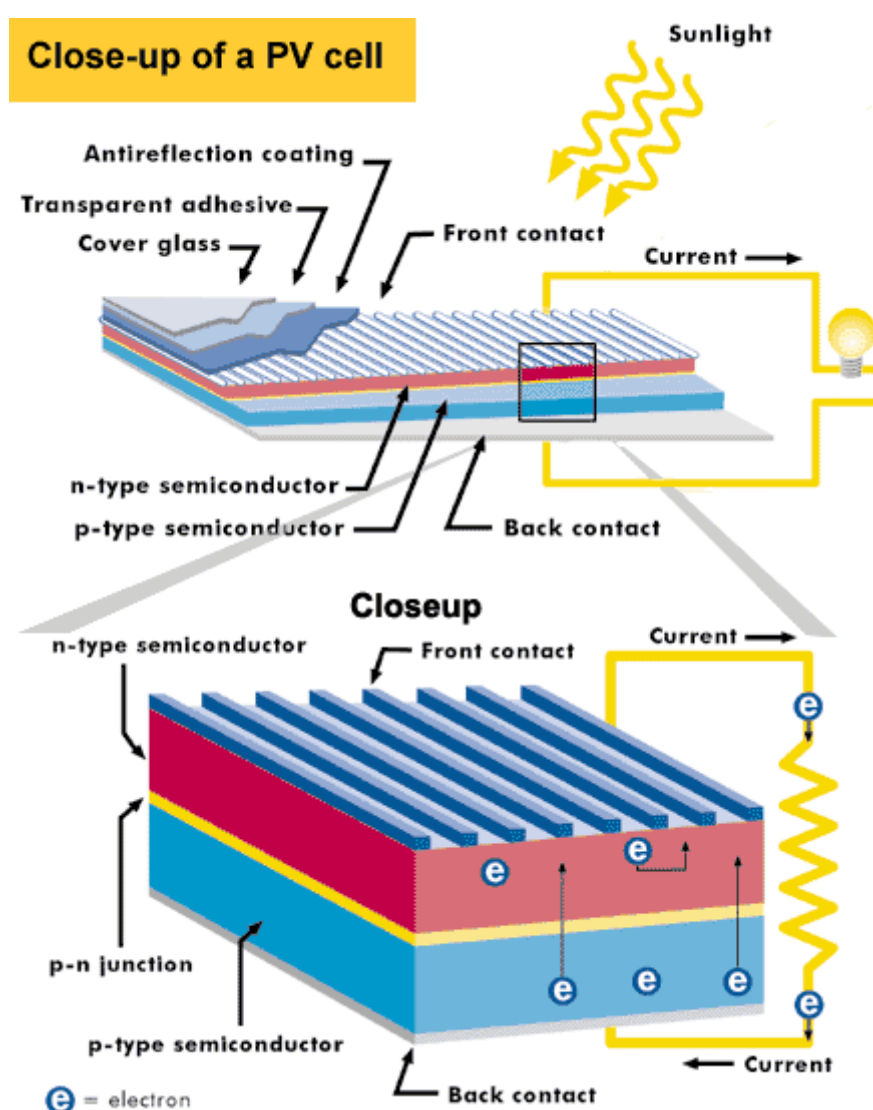
Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι πραγματικά τεράστιο: όλη η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στα παγκόσμια κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από μόλις 20 ημέρες ηλιοφάνειας. Πέρα από τη γήινα ατμόσφαιρα, η ενέργεια του ήλιου είναι περίπου 1,3kW/τ.μ. Περίπου ένα τρίτο (1/3) αυτής της ενέργειας ανακλάται πίσω στο διάστημα και μία ποσότητα της απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Όταν η ηλιακή ενέργεια φτάσει στην ατμόσφαιρα, η ισχύς της μειώνεται σε περίπου 1kW/τ.μ. κατά τις μεσημβρινές ώρες σε καθαρό ουρανό. Κατά μέσο όρο, λαμβάνοντας υπόψη όλη την επιφάνεια του πλανήτη, κάθε τ.μ. δέχεται περίπου 4,2kWh την ημέρα. Τα ποσοστά ενέργειας είναι υψηλότερα σε επιφάνειες όπως έρημοι όπου μπορούν να ξεπεράσουν τις 6kWh/τ.μ. την ημέρα.

2. Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

Το 1839, ο Γάλλος φυσικός Edmund Becquerel ανακάλυψε ότι ορισμένα υλικά μπορούσαν να παράγουν σπινθήρες ηλεκτρισμού όταν υποβάλλονταν σε ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό και ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, χρησιμοποιήθηκε σε «πρωτόγονα» ηλιακά κελιά από σελήνιο στα τέλη του 18ου αιώνα. Τη δεκαετία του 1950, επιστήμονες στα Bell Labs, αναπροσάρμοσαν την τεχνολογία και, χρησιμοποιώντας ως βάση το πυρίτιο, κατασκεύασαν ηλιακά κελιά τα οποία μπορούσαν να μετατρέψουν

ποσοστό περίπου 4% της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Με απλά λόγια, τα σημαντικότερα στοιχεία ενός ηλιακού κελιού (solar cell) είναι δύο στρώματα ημιαγωγικού υλικού τα οποία γενικά αποτελούνται από κρυστάλλους πυρίτιου. Το κρυσταλλικό πυρίτιο, αυτό καθ' αυτό δεν είναι ένας πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, αλλά όταν προστίθενται σ' αυτό προσμίξεις, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στο κάτω στρώμα του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως βόριο, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη θετικού φορτίου (p). Στο πάνω μέρος του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως φώσφορος, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n). Η επιφάνεια μεταξύ των ημιαγωγών τύπου p και τύπου n που δημιουργούνται ονομάζεται p-n επαφή (P-N junction).



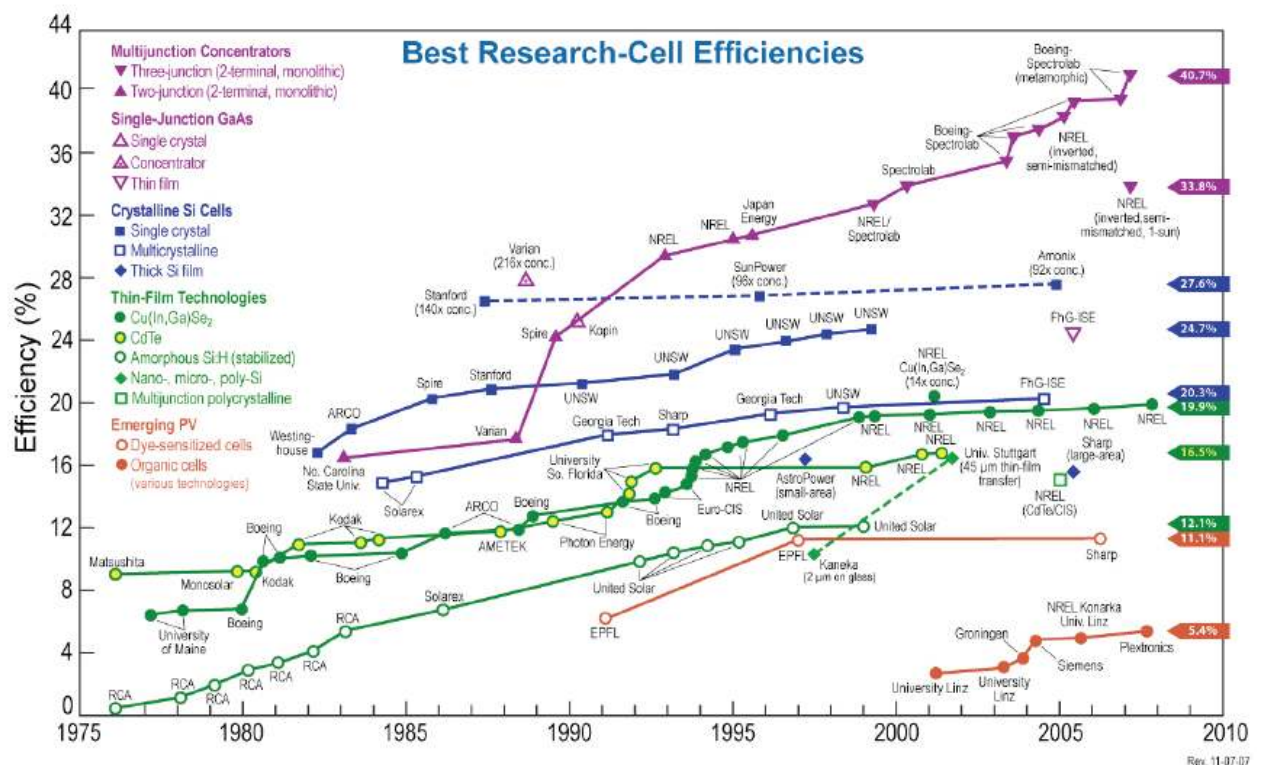
Σχήμα 1: Βασική δομή ενός ηλιακού κελιού

Πηγή: http://www.ucsusa.org/clean_energy/technology_and_impacts/energy_technologies/how-solar-energy-works.html

Όταν το ηλιακό φως εισέρχεται στο κελί (Βλ. Σχήμα 1), η ενέργεια του ελευθερώνει ηλεκτρόνια και στα δύο στρώματα. Τα ηλεκτρόνια αυτά, γνωστά και ως ελεύθερα ηλεκτρόνια, προσπαθούν, λόγω των διαφορετικών φορτίσεων των δύο στρωμάτων, να μετακινηθούν από το στρώμα τύπου-n στο στρώμα τύπου-p, αλλά εμποδίζονται από το ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή p-n. Ωστόσο, η παρουσία ενός εξωτερικού κυκλώματος δημιουργεί την απαραίτητη διαδρομή για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το στρώμα τύπου-n στο στρώμα τύπου-p. Εξαιρετικά λεπτά καλώδια κατά μήκος του στρώματος τύπου-n επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρονίων και η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων προκαλεί τη δημιουργία ρεύματος.

Τα ηλιακά κελιά έχουν συνήθως τετράγωνο σχήμα πλευράς περίπου 10 εκατοστών. Ένα ηλιακό κελί παράγει πολύ μικρή ισχύ (συνήθως λιγότερο από 2W) και έτσι ενώνονται ηλεκτρικά εν σειρά ή εν παραλλήλω, όπως θα αναλυθεί παρακάτω για να δημιουργηθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Η απόδοση των ηλιακών κελιών, εκφραζόμενη ως το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική, εξαρτάται από την τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται. Σε ερευνητικό επίπεδο έχουν αναφερθεί (Σχήμα 2) αποδόσεις έως και 40%. Ωστόσο η πλειονότητα των ηλιακών κελιών και των δημιουργούμενων φωτοβολταϊκών πάνελ που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο έχουν μία μέγιστη απόδοση της τάξης του 17-19%.

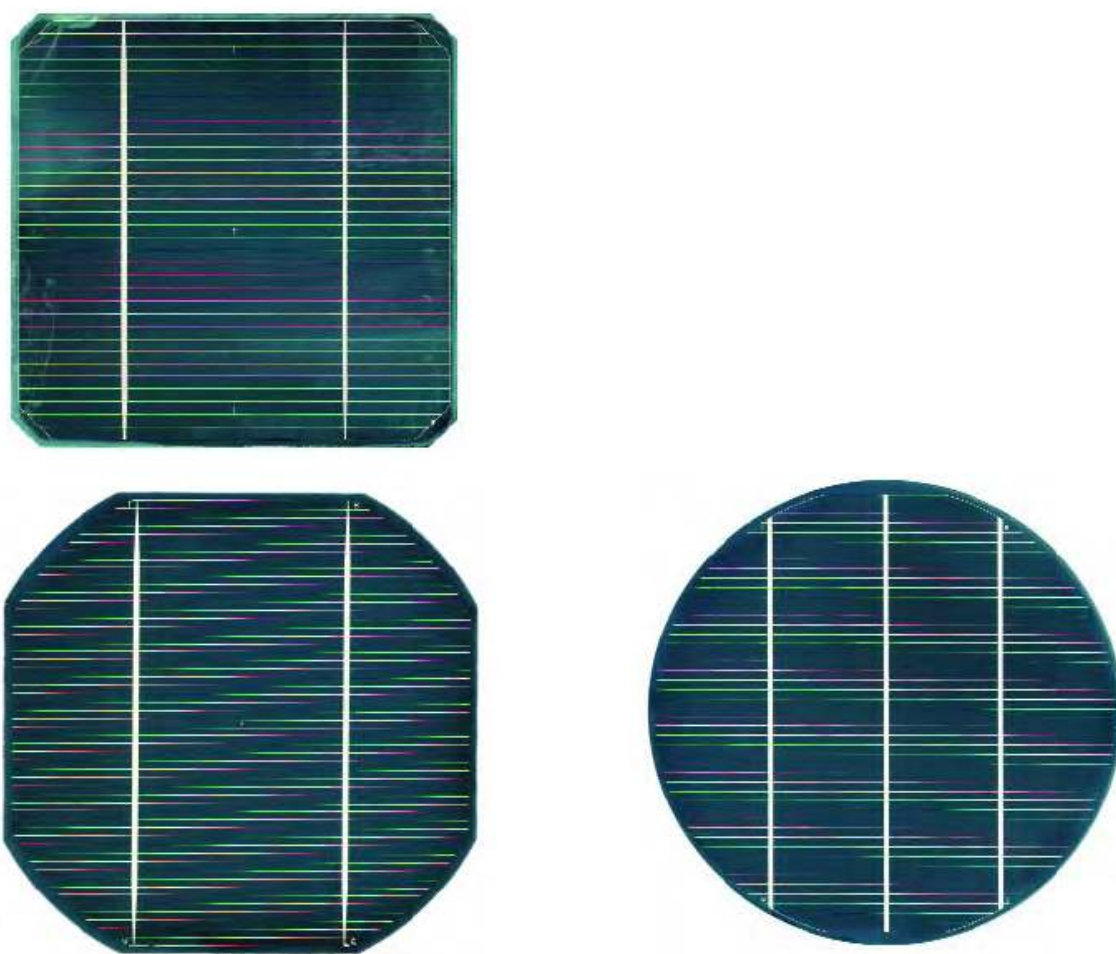


Σχήμα 2: Τύποι ηλιακών κελιών και καταγεγραμμένες μέγιστες αποδόσεις (Πηγή: NREL)

Οι κυριότεροι τύποι ηλιακών κελιών είναι οι παρακάτω:

A. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

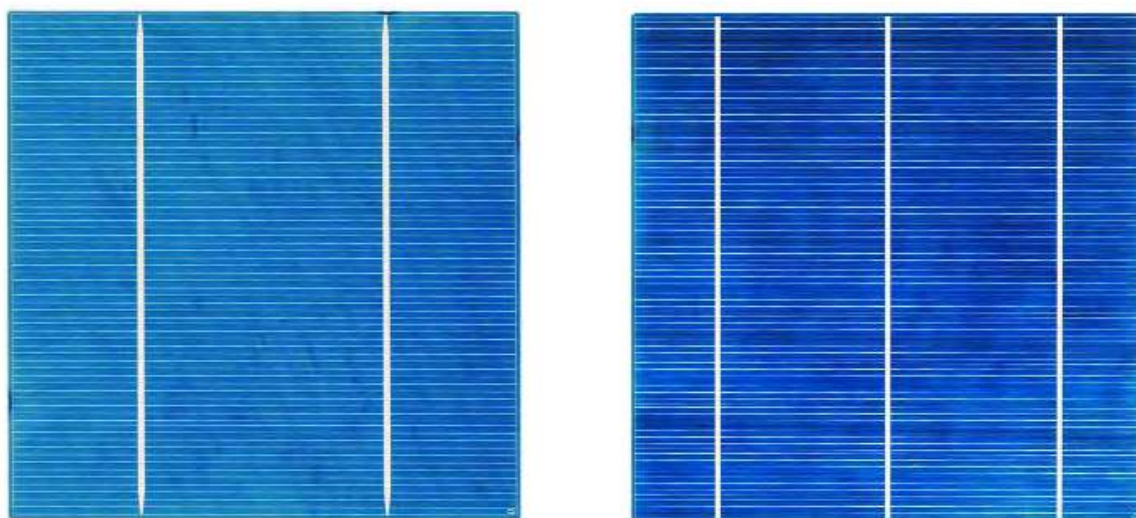
Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία "Czochralski". Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Σχήμα 3: Μορφές μονοκρυσταλλικών κελιών πυριτίου

Β. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Σχήμα 4: Μορφές πολυκρυσταλλικών κελιών πυριτίου

Γ. Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω:

Γα. Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)

Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο, η μη-κρυσταλλική μορφή του πυριτίου, μπορεί να

τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ.



Σχήμα 5: Φωτοβολταϊκά πάνελ από άμορφο πυρίτιο

Γβ. Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)

Η κρυσταλλική ένωση καδμίου-τελλουρίου (CdTe) είναι ένα αποτελεσματικό υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών κελιών. Για τη δημιουργία μίας ένωσης p-n σε ένα ηλιακό κελί, ένα στρώμα σουλφιδίου του καδμίου προστίθεται στο CdTe. Λόγω της αποτελεσματικότητας ένα κελί CdTe χρησιμοποιεί περίπου το 1% του ημιαγωγού υλικού σε σχέση με ένα κρυσταλλικό κελί. Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός της χρήσης του σπάνιου μετάλλου τελλουρίου. Επιπλέον, η χρήση του καδμίου επιβάλλει την αναγκαστική ανακύκλωση τους μετά το πέρας της ζωής τους.

Γγ. Κελιά χαλκού-Ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου-δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτού υμενίου.

Δ. Άλλοι τύποι κελιών

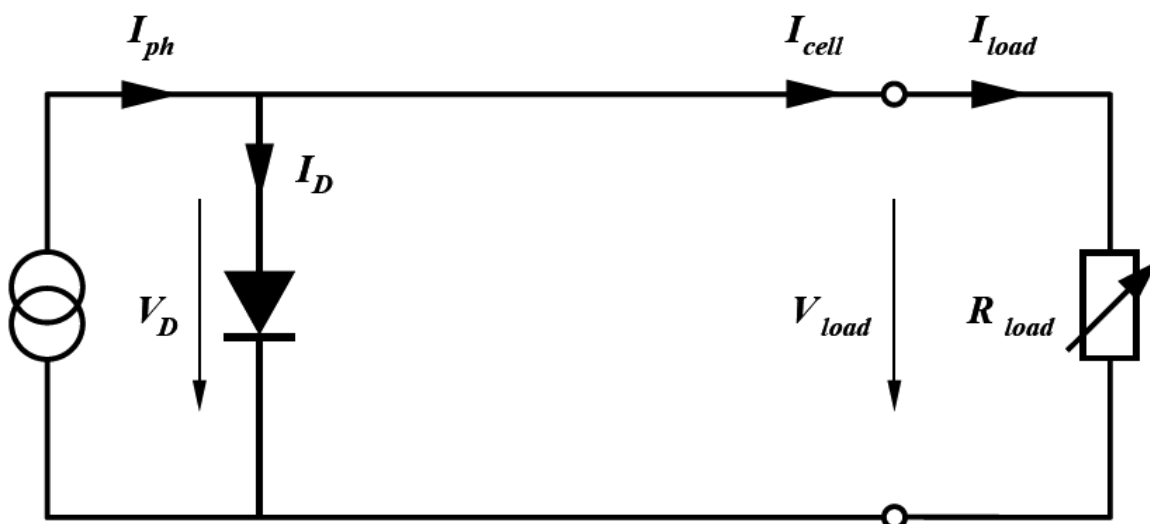
Εκτός των παραπάνω συναντά κανείς και τους παρακάτω τύπους κελιών σε μικρό βαθμό ή σε εργαστηριακό επίπεδο:

Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs): Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης (έως και 36%), ωστόσο ιδιαίτερα ακριβά.

Οργανικά/πολυμερή κελιά: Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγώγιμες p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.

3. Μοντελοποίηση ηλιακών κελιών

Το απλούστερο μοντέλο ηλιακού κελιού παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 6: Απλό μοντέλο ηλιακού κελιού

Στο μοντέλο αυτό το ρεύμα κελιού προκύπτει από το συνδυασμό του φωτορεύματος I_{ph} , δηλαδή του ρεύματος που παράγεται από την έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία και είναι ανάλογο αυτής και του ρεύματος της διόδου που δημιουργείται λόγω της ύπαρξης της επαφής p-n. Έτσι ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0(e^{qV/kT} - 1) \quad (1)$$

όπου:

I_{cell} : ρεύμα κελιού

I_{ph} : φωτορεύμα, ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

I_D : ρεύμα διόδου

I_0 : ρεύμα διαρροής της διόδου

q : φορτίο ηλεκτρονίου

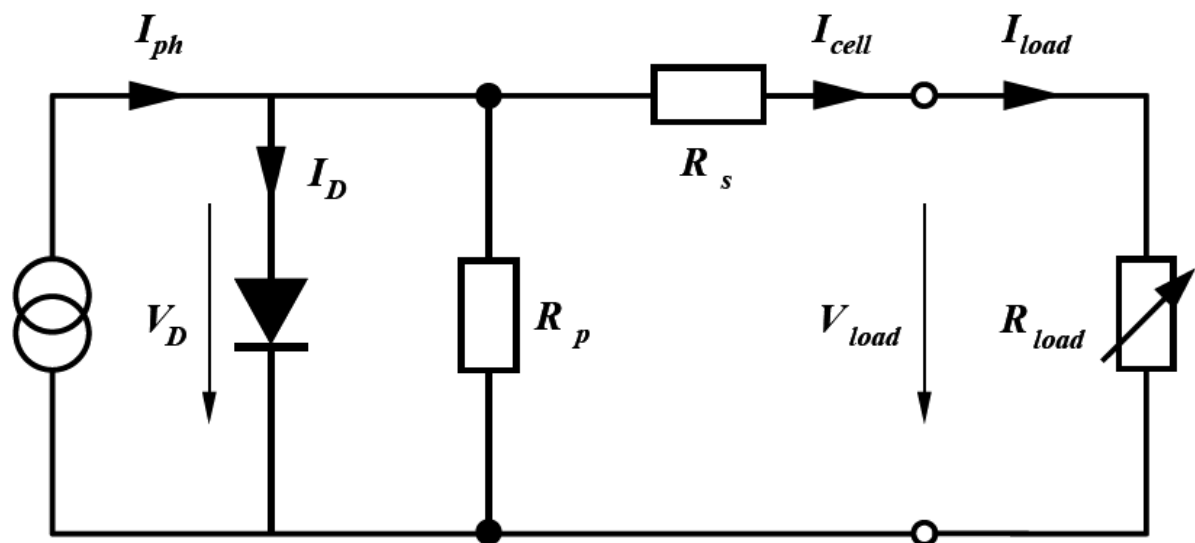
V : τάση στα άκρα της διόδου

k : σταθερά Boltzmann

T : θερμοκρασία (K)

Από την παραπάνω εξίσωση γίνεται φανερό ότι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ρεύματος σε ένα ηλιακό κελί είναι η ένταση της ακτινοβολίας και η θερμοκρασία.

Ωστόσο, ένα ακριβέστερο μοντέλο ενός ηλιακού κελιού πρέπει να εμπεριέχει και τις ηλεκτρικές αντιστάσεις των υλικών, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



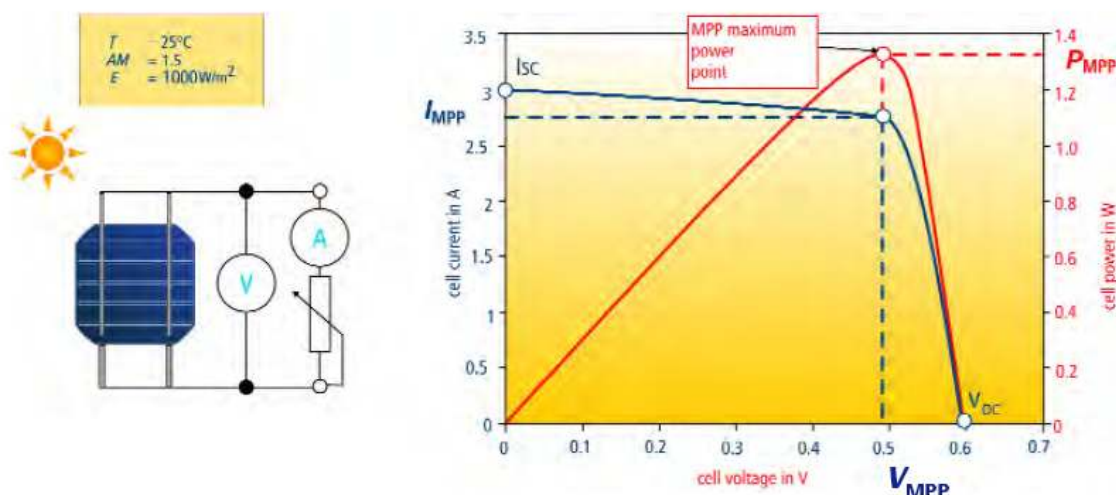
Σχήμα 7: Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις

Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση που περιγράφει το ηλιακό κελί είναι η παρακάτω:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q}{k \cdot T} (V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p} \quad (2)$$

όπου R_s, R_p είναι εν σειρά και εν παραλλήλω ηλεκτρικές αντιστάσεις:

Μακροσκοπικά, ένα ηλιακό κελί μοντελοποιείται με την βοήθεια της χαρακτηριστικής του καμπύλης έντασης-τάσης I-V (I-V curve) ή ισχύος-τάσης P-V (P-V curve). Τυπικές καμπύλες παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 8: Καμπύλες I-V και P-V ενός ηλιακού κελιού

Χαρακτηριστικά μεγέθη αποτελούν:

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} : είναι η τάση που επικρατεί στην έξοδο ενός ηλιακού κελιού όταν τα δύο άκρα του είναι ανοικτά
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης: I_{sc} : είναι το ρεύμα που διαρρέει το ηλιακό κελί όταν τα δύο άκρα του βραχυκυκλωθούν.
- Η μέγιστη ισχύς του κελιού P_{mpp} (maximum power point): είναι η μέγιστη ισχύς του ηλιακού κελιού που αντιστοιχεί σε τάση V_{mpp} και ένταση I_{mpp} .

Με στόχο τη δυνατότητα σύγκρισης διαφορετικών κελιών ή και πάνελ υπό κοινές συνθήκες, έχουν οριστεί οι λεγόμενες Πρότυπες Συνθήκες Ελέγχου, περισσότερο γνωστές ως STC συνθήκες από τα αρχικά των λέξεων Standard Test Conditions. Οι συνθήκες αυτές αντιστοιχούν σε :

- Ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ίσης προς 1000 W/m^2 .
- Θερμοκρασία κελιού ίση προς 25°C .
- Μάζα αέρα (air mass) ίση προς 1.5. Η μάζα αέρα είναι μία παράμετρος που πρακτικά σχετίζεται με τη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας διαμέσου της ατμόσφαιρας. Έτσι όταν ο ήλιος βρίσκεται κάθετα στην επιφάνεια της γης, η ηλιακή ακτινοβολία περνάει μόνο μία φορά διαμέσου του ατμοσφαιρικού αέρα, γεγονός που δηλώνεται ως $AM=1$. Ο παράγων $AM=1.5$, που χρησιμοποιείται ως πρότυπη συνθήκη για τον χαρακτηρισμό των ηλιακών κελιών

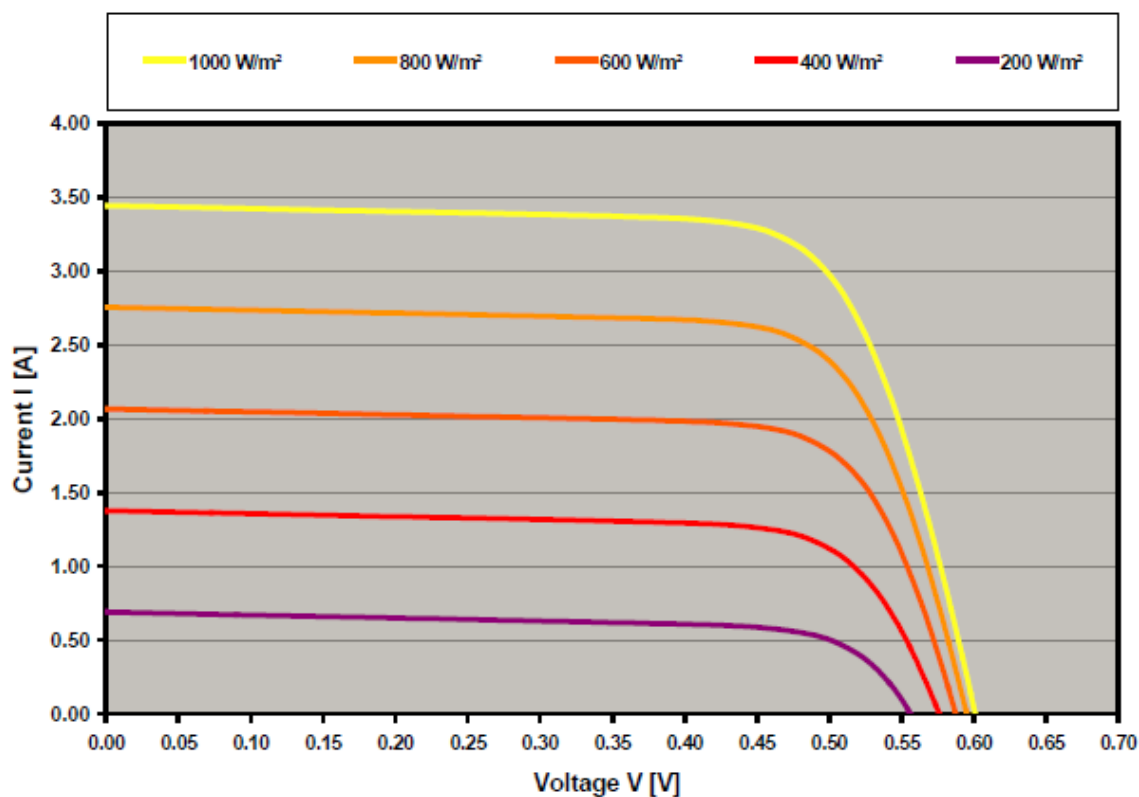
αντιστοιχεί σε γωνία του ήλιου ίση προς 41.8° ως προς τον ορίζοντα.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στον παράγοντα της θερμοκρασίας κελιού, η οποία είναι συνήθως κατά $25-30^\circ\text{C}$ υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι συνήθως οι κατασκευαστές παρέχουν και τα δεδομένα ισχύος στις λεγόμενες NOCT συνθήκες (Normal Operating Cell Temperature), οι οποίες αντιστοιχούν σε θερμοκρασία κελιού περί τους $45-48^\circ\text{C}$ για θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C , ένταση ακτινοβολίας 800W/m^2 $\text{AM}=1.5$ και ταχύτητα ανέμου 1m/sec . Τα δεδομένα αυτά παρέχουν μία περισσότερο ρεαλιστική εικόνα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα ηλιακά κελιά, αναφορικά με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες.

4. Επίδραση έντασης ακτινοβολίας και θερμοκρασίας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία αποτελούν τους δύο κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας από ένα ηλιακό κελί.

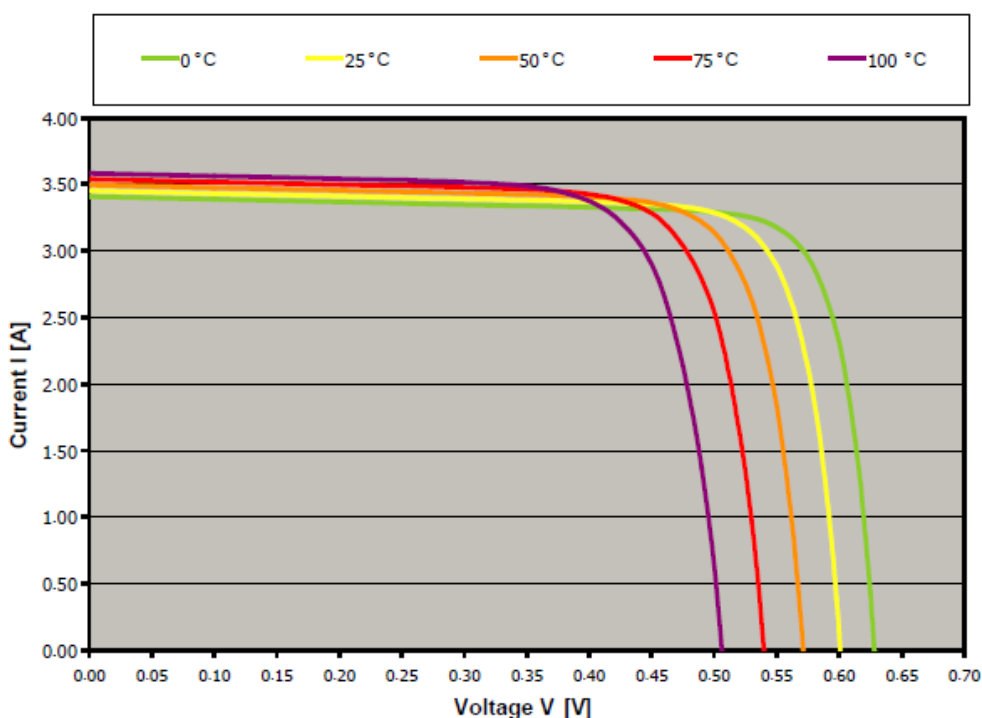
Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει τη μεταβολή της I-V χαρακτηριστικής ενός ηλιακού κελιού με μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας:



Σχήμα 9: Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην καμπύλη I-V ενός ηλιακού κελιού

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 9, η ένταση ηλιακής ακτινοβολίας επιδρά (σχεδόν ανάλογα) στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά με την αύξηση της έντασης. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η σχεδόν αναλογική σχέση ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, για σταθερές φυσικά θερμοκρασίες κελιού.

Το Σχήμα 10 παρουσιάζει την επίδραση της θερμοκρασίας κελιού στην I-V χαρακτηριστική του κελιού:



Σχήμα 10: Επίδραση της θερμοκρασίας στην I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κελιού

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 10, η θερμοκρασία επιδρά κυρίως στην τάση του ηλιακού κελιού. Ειδικότερα, η τάση ανοικτού κυκλώματος αυξάνεται σημαντικά με μείωση της θερμοκρασίας, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης μειώνεται ελαφρά. Συνολικά, η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Συνήθως οι κατασκευαστές των ηλιακών κελιών και πάνελ αναφέρουν ενδεικτικούς συντελεστές μεταβολής των παρακάτω μεγεθών με τη θερμοκρασία:

- Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , με τυπικές τιμές της τάξης του 0,04-0,07% ανά βαθμό Kelvin (ή Κελσίου)

- Τάση ανοικτού κυκλώματος Voc με τυπικές τιμές της τάξης του -0,3 έως -0,4% ανά βαθμό Kelvin (ή Κελσίου).
- Μέγιστη ισχύς P_{mp} με τυπικές τιμές της τάξης του -0,4 έως -0,5% ανά βαθμό Kelvin (ή Κελσίου).

Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου. Για πάνελ άμορφου πυριτίου, η μείωση στις τιμές της τάσης και κυρίως της ισχύος (που είναι και το μέγεθος με το άμεσο ενδιαφέρον) είναι μικρότερη με ενδεικτικές τιμές της τάξης του -0,3% ανά βαθμό Kelvin για την τάση του ανοικτού κυκλώματος και -0,3 έως -0,4% ανά βαθμό Kelvin για την ισχύ του κελιού.

Το γεγονός αυτό φανερώνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας του άμορφου πυριτίου που είναι η μικρότερη μείωση ισχύος σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος και την επιλογή τεχνολογιών θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο σημαντικά μικρότερο βαθμός απόδοσης (δηλαδή ποσοστού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρικής ενέργειας, 6-7% έναντι 15-17% για κρυσταλλικά κελιά) γεγονός που αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου και συναφών εγκαταστάσεων σταθμών με πάνελ άμορφου πυριτίου έναντι αντίστοιχων σταθμών με κρυσταλλικά πάνελ.

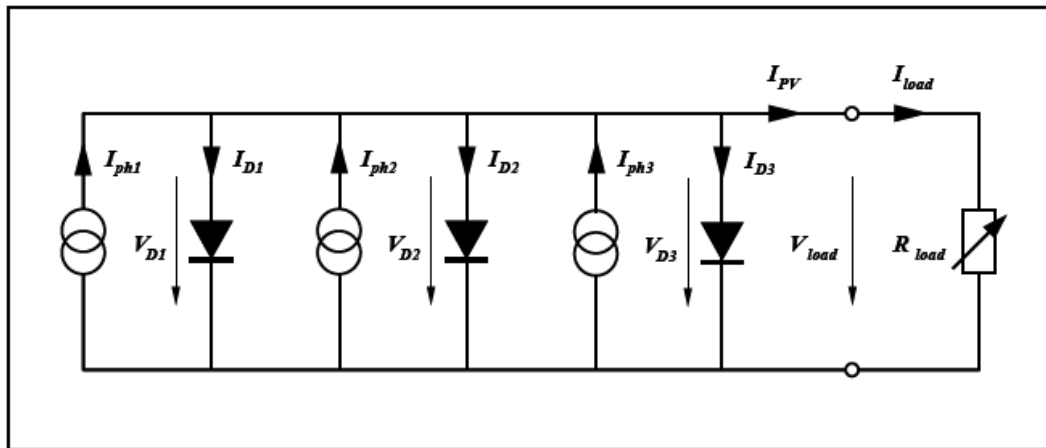
5. Από τα φωτοβολταϊκά κελιά στα φωτοβολταϊκά πάνελ

Τα ηλιακά κελιά χρησιμοποιούνται σπάνια μόνα τους. Συνήθως, κελιά με τα ίδια χαρακτηριστικά συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους ώστε να προκύψει μεγαλύτερη ισχύς με τη μορφή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Τα πάνελ στη συνέχεια συνδυάζονται μεταξύ τους ώστε να προκύψουν οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί.

Τα ηλιακά κελιά μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα.

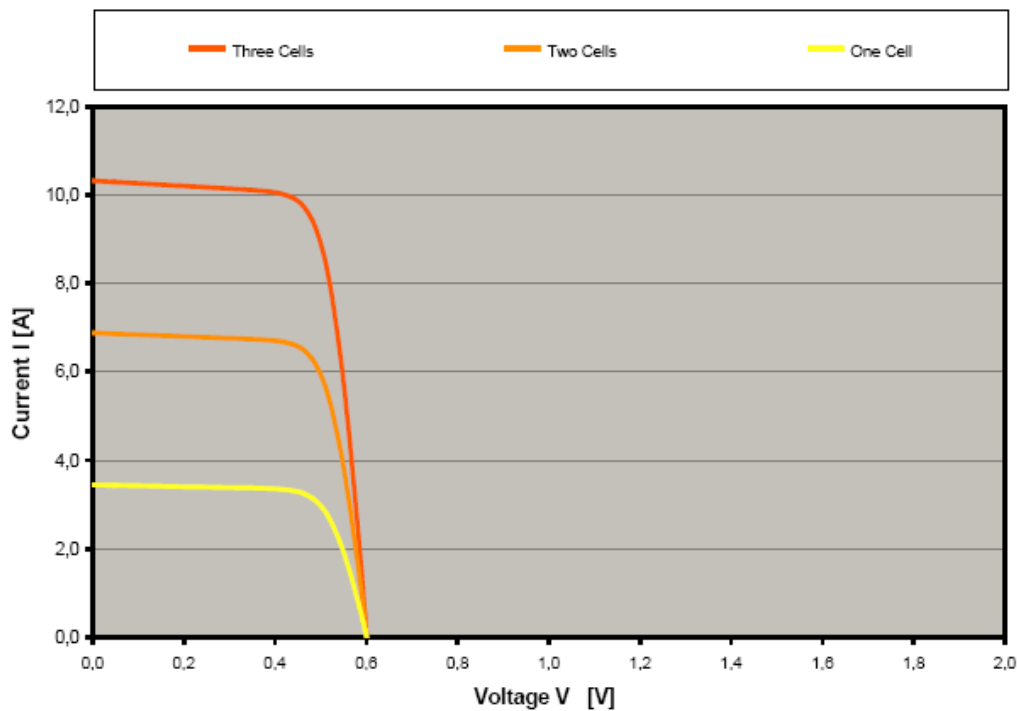
5α. Παράλληλη σύνδεση κελιών

Η παράλληλη σύνδεση κελιών αυξάνει την ένταση ρεύματος, όπως φαίνεται και το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 11: Παράλληλη σύνδεση ηλιακών κελιών

Η τάση στα άκρα του συνδυασμού παραμένει η ίδια με την τάση του κάθε κελιού. Έτσι η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του συνδυασμού προκύπτει από την άθροιση των τιμών ρεύματος για την ίδια τιμή τάσης, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:

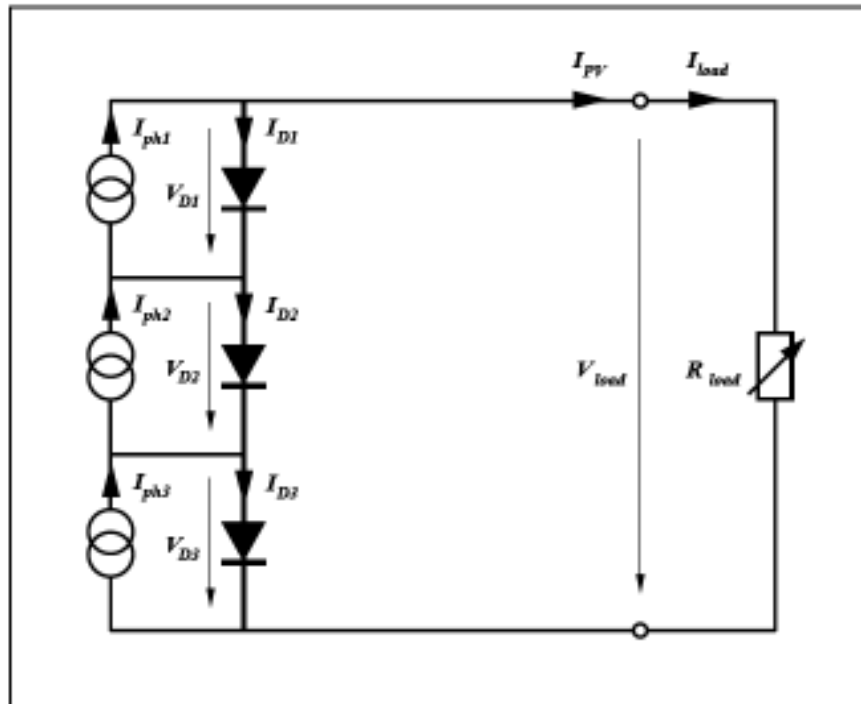


Σχήμα 12: Παράδειγμα χαρακτηριστικής I-V για παράλληλη σύνδεση κελιών

Η παράλληλη σύνδεση κελιών δεν χρησιμοποιείται συνήθως καθώς η μεγαλύτερη ένταση ρεύματος απαιτεί και μεγαλύτερες διατομές αγωγών, ενώ και οι απώλειες αυξάνονται με τη μείωση της τάσης. Για τους παραπάνω λόγους, η σύνδεση των κελιών γίνεται συνήθως εν σειρά.

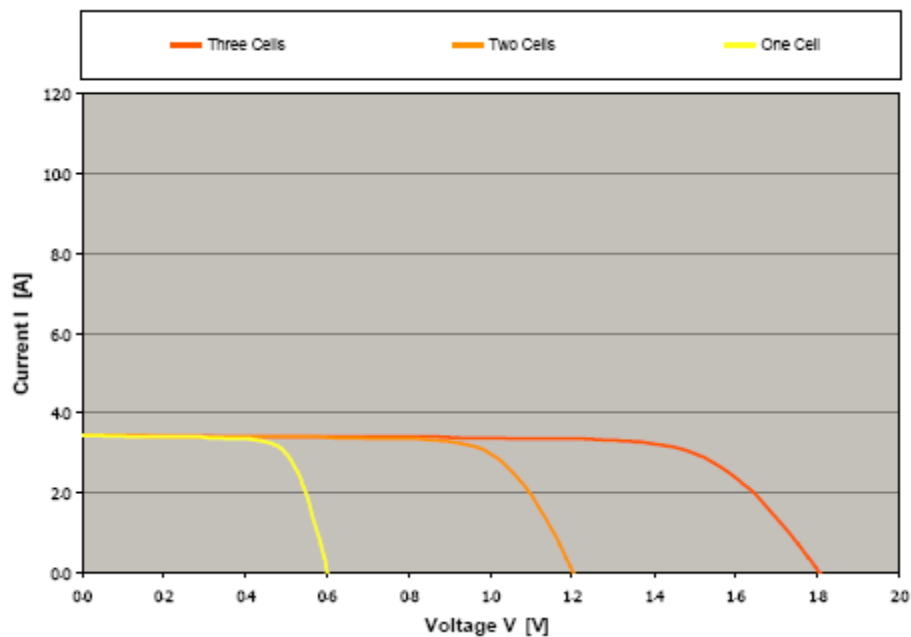
5β. Σύνδεση κελιών σε σειρά

Στη σύνδεση κελιών σε σειρά υπάρχει η ίδια ροή ρεύματος ανά κελί ενώ η τάση είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των κελιών, όπως προκύπτει και από το παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 13: Εν σειρά σύνδεση κελιών

Αντίστοιχα, η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του συνδυασμού προκύπτει από το άθροισμα των τιμών τάσεων των κελιών για την ίδια τιμή έντασης ρεύματος, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



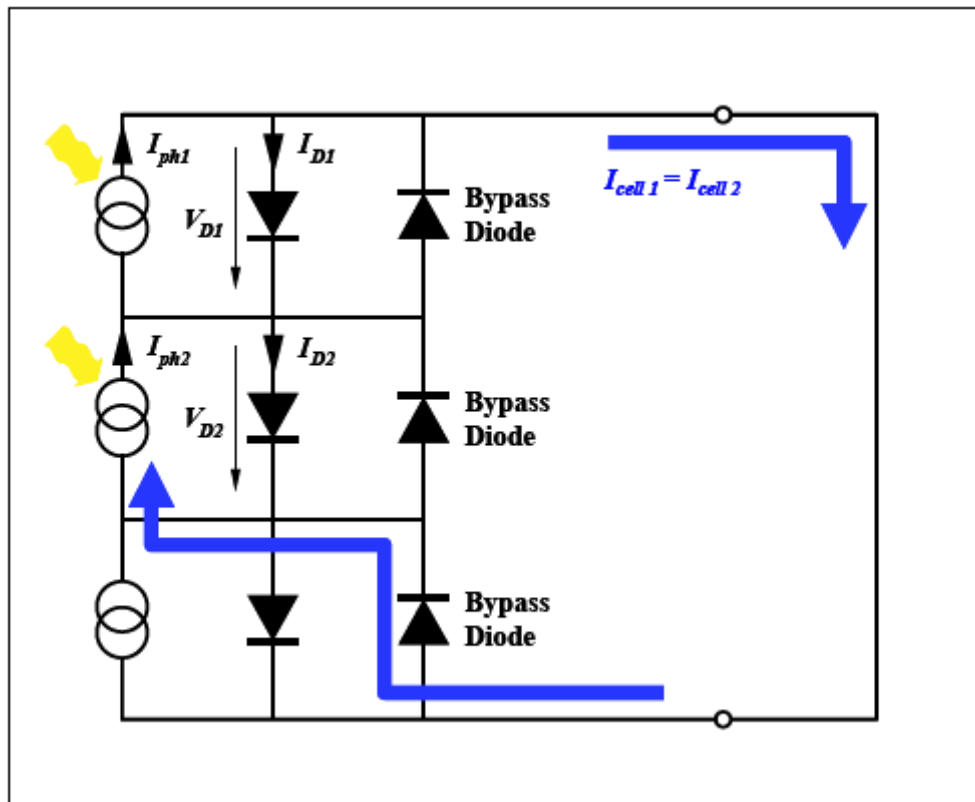
Σχήμα 14: Παράδειγμα I-V χαρακτηριστικής κελιών συνδεδεμένων σε σειρά

6. Η επίδραση της σκίασης

Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά (και μάλλον στοχαστικού χαρακτήρα) φαινόμενα (π.χ. σύννεφα).

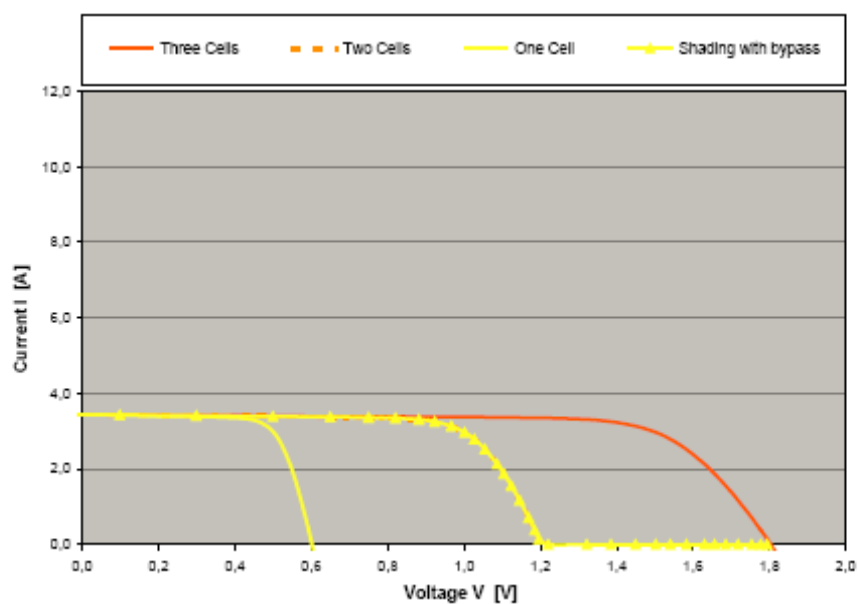
Για παράδειγμα ας θεωρηθεί η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποθεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας.

Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης (bypass diodes) συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται σχηματικά παρακάτω:



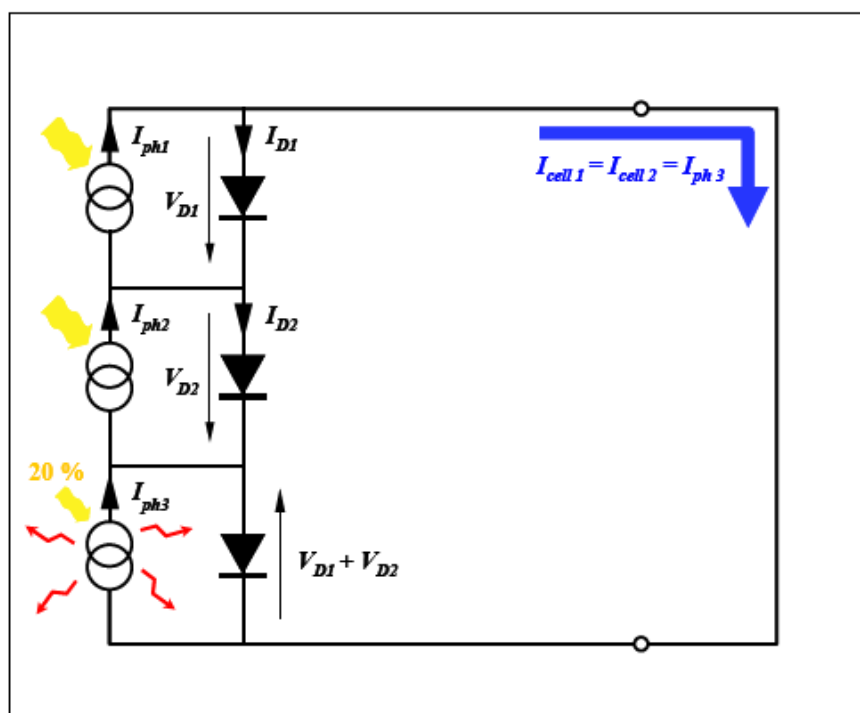
Σχήμα 15: Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης

Η I-V χαρακτηριστική του συνδυασμού των κελιών μεταβάλλεται όπως στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 16: I-V χαρακτηριστική κελιών με ένα κελί πλήρως σκιασμένο

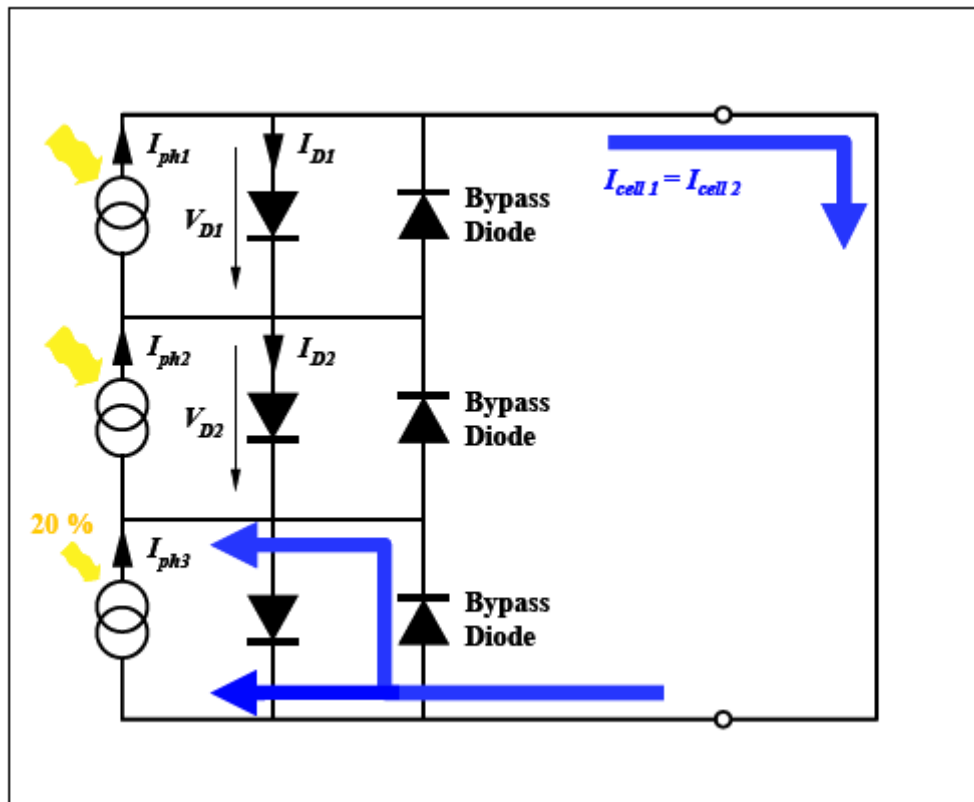
Ας θεωρηθεί τώρα η περίπτωση που ένα κελί είναι μερικώς σκιασμένο, π.χ. με μείωση της προσπίπτουσας έντασης ακτινοβολίας στο 20% σε σχέση με τα άλλα κελιά. Στην περίπτωση αυτή το συγκεκριμένο κελί θα παράγει περίπου το 20% του φωτορεύματος ενώ τα άλλα κελιά θα παράγουν το 100%. Λόγω της σύνδεσης σε σειρά, στο κύκλωμα θα ρέει μόνο το ρεύμα που θα παράγεται από το μερικώς σκιασμένο κελί. Αναφορικά με τα κελιά που δεν σκιάζονται το υπόλοιπο ρεύμα τους (δηλαδή το υπόλοιπο 80%) θα ρέει εσωτερικά σε αυτά, στις ενδογενείς διόδους τους. Επιπλέον στο μερικώς σκιασμένο κελί θα υφίσταται απώλεια ενέργειας καθώς η διόδος του θα είναι ανάστροφα πολωμένη από την τάση που παράγεται στα άλλα κελιά, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 17: Η περίπτωση μερικώς σκιασμένου κελιού

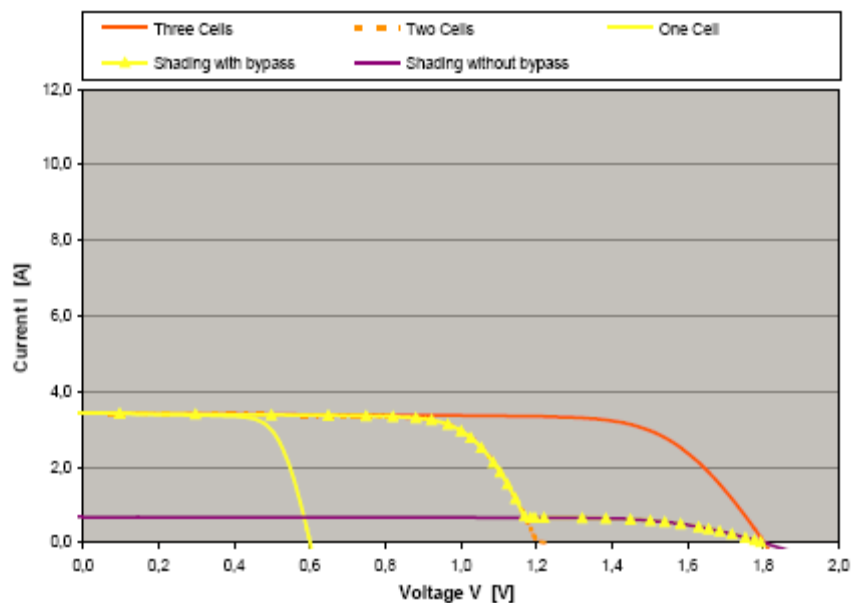
Πρακτικά, η περίπτωση αυτή οδηγεί στη δημιουργία «θερμών σημείων» (hot spots) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε γρηγορότερη γήρανση και ενδεχόμενα καταστροφή του πάνελ.

Ωστόσο, με τη βοήθεια των διόδων παράκαμψης αποφεύγονται τα προβλήματα των θερμών σημείων. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά των ρευμάτων μεταξύ των κελιών που δεν σκιάζονται και του μερικώς σκιασμένου κελιού ρέει διαμέσου της διόδου παράκαμψης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 18: Χρήση διόδου παράκαμψης σε μερικώς σκιασμένα κελιά

Η I-V χαρακτηριστική του συνδυασμού σ' αυτήν την περίπτωση δίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 19: Η I-V χαρακτηριστική συνδυασμού εν σειρά κελιών με ένα κελί μερικώς σκιασμένο

Ωστόσο, η χρήση μίας διόδου παράκαμψης ανά κελί είναι γενικά αρκετά δαπανηρή και στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιείται μία διόδος ανά 10-1 κελιά. Για παράδειγμα για ένα πάνελ αποτελούμενο από 36 εν σειρά συνδεδεμένα κελιά, χρειάζονται 3 διόδους. Οι διόδους αυτοί περιλαμβάνονται συνήθως στο κιβώτιο σύνδεσης στο πίσω μέρος κάθε πάνελ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διόδους παράκαμψης δεν προκαλούν απώλειες σε κανονικές συνθήκες όταν δεν διαρρέονται από ρεύμα. Επιπρόσθετα της προστασίας ενός ή περισσοτέρων κελιών που σκιάζονται, οι διόδους παράκαμψης επιτρέπουν τη ροή ρεύματος από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ σε μειωμένη βέβαια τάση και ισχύ.

Όπως έχει γίνει φανερό για την εν σειρά σύνδεση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός πάνελ και, κατ' επέκταση μίας συστοιχίας πάνελ, καθορίζονται από το χειρότερο (από πλευράς σκίασης) κελί ή πάνελ. Για το λόγο αυτό, πάνελ με διαφορετικούς τύπους ηλιακών κελιών ή από διαφορετικούς κατασκευαστές δε θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους. Σε ακόμη μεγαλύτερα συστήματα ίσως είναι σκόπιμο ότι τα πάνελ που συνδέονται μεταξύ τους προέρχονται από την ίδια γραμμή παραγωγής. Επιπλέον, πρέπει ο σχεδιαστής μηχανικός να λαμβάνει κάθε δυνατή μέριμνα ώστε να αποφεύγονται σκιάσεις από δένδρα, καλώδια και στύλους ή περιβάλλοντα κτίρια.

7. Πρακτικοί κανόνες χωροθέτησης – ενεργειακή απολαβή πάνελ στον Ελλαδικό χώρο

Στις προηγούμενες παραγράφους έγινε μία ανασκόπηση της τεχνολογίας των ηλιακών κελιών και των κυριότερων χαρακτηριστικών τους. Αντικείμενο του εδαφίου αυτού αποτελεί η χρησιμοποίηση των παραπάνω γνώσεων για τους βασικούς υπολογισμούς χωροθέτησης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού.

Όπως έγινε φανερό, το πρώτο ζητούμενο αποτελεί η επίτευξη της μέγιστης δυνατής έντασης ακτινοβολίας σε κάθε πάνελ κατά τη διάρκεια του χρόνου. Όπως θα περίμενε κανείς, η ένταση της ακτινοβολίας είναι αρκετά μεγαλύτερη το καλοκαίρι απ' ό,τι το χειμώνα. Ωστόσο, για τον υπολογισμό της ενεργειακής απολαβής θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη του και το γεγονός ότι οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού συντελούν αρνητικά στην παραγωγή ενέργειας.

Για την μέγιστη απολαβή ενέργειας, τα πάνελ είναι απαραίτητο να τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό με κλίση η οποία εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Για τα ελληνικά δεδομένα, μία τυπική μέση χαρακτηριστική κλίση είναι αυτή των 30 μοιρών. Ωστόσο όπως θα αναλυθεί περαιτέρω, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ενεργειακή απολαβή

αναγκάζοντας τα φωτοβολταϊκά πάνελ να ακολουθούν καθημερινώς την πορεία του ήλιου από ανατολή προς δύση με μεταβλητή κλίση, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η θέση του ήλιου στον ορίζοντα. Ωστόσο, τα προηγούμενα, δηλαδή η τοποθέτηση των πάνελ σε νότιο προσανατολισμό με περίπου 30 μοίρες κλίση ως προς την οριζόντιο, δίνουν έναν πρακτικό κανόνα τοποθέτησης των πάνελ.

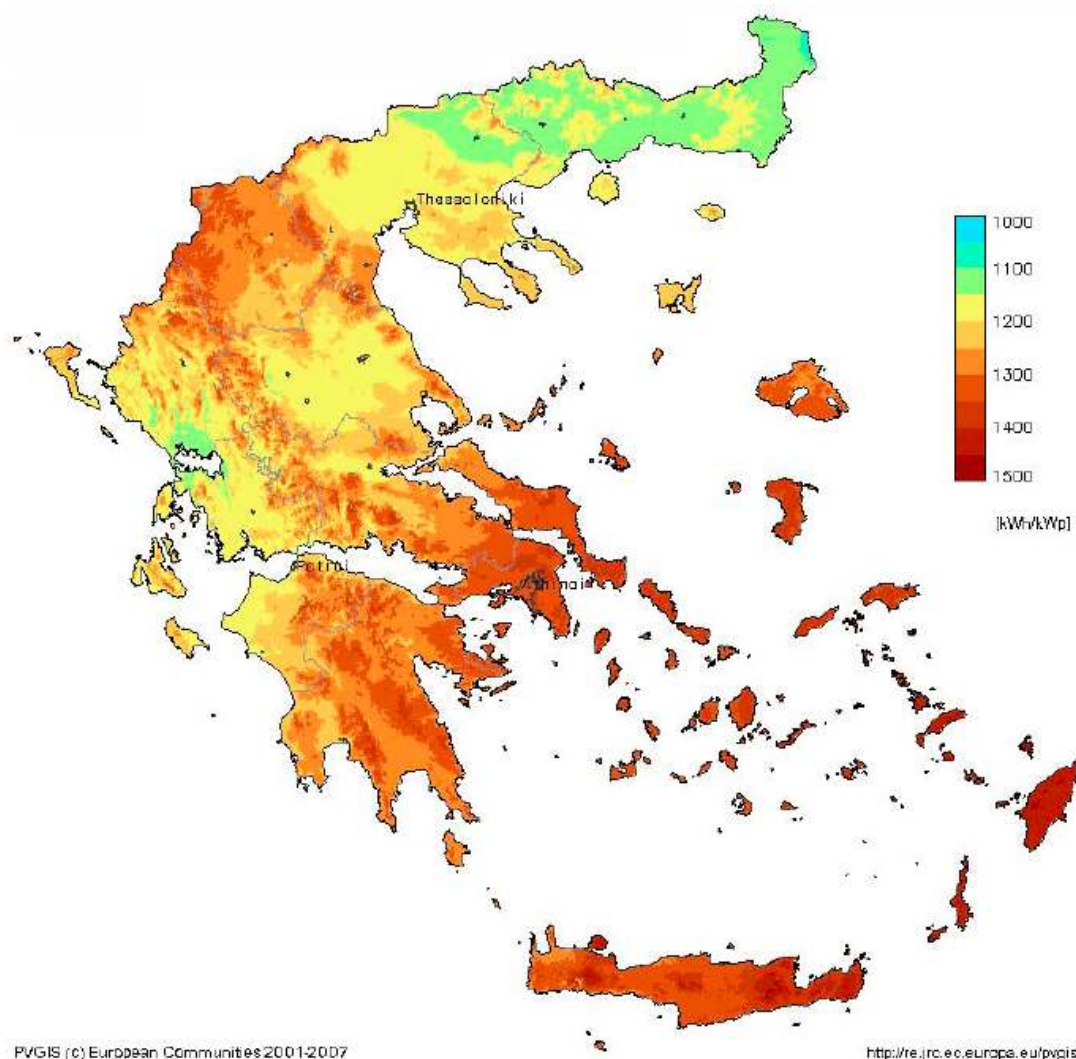
Αναφορικά με τη σκίαση, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η εγκατάσταση να βρίσκεται σε χώρο στον οποίο απουσιάζουν εμπόδια. Επιπλέον, για την αποφυγή σκιάσεων σειρών φωτοβολταϊκών πάνελ μεταξύ τους, ένας πρακτικός κανόνας τοποθέτησης είναι ότι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια του ύψους της εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 20: Χωροθέτηση σειρών πάνελ

Η ενεργειακή απολαβή από τα φωτοβολταϊκά πάνελ εξαρτάται προφανώς και από τα κλιματολογικά δεδομένα του τόπου εγκατάστασης. Είναι προφανές ότι φωτοβολταϊκά πάνελ του ίδιου κατασκευαστή τοποθετημένα ακριβώς με τον ίδιο τρόπο θα δίνουν διαφορετική παραγωγή στη Βόρεια απ' ότι στη Νότια Ελλάδα, όπου επικρατούν διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει πάντα να έχει υπόψη του ότι η αναγραφόμενη ισχύ κάθε πάνελ (peak power, W_p) αναφέρεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τις πραγματικά επικρατούσες συνθήκες.

Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικές παραγωγές ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος και ανά εγκατεστημένο kWp για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου για τις διάφορες περιοχές της Ελλάδος για πάνελ τοποθετημένα σε σταθερές βάσεις:



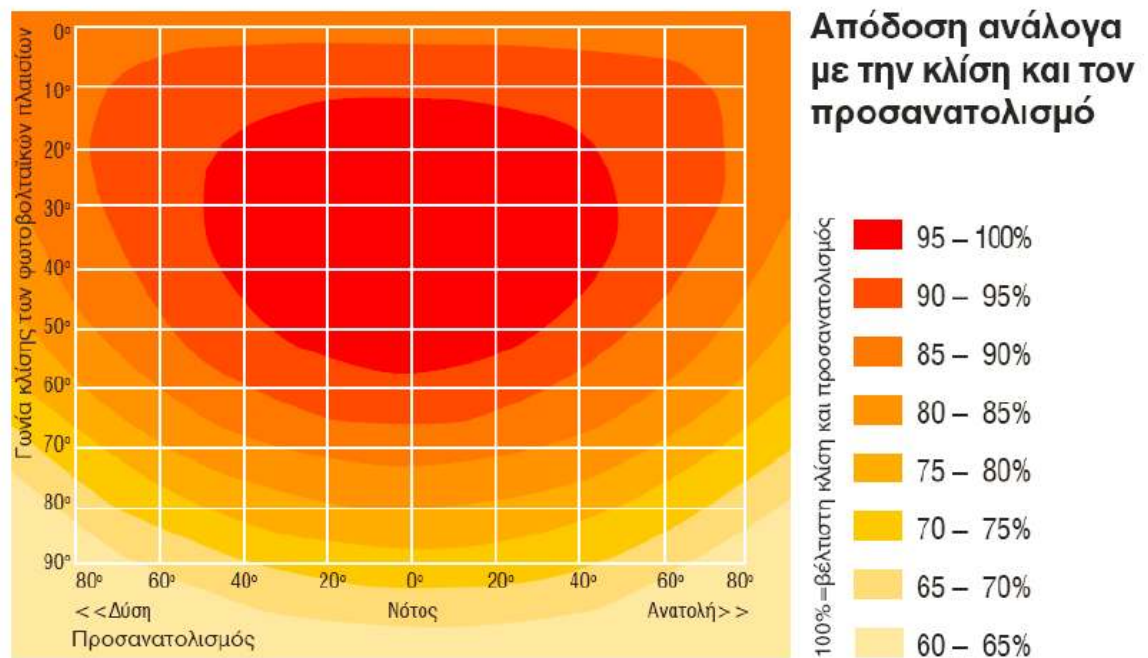
Σχήμα 21: Παραγωγή ενέργειας (kWh/έτος/kWp) για τις διάφορες περιοχές της Ελλάδας

(Πηγή ΣΕΦ, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>)

Όπως προκύπτει, μία μέση εκτίμηση της ενεργειακής απολαβής είναι 1150-1500kWh/kWp ετησίως, με τη μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται στην Κρήτη και τα Δωδεκάνησα. Ο υπολογισμός αυτός προσαυξάνεται κατά περίπου 25-30% κατά μέσο όρο με τη χρησιμοποίηση συστημάτων ανίχνευσης της πορείας του ήλιου (trackers).

Ωστόσο, ένα συχνό θέμα αποτελεί υπολογισμός της απόδοσης όταν υπάρχει απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες προσανατολισμού και κλίσης. Το φαινόμενο αυτό συναντάται συνήθως σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών σε κτίρια όπου η επιφάνεια χωροθέτησης είναι δεδομένου προσανατολισμού και κλίσης. Αντίθετα, σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών επί εδάφους υπάρχει συνήθως αρκετός χώρος ώστε να επιτευχθούν οι

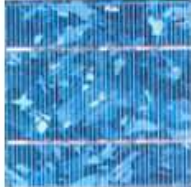
βέλτιστες συνθήκες. Στις περιπτώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω διαγράμματα:



Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0 °	30 °	90 °
Ανατολικός - Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

Σχήμα 22: Μεταβολή της παραγωγής ενέργειας για απόκλιση τοποθέτησης ως προς τις βέλτιστες συνθήκες. Πηγή ΣΕΦ

Τέλος, συγκεντρωτικά, είναι σκόπιμο να έχει κανείς υπόψη του τα γενικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών πάνελ. Ένας ενδεικτικός πίνακας δίνεται παρακάτω:

Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών (εξοπλισμός που κυκλοφορεί στην αγορά στις αρχές 2008)			
ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότια προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m²) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότια προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO₂ ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Σχήμα 23: Σημαντικότερα χαρακτηριστικά τεχνολογιών πάνελ, Πηγή ΣΕΦ

8. Τρόποι στήριξης Φ/Β πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ συνήθως εδράζονται επί εδάφους με δύο τρόπους:

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις»
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers).

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των ως άνω τρόπων έδρασης.

8 α. Σταθερές βάσεις

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού.

Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμεπηξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμεπηξη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5-1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση.

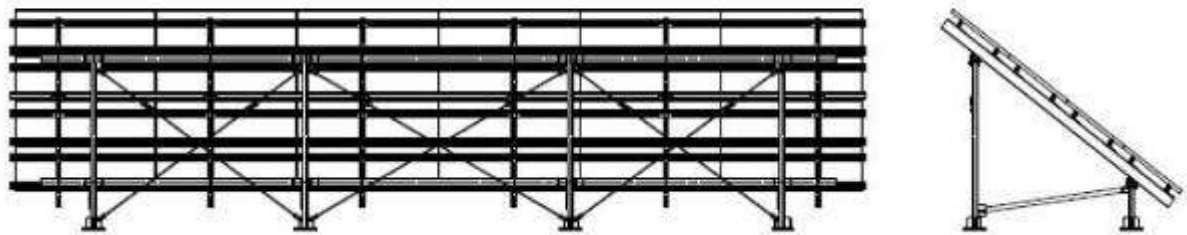
Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμεπηξη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμεπηξη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων.

Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι Φ/Β πάνελ, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρολύσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση.

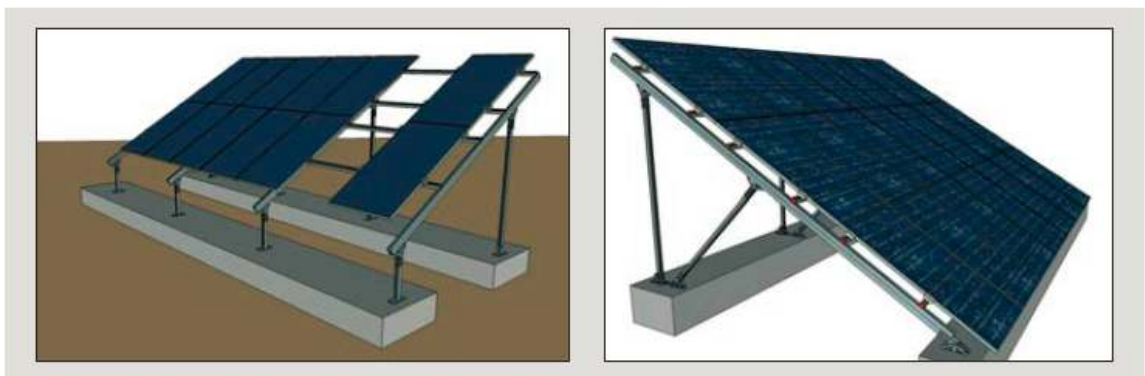
Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργω. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πάνελ (τυπικά 1,6 x 1 μέτρο για κρυσταλλικά πάνελ). Τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή (συνηθέστερα) σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά τη μικρή

διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού.

Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.



Σχήμα 24: Τυπική σταθερή βάση στήριξης



Σχήμα 25: Σκυροδέτηση σταθερών βάσεων σε δοκάρι από μπετόν



Σχήμα 26: Σκυροδέτηση σταθερών βάσεων σε πέλμα από μπετόν



Σχήμα 27: Παράδειγμα εδαφόμνηξη βάσεων



Σχήμα 28: Σταθερές βάσεις σε οροφή κτιρίου



Σχήμα 29: Σταθερές βάσεις για σκεπές

8β. Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερ (tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε

σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Συστήματα μονού άξονα (single axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.
2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με συνήθως με ηλεκτρο-μηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά. Ωστόσο, είναι σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα Φ/Β πάνελ λόγω της διαφοράς τιμής.

Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

Λόγω της ανάγκης κίνησης σημαντικού αριθμού πάνελ, τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από επίπεδες επιφάνειες τοποθετημένες σε μία κάθετη ως προς το έδαφος βάση στήριξης. Στη βάση στήριξης τοποθετείται συνήθως και ο αντιστροφέας (inverter) ή αν αυτό δεν είναι δυνατόν, γίνεται η αναχώρηση καλωδίων προς ένα κεντρικό σημείο συλλογής όπου βρίσκονται και οι αντιστροφείς.

Το γεγονός αυτό οδηγεί σε κατασκευές σημαντικού ύψους το οποίο κυμαίνεται από 2,5 έως 10-12 μέτρα, αναλόγως της κατασκευής. Το ύψος της κατασκευής συνήθως αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας των πάνελ. Σήμερα συστήματα ιχνηλάτησης κατασκευάζονται για να φέρουν ισχύ πάνελ που κυμαίνεται από 2-3kWp έως περίπου 33kWp.

Το σημαντικό μέγεθος της κατασκευής καθιστά πολυπλοκότερη και την έδραση. Συνήθως οι βάσεις στήριξης εδράζονται σε οπλισμένο σκυρόδεμα σημαντικού όγκου (από 2-3 έως και περίπου 20-30 κυβ. μέτρα) ώστε να εξασφαλίζεται η στατική τους επάρκεια. Επιπλέον, αυξάνονται τα κόστη εγκατάστασης σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Το σημαντικό μέγεθος των συστημάτων αυτών (και κυρίως το ύψος τους) αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου σε σχέση με ένα σύστημα σταθερών βάσεων, συνήθως κατά 1,5-2 φορές, λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ τους για την αποφυγή σκιάσεων. Επιπλέον, το μέγεθος των τράκερ τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους (σε σχέση με συστήματα σταθερών βάσεων) σε ανεμοπιέσεις. Η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι να χρησιμοποιείται ένα ανεμόμετρο και όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το σύστημα κίνησης να λαμβάνει εντολή να θέτει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος, μία διαδικασία γνωστή ως «οριζοντίωση», για λόγους προστασίας. Η ταχύτητα αυτή κυμαίνεται ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά μπορεί να είναι και χαμηλή και να αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 5-6 Bf. Κατά συνέπεια, κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εκτιμά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης προτού προχωρήσει στην επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου τέτοιου συστήματος.

Πέραν των παραπάνω, κάθε μελετητής μηχανικός και εν δυνάμει ιδιοκτήτης ενός Φ/Β πάρκου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα εξής πρακτικά ζητήματα που αφορούν την τοποθέτηση των συστημάτων ιχνηλάτησης:

1. Όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χρήζουν συντήρησης λόγω της ύπαρξης ήλεκτρο-μηχανικών ή ήλεκτρο-υδραυλικών μέσων κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να καταστεί απαραίτητος ο επαναπρογραμματισμός του λογισμικού του συστήματος κίνησης, λόγω απώλειας δεδομένων.
2. Λόγω του σημαντικού τους ύψους, είναι απαραίτητη η έκδοση οικοδομικής άδειας και όχι έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας, όπως ισχύει για τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και επηρεάζει τον χρόνο υλοποίησης της κατασκευής του σταθμού.
3. Επιπλέον λόγω του σημαντικού ύψους, η εκτέλεση διάφορων εργασιών γίνεται δυσκολότερη σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών αποτελούν η αντικατάσταση ενός πάνελ που έχει υποστεί φθορά ή ο καθαρισμός των πάνελ.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.



Σχήμα 30: Διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου μονού άξονα





Σχήμα 31: Διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου διπλού άξονα

9. Αντιστροφείς (inverters)

Με τον όρο αντιστροφή νοείται η διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος η οποία μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/Β πάνελ σε εναλλασσόμενη ονομαστικών τιμών 230V (ανά φάση) /50 Hz. Οι αντιστροφείς αποτελούν πάντα ένα κομβικό σημείο σε μία Φ/Β εγκατάσταση καθώς όλη η

παραγόμενη ενέργειας διοχετεύεται μέσω αυτών στο δίκτυο. Κατά συνέπεια έχει ιδιαίτερη σημασία να χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και υψηλή απόδοση.

Η ΔΕΗ, αναγνωρίζοντας το σημαντικό ρόλο των αντιστροφέων σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα θέτει συγκεκριμένες προδιαγραφές για αυτούς απαιτώντας την ύπαρξης σχετικών πιστοποιητικών. Επιπλέον κατά τη φάση παραλαβής του έργου, οι αντιστροφείς υποβάλλονται σε έλεγχο για να διαπιστωθεί κατά πόσο τηρούνται αυτές οι προδιαγραφές. Οι προδιαγραφές αυτές αφορούν:

1. Την τάση και τη συχνότητα των αντιστροφέων: οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων προστασιών ορίων τάσης και συχνότητας είναι από -20% έως +15% και +/-0,5Hz αντίστοιχα για σταθμούς στο διασυνδεδεμένο σύστημα και από -20% έως +15% και από 47,5Hz έως 51Hz για σταθμούς σε μη διασυνδεδεμένα νησιά. Σε περίπτωση ενεργοποίησης των παραπάνω προστασιών ο χρόνος αποσύνδεσης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0,5 sec και ο χρόνος επανασύζευξης τουλάχιστον 3 λεπτά.
2. Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (Total Harmonic Distortion-THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 5%. Ο συντελεστής THD ορίζεται ως:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (3)$$

όπου I_1 είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στη θεμελιώδη συχνότητα και I_h η ενεργός τιμή της αρμονικής ρεύματος τάξης h και συχνότητας $50 \times h$ Hz.

3. Εφόσον οι αντιστροφείς δε διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης η έγχυση συνεχούς ρεύματος (dc injection current) δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 0,5% του ονομαστικού ρεύματος.
4. Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης κατά το πρότυπο VDE 0126. Το σημείο αυτό πρόκειται να αναλυθεί περαιτέρω στις επόμενες παραγράφους.

Οι αντιστροφείς των διασυνδεδεμένων συστημάτων διαχωρίζονται ανάλογα με το είδος της τάσης που παράγουν σε:

1. Μονοφασικούς αντιστροφείς, με τυπικά μεγέθη ισχύος έως 10-11kW.
2. Τριφασικούς αντιστροφείς, με μεγέθη ισχύος από 6-7kW έως και 1MW.

Τονίζεται ότι η ΔΕΗ επιβάλλει τη σύνδεση των αντιστροφών σε τριφασικό σύστημα για εγκαταστάσεις άνω των 5kW, ενώ εγκαταστάσεις άνω των 100kW συνδέονται υποχρεωτικά στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) της ΔΕΗ.

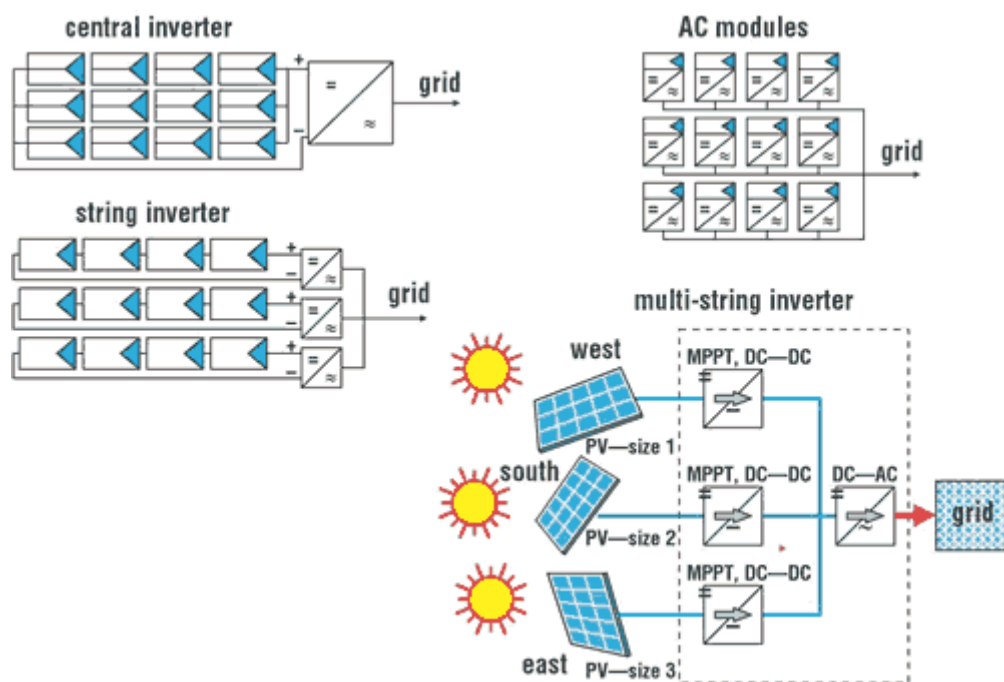
Οι αντιστροφείς ανάλογα με το αν χρησιμοποιούν μετασχηματιστή για γαλβανική απομόνωση (χαμηλής ή υψηλής συχνότητας) ανάμεσα στην DC είσοδο και την AC έξοδο χωρίζονται σε :

1. Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (inverters with transformer)
2. Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless (TL) inverters)

Επιπλέον, ανάλογα της τεχνολογίας διασύνδεσης των Φ/Β πάνελ που χρησιμοποιείται οι αντιστροφείς χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)
2. Αντιστροφείς κλάδων (string inverters)
3. Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων (multi-string inverters)
4. Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (module integrated inverters).

Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει σχηματικά τις παραπάνω οικογένειες αντιστροφών:



Σχήμα 32: Κεντρικός μετατροπέας

9.1 Η χρήση μετασχηματιστή στους αντιστροφείς

Ο κυριότερος λόγος της χρήσης μετασχηματιστή σε έναν αντιστροφή είναι αυτός της απομόνωσης της DC πλευράς η οποία συνδέεται με τα φωτοβολταϊκά πάνελ με την AC πλευρά που συνδέεται στο δίκτυο. Οι μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι κατασκευασμένοι για συχνότητα 50Hz, ή για υψηλότερη συχνότητα (της τάξης των 10-15kHz) για μικρότερη ισχύ. Οι μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας εμφανίζουν μεγαλύτερες απώλειες, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν μεγαλύτερο βάρος. Αντιθέτως οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται από πιο εξειδικευμένη κατασκευή.

Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της χρήσης του μετασχηματιστή, πέραν του αυξημένου κόστους ανά μονάδα ισχύος, είναι αυτό της εισαγωγής επιπλέον απωλειών που κυμαίνονται μεταξύ 2-4%. Ωστόσο είναι πιθανόν και οι αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή να εμφανίζουν αυξημένες απώλειες αν χρησιμοποιούνται μετατροπείς ανύψωσης της DC τάσης των Φ/Β πάνελ (DC/DC μετατροπείς ανύψωσης). Επιπλέον, η έλλειψη γαλβανικής απομόνωσης στους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις αναφορικά με την ασφάλεια και την εμφάνιση διαρροών και ασυμμετριών. Σε ορισμένες περιπτώσεις δε, επιβάλλεται η χρήση αντιστροφών με μετασχηματιστή. Μία τέτοια περίπτωση είναι αυτή των πάνελ άμορφου πυριτίου όπου υποχρεωτικά συνδέονται σε αντιστροφείς με μετασχηματιστή απομόνωσης.

Μία σύγκριση των δύο οικογενειών αντιστροφών παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

	Αντιστροφείς με μετασχηματιστή (with transformer)	Αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή (transformerless-TL)
Χαρακτηριστικά	- Οι τάσεις εισόδου και εξόδου είναι γαλβανικά απομονωμένες - Ευρεία χρήση - Κυρίως χρήση σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος	Η τάση των Φ/Β πάνελ πρέπει είτε να είναι σημαντικά υψηλότερη από το πλάτης της τάσης δικτύου, ή να χρησιμοποιηθούν DC/DC μετατροπείς ανύψωσης
Πλεονεκτήματα	- Ασφάλεια - Πολλά χρόνια λειτουργίας - Μείωση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών	- Μεγαλύτερη απόδοση (σε συσκευές χωρίς DC/DC μετατροπείς) - Μικρότερος όγκος και βάρος
Μειονεκτήματα	- Απώλειες μετασχηματιστή (μαγνητικές και ωμικές) - Αυξημένος όγκος και βάρος	- Μεγαλύτερες απαιτήσεις ασφάλειας - Μεγαλύτερη ευαισθησία σε ασυμμετρίες - Μεταβολές του σημείου λειτουργίας

Πίνακας 1: Σύγκριση αντιστροφέων με μετασχηματιστή και χωρίς μετασχηματιστή

9.2 Οικογένειες αντιστροφέων

9.2.1 Κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters)

Οι κεντρικοί αντιστροφείς αποτελούν το είδος των αντιστροφέων που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος, της τάξης από 30-50kW έως και 1-2MW. Για το λόγο αυτό, η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε επίπεδα ισχύος των εκατοντάδων kW οι αντιστροφείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV, ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο MT της ΔΕΗ.

Αρχικά στους κεντρικούς μετατροπείς χρησιμοποιήθηκαν θυρίστορ με χαμηλές συχνότητες μεταγωγής και αυξημένες ανάγκες χρήσης φίλτρων. Ωστόσο με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα θυρίστορ αντικαταστάθηκαν από τρανζίστορ IGBT με μεγαλύτερες συχνότητες μεταγωγής, τα οποία, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη εξελιγμένων τεχνικών διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) υλοποιούμενων ψηφιακά, οδήγησαν τους κεντρικούς μετατροπείς στην δημιουργία σχεδόν ημιτονοειδών ρευμάτων εξόδου με χαμηλές απαιτήσεις χρήσης φίλτρων.

Οι κεντρικοί μετατροπείς χαρακτηρίζονται από το μικρό αριθμό εισόδων DC (συνήθως 1-2 εισόδους). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τον μεγάλο αριθμό πάνελ τα οποία πρέπει να συνδεθούν στην είσοδο τους, επιβάλλει την εκτεταμένη χρήση DC καλωδίων σε αντίθεση με τις άλλες ομάδες αντιστροφών όπου η καλωδίωση μπορεί να γίνει με AC.

Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει έναν κεντρικό μετατροπέα στα με μέγιστη ισχύ εισόδου τα 1,4kWp.



Σχήμα 33: Κεντρικός μετατροπέας

9.2.2 Αντιστροφείς κλάδων ή στοιχειοσειρών (string inverters)

Αποτελούν αδιαμφισβήτητα την περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία αντιστροφών σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων (strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2-8).

Οι αντιστροφείς αυτού του τύπου κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW). Διαθέτουν αρκετή ευελιξία αναφορικά με τον αριθμό των πάνελ που μπορεί να συνδεθεί στις εισόδους τους, αρκεί φυσικά να μην παραβιάζονται οι μέγιστες ρυθμίσεις ασφαλείας τους. Επιπλέον είναι σκόπιμο να συνδέονται στις εισόδους τους με τον ίδιο τύπο και αριθμό πάνελ.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά ορισμένους αντιστροφείς αυτού του τύπου:



Σχήμα 34: Μετατροπείς κλάδων

9.2.3 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων ή στοιχειοσειρών (multi-string inverters)

Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή στην ουσία κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς.

Οι αντιστροφείς αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα πάνελ επιβάλλει τη σύνδεση διαφορετικών πάνελ ή σε περιπτώσεις όπου μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά εγκατάστασης που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας, όπως είναι η κλίση των πάνελ ή η ύπαρξη προβλημάτων σκίασης.

Λόγω του ειδικού χαρακτήρα της χρήσης τους, η διαθεσιμότητα μοντέλων multi-string είναι σαφώς πιο περιορισμένη απ' ό,τι σε συμβατικούς string inverters.



Σχήμα 35: Αντιστροφέας πολλαπλών κλάδων

9.2.4 Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (Module integrated inverters)

Οι αντιστροφείς αυτοί αποτελούν μία σχετικά νέα κατηγορία χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Σκοπός της χρήσης τους αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά. Οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.



Σχήμα 36: Αντιστροφείς για ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ

9.3 Σημαντικοί παράμετροι λειτουργίας

Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των αντιστροφένων:

9.3.1 Ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα

Ο (συνολικός) βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, σε συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης ορίζεται ως το πηλίκο της (AC) ισχύος εξόδου προς την (DC) ισχύ εισόδου, δηλαδή:

$$\eta(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (3)$$

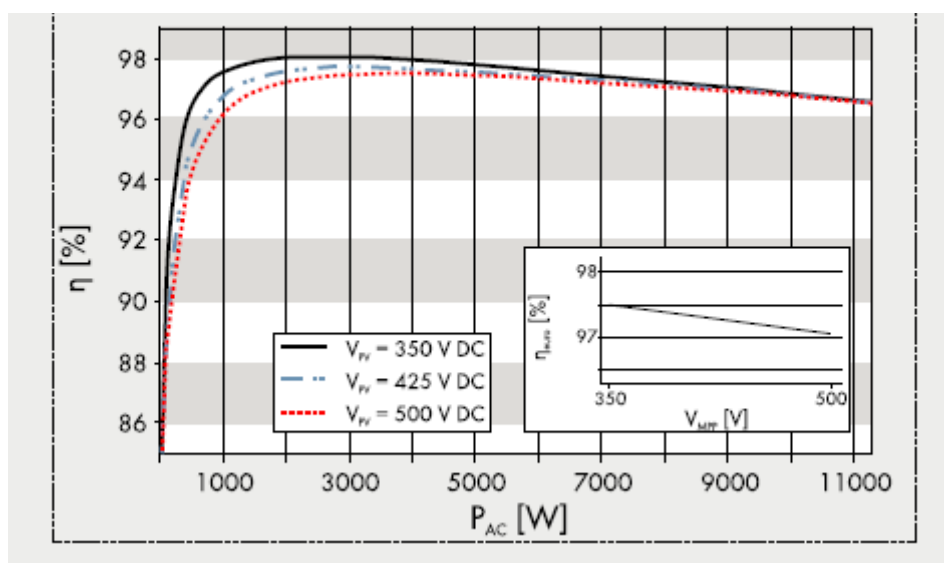
Ο βαθμός απόδοσης αντανακλά το ποσό της ισχύος που χάνεται ως απώλειες στον αντιστροφέα. Οι κυριότερες απώλειες εμφανίζονται στα ημιαγωγά στοιχεία ισχύος, ενώ άλλες πηγές απωλειών αποτελούν οι ωμικές αντιστάσεις των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, οι απώλειες αερισμού κτλ.

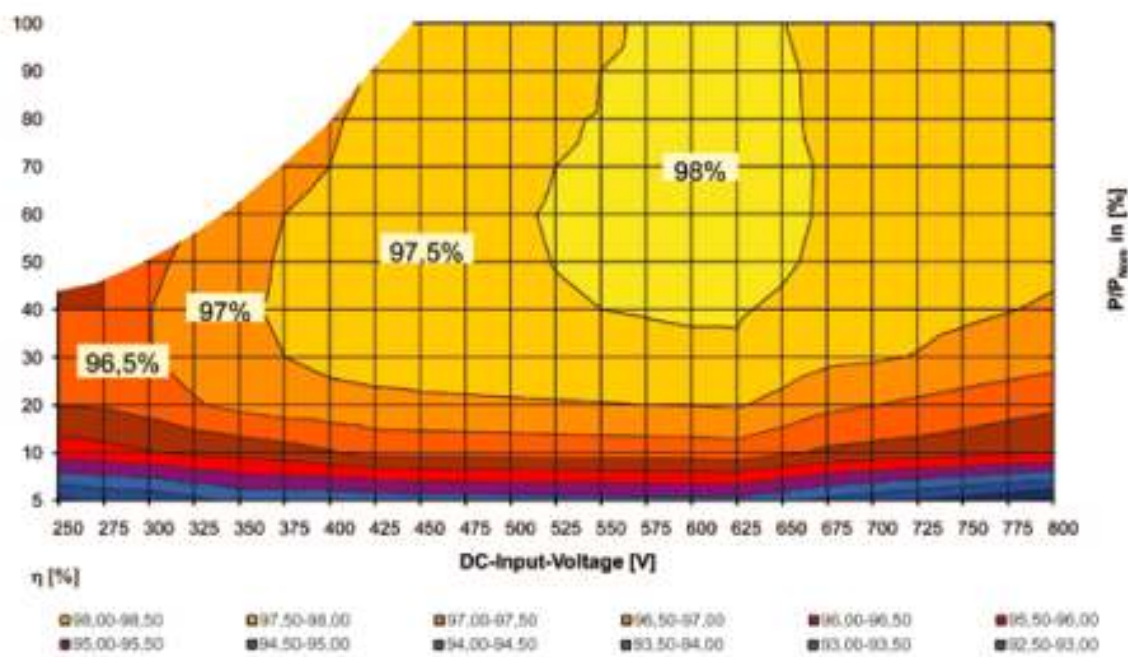
Ο βαθμός απόδοσης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός αντιστροφέα και κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει το σημείο αυτό. Ο λόγος είναι προφανής: απώλειες ισχύος μεταφράζονται σε απώλειες εισοδήματος σε διασυνδεδεμένα συστήματα. Για παράδειγμα αν υποθεθεί ότι η μέση παραγωγή σε μία τοποθεσία είναι 1.300kWh/kWp το έτος τότε η μεταβολή κατά 1% (επί της ονομαστικής ισχύος) των απωλειών

σε ένα Φ/Β σταθμό 100kWp, θα σήμαινε απώλειες εσόδων της τάξης των 585€/έτος.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό απόδοσης, θεωρώντας ίδιο ποσό φόρτισης του αντιστροφέα, είναι η ύπαρξη ή μη μετασχηματιστή απομόνωσης. Όπως αναφέρθηκε στην αγορά υπάρχουν οι τεχνολογίες αντιστροφών με μετασχηματιστή ή χωρίς. Τυπικές τιμές απόδοσης αντιστροφών με μετασχηματιστή είναι της τάξης του 92-94% με μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (LF) και 94-96% με μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (HF). Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 96-98,5%.

Οι παραπάνω τιμές απόδοσης αναφέρονται στον καταγραφόμενο μέγιστο βαθμό απόδοσης (maximum efficiency). Η τιμή αυτή αναγράφεται πάντα στα τεχνικά φυλλάδια. Ωστόσο θα πρέπει να γνωρίζει κανείς ότι κάθε αντιστροφέας λειτουργεί λίγες φορές στον απολύτως μέγιστο βαθμό απόδοσης, καθώς αυτός εξαρτάται από το επίπεδο φόρτισης του αντιστροφέα και την DC τάση λειτουργίας. Ως βαθμός φόρτισης νοείται το ποσοστό της ισχύος εισόδου του αντιστροφέα, ως προς την ονομαστική ισχύ εισόδου ή η ισχύς εξόδου (ο ακριβής προσδιορισμός εξαρτάται από τον κατασκευαστή). Οι κατασκευαστές παρουσιάζουν τα στοιχεία αυτά με τη μορφή διαγραμμάτων, όπως για παράδειγμα στα παρακάτω σχήματα:





Σχήμα 37: Παραδείγματα διαγραμμάτων βαθμού απόδοσης αντιστροφών

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα, ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφών εμφανίζει μέγιστο σε μία περιοχή τιμών ισχύος και DC τάσεων. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση αντιστροφών σε σχέση με την ονομαστική ισχύ των Φ/Β πάνελ, όπου ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εξετάζει, ανάλογα με την περίπτωση, αν η λειτουργία του αντιστροφέα αντιστοιχεί σε περιοχές με υψηλό βαθμό απόδοσης.

Έτσι για υπέρ-διαστασιολογημένους αντιστροφείς (αναφορικά με τη συνολική ισχύ των Φ/Β πάνελ που συνδέονται στην είσοδο τους), είναι πιθανό να λειτουργούν σε σχετικά χαμηλά φορτία για τα οποία δεν εμφανίζουν το βέλτιστο βαθμό απόδοσης και επιπλέον στοιχίζουν περισσότερο. Από την άλλη πλευρά, αντιστροφείς που εμφανίζονται υπό-διαστασιολογημένοι σε σχέση με την ισχύ των Φ/Β πάνελ, είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε απώλειες ενέργειας λόγω υπερφόρτισης: κάθε αντιστροφέας χαρακτηρίζεται από μία μέγιστη ισχύ η οποία δεν μπορεί να ξεπεραστεί για λόγους ασφαλείας, οπότε είναι πιθανόν πλεονάσματα ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ να χάνονται.

Συνήθως, ανάλογα και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης, το είδος των πάνελ, της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας στήριξης (σταθερές βάσεις ή τράκερ) και της καμπύλης απόδοσης του κάθε αντιστροφέα, η σχέση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος εξόδου του αντιστροφέα και της ισχύος των Φ/Β πάνελ κυμαίνεται μεταξύ 90% και 115%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης δεν επαρκεί για να χαρακτηρίσει τη λειτουργία ενός αντιστροφέα αναφορικά με τις απώλειες του. Μία καλύτερη προσέγγιση παρέχει ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (euro efficiency), ο οποίος αποτελεί έναν μεσοσταθμισμένο βαθμό απόδοσης, βάσει αποδόσεων σε μερικά φορτία, εκφρασμένα σε ποσοστά της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Ο βαθμός αυτός ορίζεται ως:

$$\eta_E = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.1\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.2\eta_{100\%}$$

(4)

όπου λαμβάνονται οι βαθμοί απόδοσης στο 5%, 10%, 20%, 30%, 50% και 100% της ονομαστικής ισχύος εξόδου με συντελεστές βαρών 3%, 6%, 13%, 10%, 48% και 20% αντίστοιχα. Ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης διαφέρει συνήθως από το μέγιστο βαθμό απόδοσης κατά 1-2% και δίνεται επίσης από τους κατασκευαστές.

9.3.2 Βέλτιστο σημείο λειτουργίας των Φ/Β πάνελ

Η παρακολούθηση του σημείου βέλτιστης λειτουργίας γνωστή και ως MPPT (Maximum Power Point Tracking) αναφέρεται στην τεχνική που χρησιμοποιείται ώστε να μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας (τάση-ρεύμα) των Φ/Β πάνελ ώστε να ανταποκρίνεται κάθε φορά στο σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ισχύς ενός Φ/Β πάνελ, η οποία προκύπτει από το γινόμενο της τάσης με την ένταση ρεύματος, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance, G) και της θερμοκρασίας. Οι κατασκευαστές των πάνελ δίνουν στα τεχνικά φυλλάδια τη μέγιστη ισχύ (Maximum Power Point, MPP) στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) οι οποίες αντιστοιχούν σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ίση προς $G=1000\text{W/m}^2$, και θερμοκρασία πάνελ ίση προς 25 βαθμούς Κελσίου. Σε οποιαδήποτε άλλες συνθήκες, η μέγιστη ισχύς μεταβάλλεται και μειώνεται με τη μείωση της ακτινοβολίας και την αύξηση της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητο κάθε αντιστροφέας να διαθέτει διατάξεις οι οποίες παρακολουθούν συνεχώς το σημείο λειτουργίας των πάνελ και το μεταβάλλουν, ώστε να αντιστοιχεί κάθε φορά στο σημείο της μέγιστης ισχύος.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται διάφοροι αλγόριθμοι MPPT. Ένας απλός και διαδεδομένος αλγόριθμος είναι αυτός της μεθόδου P&O (perturbation and observe, διαταραχή και παρατήρηση). Στον αλγόριθμο αυτό το σημείο λειτουργίας μεταβάλλεται ελαφρά και παρατηρείται η μεταβολή στην ισχύ: αν η μεταβολή οδηγεί σε αύξηση της ισχύος (θετική παράγωγος), τότε επιβάλλεται νέα μεταβολή, έως το σημείο που η μεταβολή της ισχύος οδηγήσει σε μείωση ισχύος (αρνητική παράγωγος).

Τότε το τελικό σημείο λειτουργίας ταλαντώνεται μεταξύ αυτών των δύο σημείων θετικής και αρνητικής παραγώγου, που αντιστοιχεί σε μέγιστο.

Τα τεχνικά φυλλάδια των αντιστροφών αναφέρονται στο εύρος της DC τάσης εισόδου στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος της μέγιστης ισχύος. Είναι υποχρέωση του μελετητή να εξασφαλίζει ότι σε όλο το δυνατό εύρος λειτουργίας, η DC τάση των Φ/Β πάνελ κείται εντός των ορίων ελέγχου μέγιστης τάσης, ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτική λειτουργία του αντιστροφέα.

Επίσης, συχνά τα φυλλάδια των κατασκευαστών αναφέρονται στο βαθμό απόδοσης της παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT efficiency). Ο βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας που λαμβάνει ο αντιστροφέας από τα Φ/Β πάνελ προς το (θεωρητικό) ποσό της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να λάβει για μία προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή ισχύει:

$$\eta_{MPPT} = \frac{\int_0^t P_{DC}(t)dt}{\int_0^t P_{MAX}(t)dt} \quad (5)$$

9.3.3 Το φαινόμενο της νησιδοποίησης

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης (islanding) αναφέρεται σε ένα τμήμα του δικτύου με φωτοβολταϊκά συστήματα που έχει αποκοπεί από την κεντρική τροφοδοσία (δηλαδή αυτή του δικτύου της ΔΕΗ). Στην περίπτωση αυτή, ο φωτοβολταϊκός σταθμός λειτουργεί ως νησίδα παραγωγής ενέργειας και αν οι αντιστροφείς παραμένουν συνδεδεμένοι ελλοχεύουν κίνδυνοι για την ασφάλεια του προσωπικού που πιθανόν να εκτελεί εργασίες στο σημείο σύνδεσης ή και για τον ίδιο τον εξοπλισμό από μεταβατικά φαινόμενα κατά την αυτόματη ή χειροκίνητη επαναφορά του δικτύου.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρήζει ειδικού χειρισμού από τον αντιστροφέα, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω κατάλληλων μετρήσεων την ύπαρξη του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 (Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid) ή συμμόρφωση προς το οποίο (ή αντίστοιχο ισοδύναμο του κατά τα πρότυπα άλλων χωρών πλην Γερμανίας ή χωρών που υιοθετούν τους Γερμανικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτική.

Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την

επαναφορά του δικτύου, ο αντιστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανα-συνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και η ΔΕΗ ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αντιστροφών. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της ΔΕΗ κατά τη δοκιμή ηλεκτρίσης του σταθμού και την παραλαβή του.

9.3.4 Αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος και συντελεστής ισχύος

Η αρμονική παραμόρφωση του παραγόμενου ρεύματος και ο συντελεστής ισχύος συνδέονται άμεσα με την ποιότητα της παρεχόμενης προς το δίκτυο ισχύος. Ιδανικά, η ισχύς θα πρέπει να μεταφέρεται με συντελεστή ισχύος ίσο προς τη μονάδα, ώστε η άεργος ισχύς του σταθμού να είναι μηδενική και επιπλέον οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος θα πρέπει να είναι σχεδόν ημιτονοειδούς μορφής, ώστε να μην εγχέονται ανεπιθύμητες αρμονικές στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Ως μέτρο της ποιότητας του ρεύματος αναφορικά με τις αρμονικές του χρησιμοποιείται ο ευρέως διαδεδομένος δείκτης της «ολικής αρμονικής παραμόρφωσης» περισσότερο γνωστός ως THD, από τα αρχικά των λέξεων Total Harmonic Distortion. Ο δείκτης αυτός ορίζεται ως:

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (6)$$

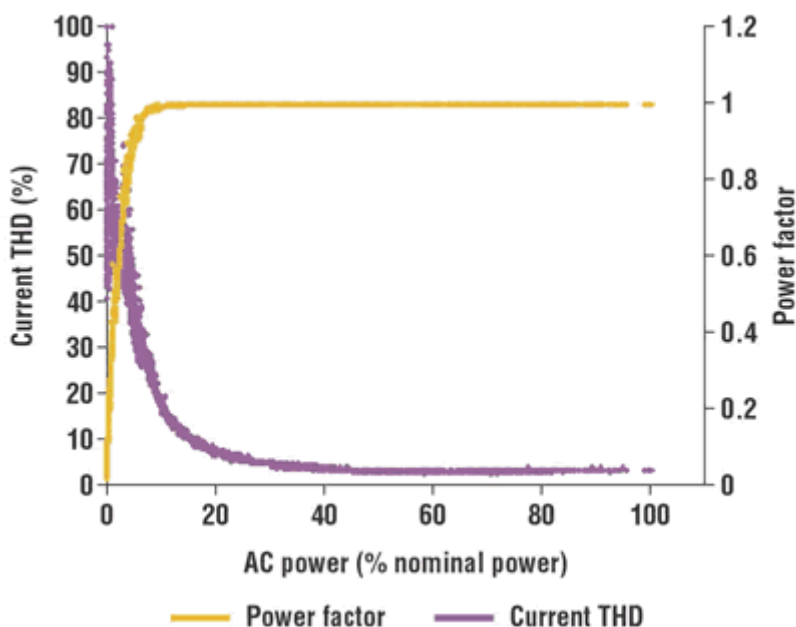
Όπου I_h , $h=2,3,4,\dots$ είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης h (δηλαδή συχνότητας $50 \times h$) και I_1 , είναι η ενεργός τιμή (rms) ή πλάτος της αρμονικής τάξης 1, δηλαδή της θεμελιώδους των 50Hz.

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτει ότι για μία αμιγώς ημιτονοειδή κυματομορφή ο συντελεστής THD είναι ίσος με το μηδέν ενώ όσο μεγαλύτερα είναι τα πλάτη των αρμονικών τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή. Ο παραπάνω ορισμός έχει το μειονέκτημα ότι δεν ποσοτικοποιεί την επίδραση της συχνότητας της κάθε αρμονικής, παραμένει ωστόσο ένα διεθνώς αναγνωρισμένος δείκτης για την παρουσία αρμονικών.

Ο συντελεστής THD του ρεύματος που παράγεται από έναν αντιστροφέα φωτοβολταϊκών συστημάτων προσδιορίζεται στο πρότυπο IEC 61000-3-2. Θεωρώντας το φάσμα αρμονικών έως την αρμονική τάξης 49, ο

συντελεστής THD του ρεύματος θα πρέπει να είναι μικρότερος από 5%. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι λόγω της υψηλής συχνότητας μεταγωγής των διακοπών ηλεκτρονικών ισχύος (τεχνολογίας IGBT) που χρησιμοποιούνται στις γέφυρες του αντιστροφέα και της χρησιμοποίησης της τεχνικής διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) οι κυριότερες αρμονικές εμφανίζονται σε πολλαπλάσια της συχνότητας αυτής, σε τάξεις συνήθως μεγαλύτερες από την τάξη 50. Η AC ισχύς για την οποία πρέπει να ισχύει η προδιαγραφή της αρμονικής παραμόρφωσης δεν αναφέρεται και έτσι συνήθως νοείται η ονομαστική ισχύς. Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος αυξάνεται σημαντικά σε φορτία πολύ μικρότερα του ονομαστικού. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει ενδεικτικά τη μεταβολή του THD και του συντελεστή ισχύος με το φορτίο του αντιστροφέα, όπου φαίνεται ότι η συντελεστής THD είναι κάτω από 5% στο 50% του φορτίου και πάνω. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ισχύος διατηρείται σχεδόν ίσος προς τη μονάδα ($>0,999$) για φορτία του αντιστροφέα από 20% και πάνω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη Γερμανία ισχύει από 1^η Ιουλίου 2010 ότι οι αντιστροφείς που τροφοδοτούν ενέργειας στο δίκτυο μέσης τάσης, θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα υποστήριξης του με την παραγωγή ή κατανάλωση αέργου ισχύος. Έτσι εμφανίζονται στην αγορά εκδόσεις αντιστροφέων που έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της αέργου ισχύος και εμφανίζουν συντελεστή ισχύος μικρότερο της μονάδας.



Σχήμα 38: Μεταβολή του συντελεστή ισχύος και της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης ρεύματος με το φορτίο του αντιστροφέα

9.3.5 Έγχυση DC ρεύματος

Μία σημαντική προδιαγραφή που τίθεται για τους αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο είναι αυτή της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο, γεγονός που σχετίζεται και με την ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου. Το δυσμενές αποτέλεσμα της έγχυσης DC ρεύματος στο δίκτυο είναι η μεταβολή του σημείου λειτουργίας των μετασχηματιστών του δικτύου προς τον κορεσμό, το οποίο οδηγεί σε υψηλό ρεύμα πρωτεύοντος το οποίο μπορεί να ενεργοποιήσει μέσα προστασίας. Επιπλέον επηρεάζεται αρνητικά ο χρόνος ζωής και ο βαθμός απόδοσης των μετασχηματιστών, ενώ καταπονούνται επίσης και οι καλωδιώσεις.

Το θέμα της έγχυσης DC ρεύματος αποκτά σημασία σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (50Hz) πετυχαίνουν γαλβανική απομόνωση μεταξύ της DC και της AC πλευράς και έτσι αποφεύγεται η έγχυση DC ρεύματος. Αντίθετα, σε αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή, όπου το πρόβλημα μπορεί να εμφανιστεί, εφαρμόζονται εξελιγμένες τεχνικές για μέτρηση ρεύματος και ηλεκτρονικό έλεγχο. Οι αντιστροφείς που διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης σε υψηλή συχνότητα, αποτελούν μία ενδιάμεση κατάσταση στο βαθμό που επηρεάζεται ο τύπος του μέσου προστασίας που χρησιμοποιείται για έμμεσες επαφές στην DC πλευρά.

Σήμερα για τη σύνδεση ενός Φ/Β πάρκου η ΔΕΗ θέτει ως απαραίτητο όρο η έγχυση DC να είναι μικρότερη του 0,5% του ονομαστικού ρεύματος και πρέπει να προσκομίστούν τα ανάλογα πιστοποιητικά.

9.3.6 Λειτουργία με περιορισμό ισχύος

Η διαφορά ανάμεσα στην ονομαστική ισχύ και την ισχύ λειτουργίας από τα Φ/Β πάνελ προϋποθέτει ότι οι αντιστροφείς θα πρέπει να προστατευτούν από τη λειτουργία υπερφόρτισης, για παράδειγμα όταν η ισχύς που παράγεται από τα Φ/Β πάνελ είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη DC εισόδου του αντιστροφέα. Στην περίπτωση αυτή οι εσωτερικοί αλγόριθμοι ελέγχου μετατοπίζουν το σημείο λειτουργίας από το μέγιστο (MPP) ώστε να προστατευτεί ο αντιστροφέας από υπερθέρμανση. Δυστυχώς, στην περίπτωση αυτή η επιπλέον αυτή ενέργεια των Φ/Β πάνελ δεν αξιοποιείται.

Υπάρχουν επίσης αντιστροφείς στους οποίους δεν εκτελείται η παραπάνω διαδικασία, αλλά απλά ο αντιστροφέας σταματά τη λειτουργία του και προσπαθεί να επανασυνδεθεί μετά από μικρό χρονικό διάστημα.

Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να γίνεται σωστή διαστασιολόγηση των αντιστροφέων και να ληφθεί υπόψη μία μέση εκτίμηση της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β πάνελ. Το θέμα αυτό είναι

σημαντικότερο σε Φ/Β πάρκα με τράκερ καθώς εμφανίζουν σημαντικά αυξημένη παραγωγή ενέργειας που επιφέρει τη λειτουργία αντιστροφών σε υψηλότερα φορτία απ' ό,τι για παράδειγμα σε συστήματα σταθερών βάσεων.

9.3.7 Άλλα χαρακτηριστικά

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή και τοποθέτηση των αντιστροφών είναι ο βαθμός προστασίας του (IP class). Αν και αντιστροφείς με υψηλό δείκτη προστασίας (π.χ. IP 65) μπορούν να τοποθετηθούν στον εξωτερικό χώρο, γενικά συνιστάται να αποφεύγεται η απευθείας έκθεση τους στον ήλιο και να τοποθετούνται στο πίσω μέρος των σταθερών βάσεων ή στη βάση των τράκερ.

Αντιστροφείς με μικρότερο δείκτη προστασίας IP (π.χ. IP44) μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο με πρόβλεψη κάποιου καλύμματος προστασίας από καιρικές συνθήκες. Αντίθετα αντιστροφείς με ακόμη μικρότερο δείκτη (π.χ. IP 21-23) θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση αυτή μέριμνα πρέπει να ληφθεί για τον επαρκή αερισμό του χώρου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του αντιστροφέα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, σε ορισμένες περιπτώσεις αν θεωρείται σκόπιμο θα πρέπει να προβλεφθεί και η τοποθέτηση κλιματιστικού μηχανήματος.

Αναφορικά με την αξιοπιστία των αντιστροφών, οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται μία περίοδο της τάξης των 5 ετών. Είναι ωστόσο δυνατόν, με αντίστοιχη αύξηση του κόστους ή περίοδος εγγύησης να επεκταθεί αρκετά, σε διάστημα ακόμη και 20 ετών. Το γεγονός ότι οι αντιστροφείς εμφανίζουν σημαντικά μειωμένους χρόνους εγγύησης σε σχέση με τα υπόλοιπα βασικά τμήματα της Φ/Β εγκατάστασης (π.χ. πάνελ, βάσεις, καλώδια κτλ), λόγω της ηλεκτρονικής φύσης τους, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τους χρηματοοικονομικούς υπολογισμούς καθώς είναι πολύ πιθανόν στο διάστημα της 20ετίας που προβλέπεται η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το ΔΕΣΜΗΕ να χρειαστεί να γίνει αντικατάσταση τους επί πληρωμή.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλοι οι αντιστροφείς της αγοράς είναι εξοπλισμένοι με συστήματα που επιτρέπουν την παρακολούθηση της λειτουργίας τους, την καταγραφή των δεδομένων και της δυνατότητα επικοινωνίας ώστε να καταστεί δυνατή η τοπική και απομακρυσμένη παρακολούθηση της πραγματικής παραγωγής του Φ/Β σταθμού. Ειδικά στην απομακρυσμένη παρακολούθηση, σχεδόν όλοι οι κατασκευαστές αντιστροφών δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης μέσω διαδικτύου, μέσω αντίστοιχων ιστοσελίδων, ώστε να είναι δυνατή η επισκόπηση της λειτουργίας από απόσταση και η αναφορά σφαλμάτων.

10. Καλωδιώσεις

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του αντιστροφέα ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των αντιστροφέων σε τριφασικό σύστημα και την τελική σύνδεση με τη ΔΕΗ.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση εν σειρά των Φ/Β πάνελ είναι συνήθως κατασκευασμένα για χρήση στον εξωτερικό χώρο. Η διατομή τους είναι συνήθως 4mm^2 για πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου και ακόμη μικρότερη (της τάξης του $1,5\text{mm}^2$) για πάνελ άμορφου πυριτίου, λόγω του σημαντικά μικρότερου ρεύματος τους. Τα καλώδια αυτά είναι συνήθως μονοπολικά και με διπλή μόνωση, ώστε να αποφεύγονται σφάλματα μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου των Φ/Β πάνελ ή σφάλματα γης. Κατασκευάζονται επίσης πολύκλωνα ώστε να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για τη σύνδεση τους, ενώ το μήκος τους κυμαίνεται γύρω στο 1 μέτρο.



Σχήμα 39: Τυπικά καλώδια φωτοβολταϊκών πλαισίων

Το συχνά χρησιμοποιούμενο καλώδιο με μόνωση λάστιχο και μανδύα από νεοπρένιο τύπου H07 RN-F, στην τυπική (standard) έκδοση του επιτρέπεται σε θερμοκρασίες έως 60°C και έτσι είναι κατάλληλο για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα σε περιορισμένο εύρος. Για το σκοπό αυτό οι κατασκευαστές προχώρησαν στη δημιουργία ειδικών καλωδίων για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (solar cables). Τα κυριότερα χαρακτηριστικά

τους είναι ότι είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες και σε υπεριώδη (UV) ακτινοβολία με μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών (της τάξης από -55°C έως 125°C). Επιπλέον κάποιοι κατασκευαστές προσφέρουν καλώδια με μεταλλικό πλέγμα για μεγαλύτερη προστασία από τα τρωκτικά και καλύτερη προστασία από υπερτάσεις.

Οι διατομές των DC καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των Φ/Β πάνελ με τους αντιστροφείς κυμαίνονται συνήθως από $4\text{-}16\text{mm}^2$. Ο ακριβής προσδιορισμός της διατομής εξαρτάται κυρίως από τις απώλειες του καλωδίου και όχι ιδιαίτερα από τη θερμική φόρτιση η οποία είναι μικρή, λόγω του μικρού σχετικά ρεύματος λειτουργίας των Φ/Β πάνελ. Έτσι, με δεδομένη την γραμμική αύξηση των απωλειών με το μήκος των καλωδίων, είναι σκόπιμο ο κάθε μελετητής να προβαίνει σε υπολογισμούς απωλειών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποστάσεων αρκετών δεκάδων μέτρων, λαμβάνοντας υπόψη και την αντίσταση των καλωδίων. Είναι επίσης σκόπιμο να χρησιμοποιούνται διαφορετικοί χρωματισμοί καλωδίων για το θετικό και αρνητικό, συνήθως κόκκινο και μαύρο.

Είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες διατομές DC καλωδίων της τάξης των $25\text{-}70\text{mm}^2$, σε περιπτώσεις που δεν επαρκεί ο αριθμός των εισόδων ενός αντιστροφέα για την απευθείας σύνδεση όλων των επιμέρους DC καλωδίων των κλάδων. Η περίπτωση αυτή είναι αρκετά συνηθισμένη κυρίως σε κεντρικούς αντιστροφείς (της τάξης ονομαστικής ισχύος των 100kW και άνω. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κατάλληλα κιτία τα οποία ομαδοποιούν πολλά ζεύγη καλωδίων κλάδων σε ένα ζεύγος. Στις περιπτώσεις αυτές τα κιτία αυτά είναι επίσης συνήθως εφοδιασμένα με απαγωγείς υπερτάσεων και DC διακόπτες φορτίου. Επιπλέον, σε κάποιες περιπτώσεις διαθέτουν και διατάξεις επιτήρησης κλάδων (string monitoring) ώστε να δίνεται πληροφορία στον αντιστροφέα και το σύστημα εποπτείας για τη δυσλειτουργία ενός κλάδου. Στις περιπτώσεις αυτές ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη του για τον υπολογισμό της διατομής, πέραν των απωλειών, και το θερμικό φορτίο, λόγω του παραλληλισμού σημαντικού αριθμού κλάδων.

Επιπλέον, κατά τη φάση κατασκευής του έργου, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την προσεκτική όδευση των καλωδίων κατά τις συνήθεις πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γειτνίαση των καλωδίων, η χρήση σωλήνων και η ανάγκη προστασίας από τα τρωκτικά.

Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται για τη σωστή διασύνδεση των καλωδίων τόσο μεταξύ των πάνελ (δηλαδή από το (+) ενός πάνελ στο (-) του επόμενου κτλ) όσο και μεταξύ των κλάδων των πάνελ και των εισόδων του αντιστροφέα. Σε περίπτωση χαλαρής σύνδεσης είναι πιθανόν να εμφανιστεί τόξο αυξάνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Επιπλέον, η ύπαρξη

υψηλής σχετικά DC τάσης επιβάλλει ώστε η σύνδεση των καλωδίων να πραγματοποιείται από εξειδικευμένο προσωπικό με τη δέουσα προσοχή.

Έτσι οι παραπάνω απαιτήσεις οδήγησαν στην επικράτηση στην αγορά λύσεων τύπου “plug and play” με συνδέσμους καλωδίων που εξασφαλίζουν την απουσία επαφής με γυμνό αγωγό και τη μικρή ωμική αντίσταση (της τάξης των $5\text{m}\Omega$ και μικρότερη). Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει παραδείγματα συνδέσμων καλωδίων:



Σχήμα 40: Σύνδεσμοι DC φωτοβολταϊκών καλωδίων

Αναφορικά με τα καλώδια του εναλλασσομένου ρεύματος (AC) χρησιμοποιούνται οι συμβατικοί τύπου καλωδίων (π.χ. NYΥ, NYM, NYCWY) εφαρμόζοντας τις συνήθειες πρακτικές της ηλεκτροτεχνίας αναφορικά με τον υπολογισμό της διατομής τους, τον τρόπο τοποθέτησης και την προστασία τους.

11. Υποσταθμοί Μέσης Τάσης

Οι υποσταθμοί μέσης τάσης είναι απαραίτητοι σε περιπτώσεις σύνδεσης Φ/Β σταθμών με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 100kWp . Στην περίπτωση αυτή ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητο να εγκαταστήσει υποσταθμό για σύνδεση του σταθμού απευθείας στο δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) 20kV της ΔΕΗ.

Γενικά, ένας υποσταθμός ενός παραγωγού ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα αποτελείται από τα παρακάτω τμήματα:

- Το τμήμα του ηλεκτρικού πίνακα μέσης τάσης.
- Τον ή τους μετασχηματιστές ισχύος.

- Το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης.

Σε κάθε περίπτωση ο παραγωγός πρέπει να προβλέψει ιδιαίτερο χώρο για τη στέγαση του υποσταθμού. Είναι προτιμότερο ο παραγωγός να προβλέψει τρεις ανεξάρτητους χώρους για την εγκατάσταση αντίστοιχα του τμήματος μέσης τάσης, του ή των μετασχηματιστών ισχύος και του γενικού πίνακα χαμηλής τάσης. Είναι δυνατή η εγκατάσταση στον ίδιο χώρο του πίνακα μέσης τάσης και των μετασχηματιστών ισχύος. Ο γενικός πίνακας χαμηλής τάσης πρέπει να είναι σε ανεξάρτητο χώρο. Οι διαστάσεις των παραπάνω χώρων υπαγορεύονται από τις διαστάσεις των μηχανημάτων που θα στεγάσουν και τη λειτουργικότητα των χώρων αυτών.

Οι χώροι των μετασχηματιστών και του ηλεκτρικού πίνακα μέσης τάσης πρέπει να είναι κλειστοί και κατασκευασμένοι από άκαυστα υλικά με μεταλλικές πόρτες από χαλυβδοέλασμα με ελάχιστο πάχος 1 χιλ. Οι πόρτες πρέπει να έχουν ανοίγματα αερισμού (περσίδες). Η διάταξη των μηχανημάτων και των συσκευών μέσα στους χώρους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η ευχερής συντήρηση και λειτουργία τους. Η ελάχιστη κατακόρυφη απόσταση του υψηλότερου σημείου του μετασχηματιστή και του χαμηλότερου σημείου της οροφής είναι τουλάχιστον 40 εκ.

Ο αερισμός του χώρου μπορεί να είναι φυσικός ή τεχνητός. Σε περίπτωση φυσικού αερισμού απαιτούνται δύο ανοίγματα, ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο του αέρα. Το άνοιγμα εισόδου του αέρα ψύξης πρέπει να βρίσκεται οπωσδήποτε κάτω από το μέσο του ύψους του μετασχηματιστή και το άνοιγμα εξόδου όσο το δυνατό ψηλότερα. Το μέγεθος του ανοίγματος εξόδου καθορίζεται από σχετικό διάγραμμα σύμφωνα με το οποίο το άνοιγμα πρέπει να αυξηθεί κατά 10% όταν υπάρχουν γρίλιες και 50% όταν υπάρχουν γρίλιες και περσίδες. Το άνοιγμα εισόδου μπορεί να είναι το 90% του ανοίγματος εξόδου. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής είναι ελαιόψυκτος, ο χώρος πρέπει να διαθέτει λεκάνη με επαρκή χωρητικότητα για την περισυλλογή του λαδιού σε περίπτωση διαρροής, χωρίς όμως να αφήνει το λάδι σε ελεύθερη επιφάνεια για την αποφυγή πυρκαγιάς. Αυτό συνήθως υλοποιείται με την τοποθέτηση σκύρων στο επάνω μέρος της λεκάνης. Στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής είναι με ξηρή μόνωση η παραπάνω απαίτηση δεν ισχύει.

Κατά τη μελέτη ενός υποσταθμού θα πρέπει να γίνουν υπολογισμοί για τον προσδιορισμό:

- Μεγέθους και πλήθους των μετασχηματιστών ισχύος.
- Μεγέθους και είδους του καλωδίου μέσης τάσης.
- Μεγέθους και είδους των ζυγών στη μέση και χαμηλή τάση.
- Μεγέθους και είδους των μέσων προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση.

Η ισχύς του ή των μετασχηματιστών ενός υποσταθμού υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη ενεργό ισχύ του σταθμού η οποία καθορίζεται στη φάση της μελέτης. Η επιλογή ενός ή περισσότερων μετασχηματιστών καθορίζεται από το μέγεθος της ισχύος και τη χωροθέτηση του Φ/Β σταθμού και τις

επιπτώσεις αυτής στις απώλειες του σταθμού, αλλά και για λόγους εφεδρείας. Για την επιλογή του μετασχηματιστή θα πρέπει να καθοριστεί επίσης η τάση βραχυκύκλωσής του, η ομάδα συνδεσμολογίας του και το είδος της μόνωσής του. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις προτιμάται τάση βραχυκύκλωσης 4-6% για να διατηρείται η πτώση τάσης χαμηλή. Οι επικρατέστερες ομάδες συνδεσμολογίας για μετασχηματιστές 20/0,4 kV είναι οι Dy και Yz. Σε ιδιωτικούς υποσταθμούς ο συνηθέστερος τύπος συνδεσμολογίας είναι ο Dy.

Το είδος της μόνωσης του μετασχηματιστή επηρεάζει σημαντικά το κόστος του. Οι συνηθέστεροι τύποι μόνωσης μετασχηματιστών είναι το λάδι και η ξηρά μόνωση. Οι ελαιόψυκτοι μετασχηματιστές είναι φθηνότεροι αλλά απαιτούν ειδική διαμόρφωση του χώρου για την παραλαβή του λαδιού. Επίσης απαιτούν αυστηρότερα μέσα πυροπροστασίας. Οι μετασχηματιστές με ξηρή μόνωση είναι ακριβότεροι, αλλά δεν απαιτούν ειδικές διαμορφώσεις στο χώρο που εγκαθίστανται και θεωρούνται ουσιαστικά άκαυστοι. Η ξηρά μόνωση είναι συνήθως από εποξικές ρητίνες.

Ο παράγοντας που καθορίζει το μέγεθος της διατομής του καλωδίου μέσης τάσης είναι η αντοχή του στο προσδοκώμενο σε εκείνο το σημείο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκύκλωσης είναι ιδιαίτερα επίπονος και είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων. Οι απαιτούμενοι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με το πρότυπο VDE 0102. Ένας από τους συνήθεις τύπους καλωδίων μέσης τάσης που χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς είναι το N(A)2XSy με μόνωση από δικτυωμένο πολυαιθυλένιο και μανδύα από PVC.

Οι ζυγοί της μέσης και χαμηλής τάσης υπολογίζονται με βάση δύο παραμέτρους: τη θερμική αντοχή τους στο ρεύμα του φορτίου και τη μηχανική αντοχή τους στις δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος. Οι υπολογισμοί γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα VDE 0103/1988, DIN 57103/1988 και IEC 865.

11.1 Υπολογισμός μέσων προστασίας στη μέση και χαμηλή τάση

Ως μέσα προστασίας εννοούνται οι συσκευές εκείνες οι οποίες είναι σε θέση να διακόψουν έγκαιρα και με ασφάλεια μία μη ομαλή κατάσταση λειτουργίας όπως είναι η υπερφόρτιση, το βραχυκύκλωμα, η έλλειψη τάσης και η υπέρταση. Τα μέσα γενικής προστασίας που χρησιμοποιούνται από τον παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας είναι οι ασφάλειες και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος. Οι ασφάλειες είναι μέσα προστασίας κυρίως έναντι των βραχυκυκλωμάτων δηλαδή ρευμάτων τα οποία είναι πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος είναι μέσα προστασίας τα οποία έχουν τη δυνατότητα να προστατεύσουν σε υπερφόρτιση, δηλαδή ρεύμα το οποίο είναι ακόμη και λίγο πάνω από το ονομαστικό ρεύμα, αλλά και σε βραχυκυκλώματα όπως οι ασφάλειες. Οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος έχουν επιπλέον τη δυνατότητα ρύθμισης των χαρακτηριστικών τιμών λειτουργίας τους. Αυτό είναι σημαντικό για το συντονισμό και τη ρύθμιση της λεγόμενης επιλογικής προστασίας. Ο υπολογισμός των μέσων προστασίας γίνεται για να προσδιοριστεί η ονομαστική τιμή τους αλλά και η συμπεριφορά τους σε μεταβατικές καταστάσεις. Έτσι, στις ασφάλειες προσδιορίζεται η ονομαστική τους τιμή αλλά και η καμπύλη που προσδιορίζει το χρόνο διακοπής ως συνάρτηση

του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Στους αυτόματους διακόπτες ισχύος προσδιορίζεται η ονομαστική τιμή τους και οι χρόνοι απόκρισής τους σε υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα. Εκτός των παραπάνω γενικών μέτρων προστασίας, υπάρχουν για τους μετασχηματιστές και ειδικά μέσα προστασίας τα οποία εφαρμόζονται κατά περίπτωση. Τέτοια μέσα προστασίας είναι η επιτήρηση της θερμοκρασίας, ο ηλεκτρονόμος Buchholz και η διαφορική προστασία. Η επιτήρηση της θερμοκρασίας γίνεται συνήθως με ειδικές αντιστάσεις και σε περίπτωση υπέρβασής της πάνω από κάποιο όριο διακόπτεται η παροχή. Ανοδο της θερμοκρασίας μπορεί να προκαλέσει ένα βραχυκύκλωμα ή ακόμη και μία διαρκής υπερφόρτιση. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz λειτουργεί με την παρουσία αερίων καύσης λαδιού ή μόνωσης σε ένα χώρο του ή με την παρουσία αέρα σ' αυτόν. Τα αέρια καύσης προκαλούνται από βραχυκυκλώματα ή σφάλματα μόνωσης στο μετασχηματιστή ενώ ο αέρας οφείλεται σε διαρροή λαδιού. Για οικονομικούς λόγους εφαρμόζεται σε μετασχηματιστές ισχύος 800 kVA και πάνω ή αν ζητηθεί. Η διαφορική προστασία είναι μία σχετικά πλήρης αλλά και ακριβής μέθοδος προστασίας. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να ανιχνευτούν σφάλματα τριφασικά, διφασικά, μονοφασικά, μεταξύ των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή και σφάλματα μεταξύ σπειρών ενός τυλιγματος. Η επιλογή του κατάλληλου μέσου προστασίας (ασφάλεια ή αυτόματος διακόπτης ισχύος) είναι μεταξύ άλλων και συνάρτηση του είδους της παροχής της ΔΕΗ όπως αναλύεται παρακάτω.

11.2 Είδη παροχών μέσης τάσης από τη ΔΕΗ

Ανάλογα με το είδος του δικτύου (εναέριο ή υπόγειο) από το οποίο θα τροφοδοτηθεί ο υποσταθμός, τη συνολική ισχύ του και τα τεχνικά στοιχεία της ηλεκτρικής προστασίας του, η ΔΕΗ έχει διαμορφώσει ορισμένες τυπικές παροχές. Οι παροχές διακρίνονται σε δύο τύπους:

- Παροχές τύπου Α, όταν γίνονται από εναέριο δίκτυο της ΔΕΗ.
- Παροχές τύπου Β, όταν γίνονται από υπόγειο δίκτυο της ΔΕΗ.

Οι παροχές τύπου Α, διακρίνονται σε:

- Παροχές τύπου Α1, για ισχύεις μέχρι 630 kVA.
- Παροχές τύπου Α2, για ισχύεις μεγαλύτερες των 630 kVA.

Οι παροχές τύπου Β, διακρίνονται σε:

- Παροχές τύπου Β1, για ισχύεις μέχρι 1250 kVA
- Παροχές τύπου Β2, για ισχύεις μεγαλύτερες των 1250 kVA.

Ο τύπος της παροχής καθορίζει και τη μέθοδο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ και σε μεγάλο βαθμό τη μέθοδο προστασίας που πρέπει να εφαρμόσει ο καταναλωτής. Στην παροχή τύπου Α1, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι ασφάλεια 30Α βραδείας τήξης ενώ το γενικό μέσο προστασίας του παραγωγού μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 40 Α ταχείας τήξης ή αυτόματος διακόπτης ισχύος. Στη δεύτερη περίπτωση αυτός πρέπει να είναι εφοδιασμένος με στοιχεία στιγμιαίας λειτουργίας για να υπάρχει ικανοποιητική επιλογική συνεργασία. Στην παροχή τύπου Α2, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι διακόπτης απομόνωσης. Αυτός είναι μία ειδική περίπτωση διακόπτη ο οποίος συνεργάζεται με το

γενικό διακόπτη της γραμμής που χρησιμοποιείται αποκλειστικά από τη ΔΕΗ. Το μέσο προστασίας από την πλευρά του παραγωγού μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 50 A ταχείας τήξης ή αυτόματος διακόπτης ισχύος.

Στην παροχή τύπου B1, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι ασφάλειες ταχείας τήξης. Ο καταναλωτής δε χρειάζεται να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη μέση τάση αφού η ΔΕΗ εξασφαλίζει την προστασία του μετασχηματιστή για σφάλματα στους ζυγούς της χαμηλής τάσης. Απαιτείται όμως να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη χαμηλή τάση το οποίο μπορεί να είναι ασφάλεια μέχρι 400 A που αντιστοιχεί σε μετασχηματιστή μέχρι 250 kVA. Για μεγαλύτερες ισχύεις απαιτείται η εγκατάσταση αυτόματου διακόπτη ισχύος. Στην παροχή τύπου B2, το μέσο προστασίας από την πλευρά της ΔΕΗ είναι αυτόματος διακόπτης ισχύος. Και σε αυτήν την περίπτωση ο καταναλωτής δε χρειάζεται να εγκαταστήσει μέσο προστασίας στη μέση τάση επειδή το μέσο προστασίας της ΔΕΗ προστατεύει και το μετασχηματιστή του.

11.3 Γειώσεις

Η γείωση είναι ένα από τα σημαντικότερα τμήματα ενός υποσταθμού και διακρίνεται σε γείωση λειτουργίας και γείωση προστασίας. Γείωση λειτουργίας είναι η γείωση του ουδέτερου κόμβου των μετασχηματιστών. Γείωση προστασίας είναι η γείωση των μεταλλικών περιβλημάτων των πινάκων, των καλωδίων κτλ.

Βασικός ρόλος της γείωσης σε έναν υποσταθμό είναι η προστασία των ανθρώπων από τάσεις επαφής. Τάση επαφής είναι η τάση μεταξύ δύο μεταλλικών σημείων ή ενός μεταλλικού σημείου και του εδάφους που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος. Καλύτερη γείωση σε υποσταθμό θεωρείται η γείωση κατά μήκος των θεμελίων (θεμελιακή γείωση). Η διατομή του αγωγού γείωσης καθορίζεται από την αντοχή του αγωγού αυτού στο προσδοκώμενο ρεύμα κατά τη διάρκεια μονοφασικού βραχυκυκλώματος και για όσο χρόνο διαρκεί αυτό το βραχυκύκλωμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η θεμελιακή γείωση λόγω της έκτασής της εξασφαλίζει συνολική αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1 Ω. Όταν δεν είναι εφικτή η υλοποίηση θεμελιακής γείωσης τότε κατασκευάζονται τρίγωνα γείωσης. Σε αυτήν την περίπτωση είναι αρκετά πιο δύσκολο να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω και για το λόγο αυτό απαιτούνται συνήθως περισσότερα του ενός τρίγωνα γείωσης. Εάν δεν μπορεί να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω πρέπει να κατασκευαστούν χωριστές γειώσεις για τη μέση και χαμηλή τάση. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αντίσταση γείωσης για τη μέση τάση πρέπει να είναι μικρότερη των 40 Ω και για τη χαμηλή τάση μικρότερη των 10 Ω. Ειδικά σε παροχές τύπου Α απαιτείται επιπλέον η κατασκευή ισοδυναμικού πλέγματος στο χώρο του υποσταθμού για την αποφυγή τάσεων επαφής. Επιπλέον, οι δύο γειώσεις πρέπει να είναι πραγματικά ανεξάρτητες μεταξύ τους που σημαίνει ότι πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 20 μέτρα η μία από την άλλη που είναι πρακτικά δύσκολο. Για το λόγο αυτό πρέπει να επιδιώκεται πάντοτε η κατασκευή κοινής γείωσης με αντίσταση μικρότερη του 1 Ω.

12. Βιβλιογραφία—References

1. Franz Kininger, "Photovoltaic Systems Technology SS 2003", Universität Kassel, 2003
2. Arnulf Jäger-Waldau, "PV Status Report 2010: Research, Solar Cell Production and
3. Market Implementation of Photovoltaics", European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Energy, Renewable Energy Unit, 2010
4. German Solar Energy Society, "Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers Earthscan Publications Ltd 2008, ISBN-10: 1844074420
5. Abella, Miguel Alonso and F. Chenlo. 2004. "Choosing the Right Inverter for Grid-
6. Connected PV Systems." *Renewable Energy World*. March-April 2004.
7. Energy Market Authority (EMA) & the Building and Construction Authority (BCA), "Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems", 2009
8. N.M. Pearsall & Robert Hill, "Photovoltaic Modules, Systems and Applications", Northumbria Photovoltaics Applications Centre, University of Northumbria at Newcastle, 2001
9. Chia-Yen Lee, Po-Cheng Chou, Che-Ming Chiang and Chiu-Feng Lin, "Sun Tracking Systems: A Review", *Sensors* 2009, 9, 3875-3890
10. Goetzberger V.U. Hoffmann, Photovoltaic Solar Energy Generation, Springer, ISBN 3-540-23676-7
11. Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ), «Φωτοβολταϊκά: Ένας Πρακτικός Οδηγός», 2008.
12. Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ), « Ένας Πρακτικός Οδηγός για Επενδύσεις στα Φωτοβολταϊκά», 2010
13. L.Oikkonen, J.Paatero, T.Carlsson, P. Lund, "Photovoltaic Systems", Advanced Energy Systems ,Helsinki University of Technology, Finland.

ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΕΥΤΕΡΗ

Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Επιμέλεια Μωσής Δαμιανίδης
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, ΑΠΘ

1. Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Στο παρακάτω κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη των αδειοδοτικών σταδίων και καταγράφονται ορισμένα κομβικά σημεία της διαδικασίας αδειοδότησης.

Ορίζεται, ως εθνικός στόχος, η κάλυψη με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) του 40% τουλάχιστον της ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας ως το 2020. Σε σχέση με την συνδρομή των ΦΒ συστημάτων στην επίτευξη του στόχου αυτού είναι συνολικά 2,200 MWp ως το 2020.

Να σημειώσουμε εδώ ότι, από την κοινοτική νομοθεσία προβλέπεται η δυνατότητα αναθεώρησης των ενδεικτικών στόχων για κάθε τεχνολογία ανά διετία ή και νωρίτερα αν χρειαστεί, και επομένως μπορεί μελλοντικά να υπάρξουν διορθωτικές κινήσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι επενδύσεις σε Φωτοβολταϊκά συστήματα δεν επιδοτούνται πλέον ως προς το αρχικό κόστος εγκατάστασης και διασύνδεσης και ως εκ τούτου ο δυνητικός επενδυτής θα πρέπει προτού εκκινήσει την διαδικασία αδειοδότησης να έχει διερευνήσει το κόστος της επένδυσης και την δυνατότητα χρηματοδότησης είτε από το τραπεζικό σύστημα είτε από μόνος του.

Στην παρούσα φάση διακρίνονται οι εξής κατηγορίες αδειοδότησης ανάλογα με την θέση εγκατάστασης και την ισχύ ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος.

- Συστήματα ως 10kWp σε στέγες κτιρίων.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες.
- Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Αγροτεμάχια.

1.1 Συστήματα ως 10 kWp σε στέγες κτιρίων

Από 1η Ιουλίου 2009 ισχύει ένα πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Με το πρόγραμμα αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής να κάνει απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησε και να έχει και ένα λογικό κέρδος.

Αφορά οικιακούς καταναλωτές ή πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά ισχύος έως 10 κιλοβάτ (kWp) στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης. Σε σχέση με τις μικρές επιχειρήσεις αυτές θα πρέπει να είναι ως 10 άτομα και έχει κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού ως 2 εκ.€ ετησίως.

Για να ενταχθούν στο πρόγραμμα, θα πρέπει να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο εγκαθίσταται το φωτοβολταϊκό σύστημα. Από τον Σεπτέμβριο του 2010, το Πρόγραμμα αφορά όλη την Επικράτεια.

Ως μέγιστη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων στο πλαίσιο του Προγράμματος ορίζεται:

- για την ηπειρωτική χώρα, τα Διασυνδεδεμένα με το Σύστημα Νησιά, την Κρήτη τα 10 kWp.
- τα λοιπά Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά τα 5 kWp.

Για τις πολυκατοικίες θα πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω όροι. Είτε να συμφωνήσουν εγγράφως οι υπόλοιποι ιδιοκτήτες, είτε το φωτοβολταϊκό να εγκατασταθεί εξ ονόματος όλων των ιδιοκτητών (τους οποίους στην περίπτωση αυτή εκπροσωπεί ο διαχειριστής). Σε κάθε πολυκατοικία μπορεί να μπει ένα μόνο σύστημα. Αν η ταράτσα είναι κοινόκτητη και οι κύριοι του χώρου αυτού θέλουν να την παραχωρήσουν σε κάποιο άλλο ιδιοκτήτη του κτιρίου που δεν έχει δικαιώματα στην ταράτσα, μπορούν να το κάνουν. Αν το σύστημα μπει σε στέγαστρο βεράντας διαμερίσματος, προφανώς μπορούν να μπου περισσότερα του ενός συστήματα σε μια πολυκατοικία.

Όλη η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ και ο οικιακός μικροπαραγωγός ενέργειας πληρώνεται γι' αυτή με 55 λεπτά την κιλοβατώρα (0,55 €/kWh), τιμή που είναι εγγυημένη για 25 χρόνια. Ο οικιακός μικροπαραγωγός ενέργειας συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ και να το πληρώνει στην τιμή που το πληρώνει και σήμερα (περίπου 10-12 λεπτά την κιλοβατώρα). Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι η ΔΕΗ θα εγκαταστήσει ένα νέο μετρητή για να καταγράφει την παραγόμενη ενέργεια. Αν, για παράδειγμα, στο δίμηνο το φωτοβολταϊκό παράγει ηλεκτρική ενέργεια αξίας 300 € και στο κτίριο καταναλώνεται ενέργεια αξίας 100 €, θα έρθει πιστωτικός λογαριασμός 200 €, ποσό που θα καταθέσει η ΔΕΗ στον τραπεζικό λογαριασμό του ιδιοκτήτη του φωτοβολταϊκού.

Για την εγκατάσταση οικιακών φωτοβολταϊκών, δεν απαιτείται πλέον καμία άδεια (με εξαίρεση διατηρητέα κτίρια και παραδοσιακούς οικισμούς όπου απαιτείται η έγκριση της Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου [ΕΠΑΕ]). Σύμφωνα με την ΥΑ36720/25-8-2010 "*Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικοπέδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς*" (ΦΕΚ 376/6-9-2010) δεν χρειάζεται πλέον ούτε η άδεια εργασιών μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία, όπως ίσχυε μέχρι πρότινος. Απλώς γνωστοποιεί κανείς την έναρξη εργασιών στη ΔΕΗ όταν καταθέτει εκεί φάκελο για σύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.

1.2 Οικιακοί Παραγωγοί

Δύο είναι οι προϋποθέσεις για να ενταχθεί κανείς στο πρόγραμμα:

- Να έχει μετρητή της ΔΕΗ στο όνομά του (ή στον κοινόχρηστο λογαριασμό της πολυκατοικίας αν επιλεγεί η συλλογική εγκατάσταση).
- Να καλύπτει μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακό θερμοσίφωνα, βιομάζα, γεωθερμική αντλία θερμότητας).

Μια ιδιαίτερα σημαντική ρύθμιση είναι ότι ο οικιακός παραγωγός ηλιακού ηλεκτρισμού δεν θεωρείται πια επιτηδεύματίας, με άλλα λόγια

απαλλάσσεται από το άνοιγμα βιβλίων στην εφορία. Όπως αναφέρει η σχετική κοινή υπουργική απόφαση, *"δεν υφίστανται για τον κύριο του φωτοβολταϊκού συστήματος φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο"*. Με άλλα λόγια, τα όποια έσοδα έχει ο οικιακός μικροπαραγωγός από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται.

1.3 Μικρές Επιχειρήσεις

Προκειμένου να ενταχθούν οι πολύ μικρές επιχειρήσεις στο πρόγραμμα θα πρέπει πρωτίτερα να μην έχει πάρει κάποια άλλη επιδότηση για το φωτοβολταϊκό από εθνικά ή κοινοτικά προγράμματα.

Τα όποια έσοδα έχει η επιχείρηση από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται, με την προϋπόθεση ότι τα κέρδη εμφανίζονται σε ειδικό λογαριασμό αφορολόγητου αποθεματικού. Σε περίπτωση διανομής ή κεφαλαιοποίησής τους, ισχύει η τρέχουσα φορολογία για τα κέρδη που διανέμονται.

Σημειώνουμε ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος άνω των 10 kWp σε εμπορικές-βιομηχανικές στέγες, διέπεται από άλλους κανόνες και ισχύουν γι' αυτά τα συστήματα άλλα κίνητρα.

1.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα σε Βιομηχανικές Στέγες (>10kWp)

Ο Ν.3851/2010 και η ΥΑ 36720/25-8-2010 (ΦΕΚ 376/6-9-2010) επιτρέπουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων κάθε ισχύος στο δώμα ή τη στέγη νομίμως υφισταμένου κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων στεγάστρων βεραντών, προσόψεων και σκιάστρων, καθώς και βοηθητικών χώρων του κτιρίου, όπως αποθήκες και χώροι στάθμευσης.

Για τα συστήματα αυτά δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση, ενώ για συστήματα ισχύος έως 1 MWp δεν απαιτείται και άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση. Για συστήματα >1 MWp απαιτείται άδεια παραγωγής από τη ΡΑΕ (η οποία συνοδεύεται και από δύο ακόμη άδειες: την άδεια εγκατάστασης και την άδεια λειτουργίας τις οποίες εκδίδει η αρμόδια Περιφέρεια).

Για συστήματα με ισχύ από 10 kWp έως 100 kWp τα μόνα βήματα που απαιτούνται είναι

- Η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για **συστήματα με ισχύ από 100 kWp έως 1.000 kWp (1 MWp)** τα βήματα που απαιτούνται είναι :

- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η έκδοση άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ
- η άδεια εγκατάστασης από την Περιφέρεια

- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ και τελικά έκδοση άδειας λειτουργίας από την Περιφέρεια.

Τα παραπάνω ισχύουν μόνο για το ηπειρωτικό δίκτυο, αφού τα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα θεωρούνται κορεσμένα και θα υπάρχουν κατά διαστήματα ειδικές ρυθμίσεις γι' αυτά. Σε κάθε περίπτωση πάντως, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, μιλάμε πάντα για συστήματα με ισχύ μικρότερη των 100 kWp.

1.5 Φωτοβολταϊκά Συστήματα επί εδάφους

Για συστήματα με ισχύ έως 500 kWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η βεβαίωση απαλλαγής από Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) η οποία χορηγείται από την Περιφέρεια (από την υποχρέωση αυτή εξαιρούνται τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχών βιομηχανικών δραστηριοτήτων)
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ.

Για συστήματα με ισχύ έως 500 kWp έως 1.000 kWp (1 MWp) τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) η οποία χορηγείται από την Περιφέρεια (από την υποχρέωση αυτή εξαιρούνται τα έργα εντός οργανωμένων υποδοχών βιομηχανικών δραστηριοτήτων)
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία,
- η προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ και
- η υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ

Για συστήματα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 MWp τα βήματα που απαιτούνται είναι:

- η έκδοση άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ
- στη συνέχεια άδειας εγκατάστασης από την Περιφέρεια (που προϋποθέτει και έγκριση ΕΠΟ όπου αυτή απαιτείται),
- η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την Πολεοδομία,
- προσφορά όρων σύνδεσης από τη ΔΕΗ,
- υπογραφή της σύμβασης αγοροπωλησίας με τον ΔΕΣΜΗΕ
- και τελικά έκδοση άδειας λειτουργίας από την Περιφέρεια.

1.6 Παλιές Αιτήσεις (N.3468)

Ο νέος νόμος επιταχύνει τις διαδικασίες για τις παλιές αιτήσεις που είχαν κατατεθεί στη ΡΑΕ για έκδοση άδειας παραγωγής. Κι αυτό γιατί με το νέο νόμο καταργείται η διαδικασία της Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και η περιβαλλοντική αδειοδότηση θα γίνεται πλέον σε ένα ενιαίο στάδιο, αυτό της Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ). Έτσι, όσες αιτήσεις για άδεια παραγωγής βρίσκονταν στο στάδιο της ΠΠΕΑ, έχοντας περάσει θετικά τα υπόλοιπα κριτήρια αξιολόγησης της ΡΑΕ, έλαβαν άδεια παραγωγής.

Όσοι φωτοβολταϊκοί σταθμοί (κυρίως “εξαιρέσεις”) βρίσκονταν στο στάδιο της ΕΠΟ και δεν συνεχίζουν να έχουν τέτοια υποχρέωση με βάση τη νέα νομοθεσία, θα πρέπει να λάβουν τώρα μόνο τη βεβαίωση απαλλαγής από την Περιφέρεια και να προχωρήσουν στο επόμενο στάδιο (προσφορά όρων σύνδεσης). Σημειωτέον ότι η βεβαίωση αυτή πρέπει να δοθεί εντός αποκλειστικής προθεσμίας είκοσι (20) ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα.

Ο κάτοχος άδειας παραγωγής μπορεί, μετά από σχετική απόφαση της ΡΑΕ, να μεταβιβάζει την άδειά του σε άλλα φυσικά ή νομικά πρόσωπα. Αντίθετα, οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί που απαλλάσσονται από άδεια παραγωγής, δεν επιτρέπεται να μεταβιβάζονται πριν από την έναρξη της λειτουργίας τους. Κατ’ εξαίρεση, επιτρέπεται η μεταβίβασή τους σε νομικά πρόσωπα, εφόσον το εταιρικό κεφάλαιο της εταιρίας προς την οποία γίνεται η μεταβίβαση κατέχεται εξ ολοκλήρου από το μεταβιβάζον φυσικό ή νομικό πρόσωπο. Ειδικά για τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς που εγκαθίστανται από κατ’ επάγγελμα αγρότες, δεν επιτρέπεται η μεταβίβασή τους πριν από την πάροδο πενταετίας από την έναρξη λειτουργίας τους, εκτός αν πρόκειται για μεταβίβαση λόγω κληρονομικής διαδοχής.

1.7 Γενικά Αδειοδοτικά

Ο νέος νόμος (Ν.3851) απλοποιεί κάποιες από τις παλιές διαδικασίες αδειοδότησης. Συγκεκριμένα:

- δεν απαιτείται πλέον άδεια παραγωγής ή άλλη διαπιστωτική απόφαση (γνωστή και ως “εξαίρεση”) για φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος έως 1 MWp.
- Για φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος μεγαλύτερης του 1 MWp απαιτείται η έκδοση άδειας παραγωγής η οποία εκδίδεται από τη ΡΑΕ (και όχι από τον υπουργό Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής όπως ίσχυε μέχρι σήμερα).
- Για τα συστήματα που απαιτείται άδεια παραγωγής απαιτείται επίσης η έκδοση άδειας εγκατάστασης και άδειας λειτουργίας (οι οποίες εκδίδονται από την αρμόδια Περιφέρεια) όπως και στο παρελθόν.
- Επίσης, δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια και οργανωμένους υποδοχείς βιομηχανικών δραστηριοτήτων.
- Για συστήματα που εγκαθίστανται σε γήπεδα (οικόπεδα και αγροτεμάχια), δεν απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση για συστήματα έως 500 kWp εφόσον πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Για τα συστήματα αυτά, απαιτείται ειδική περιβαλλοντική εξαίρεση (“βεβαίωση απαλλαγής από ΕΠΟ”) από την αρμόδια Περιφέρεια, η οποία, σύμφωνα με το νόμο, δίνεται σε 20 μέρες από την υποβολή της σχετικής αίτησης.
- Απαιτείται ΕΠΟ για όσα συστήματα εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον εγκαθίστανται σε περιοχές Natura, παράκτιες ζώνες (100μ από οριογραμμή αιγιαλού) και σε γήπεδα που γειτνιάζουν σε απόσταση μικρότερη από εκατόν πενήντα (150) μέτρα, με άλλο γήπεδο για το οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση ΕΠΟ ή Προσφορά Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού και η συνολική ισχύς των σταθμών υπερβαίνει τα 500 kWp.

- Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν απαιτείται οικοδομική άδεια, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας.
- Για φωτοβολταϊκά συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια και έχουν ισχύ έως 100 kWp, δεν απαιτείται ούτε αυτή η έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας, αλλά αρκεί πλέον μια απλή γνωστοποίηση προς τη ΔΕΗ ότι ξεκινά η εγκατάσταση. Η ευνοϊκή αυτή ρύθμιση αφορά τον οικιακό τομέα καθώς και τα μικρά και μεσαία συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια επιχειρήσεων.
- Στις συμβάσεις σύνδεσης που συνάπτει ο αρμόδιος Διαχειριστής με τους φορείς φωτοβολταϊκών σταθμών που εξαιρούνται από τη λήψη άδειας παραγωγής, καθορίζεται προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή Δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας. Το ύψος της εγγύησης καθορίζεται με υπουργική απόφαση. Από την εγγύηση αυτή απαλλάσσονται όσα έργα αφορούν εγκαταστάσεις σε κτίρια και όσοι σταθμοί έχουν υπογράψει σύμβαση σύνδεσης πριν τις 4-6-2010 (ημερομηνία ισχύος του νέου νόμου 3851/2010).

1.8 Περί κατασκευής Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Γαίες Υψηλής Παραγωγικότητας

- Απαγορεύεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια της Αττικής που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, καθώς και σε περιοχές της Επικράτειας που έχουν ήδη καθοριστεί ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας από εγκεκριμένα Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια (Γ.Π.Σ.) ή Σχέδια Χωρικής Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης (Σ.Χ.Ο.Ο.Α.Π.) του Ν.2508/1997 (ΦΕΚ 124 Α'), καθώς και Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου (Ζ.Ο.Ε.) του άρθρου 29 του Ν.1337/1983 (ΦΕΚ 33 Α'), εκτός αν διαφορετικά προβλέπεται στα εγκεκριμένα αυτά σχέδια.
- Με την επιφύλαξη του προηγούμενου εδαφίου, επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας. Στην περίπτωση αυτή η άδεια χορηγείται μόνον αν οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί για τους οποίους έχουν ήδη εκδοθεί άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή, σε περίπτωση απαλλαγής, δεσμευτικές προσφορές σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή, καλύπτουν εδαφικές εκτάσεις που δεν υπερβαίνουν το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του συγκεκριμένου νομού. Για την εφαρμογή της διάταξης του προηγούμενου εδαφίου χρησιμοποιούνται τα στοιχεία της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2008 της Γενικής Γραμματείας της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας της Ελλάδας. Για τον υπολογισμό της κάλυψης λαμβάνεται υπόψη η οριζόντια προβολή επί του εδάφους των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Με κοινή απόφαση των Υπουργών Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής είναι δυνατόν να ορίζονται όροι και προϋποθέσεις για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σταθμών σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, περιλαμβανομένων της μέγιστης κάλυψης εδάφους ανά σταθμό, των ελάχιστων αποστάσεων από τα όρια του γηπέδου του σταθμού, περιορισμών στον τρόπο θεμελίωσης και υποχρεώσεων για

την αποκατάσταση του γηπέδου μετά την αποξήλωση των φωτοβολταϊκών σταθμών.

2. Περί Συμβάσεως Αγοραπωλησίας

Υπενθυμίζεται ότι ο επενδυτής υπογράφει σύμβαση πώλησης της παραχθείσας ενέργειας με:

- ΔΕΣΜΗΕ προκειμένου για την Ηπειρωτική Ελλάδα και τα διασυνδεδεμένα νησιά.
- Με την Δνση Δχσης Νήσων (ΔΕΗ) για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Η σύμβαση δύναται να ενεργοποιηθεί εντός 18 μηνών από την ημερομηνία υπογραφή της. Έπειτα από την πάροδο του διαστήματος ακυρώνεται η σύμβαση και ο επενδυτής εφόσον επιθυμεί δύναται να αιτηθεί την σύναψη σύμβασης όμως με τις τιμές και τους όρους που θα ισχύον την συγκεκριμένη περίοδο διαπραγμάτευσης.

Οι τιμές πώλησης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας καθορίζονται ως εξής:

Έτος	Συστήματα σε οικιακές & εμπορικές στέγες ≤10 kWp (€/MWh)	Μήνας	Ηπειρωτικό δίκτυο (€/MWh)		Μη διασυνδεδεμένα νησιά (€/MWh)
			>100kWp	≤100kWp	Ανεξαρτήτως ισχύος (με εξαίρεση τα μικρά συστήματα έως 10 kWp σε κτίρια όπου ισχύουν ενιαίες τιμές για όλη τη χώρα)
2009	550	Φεβρουάριος	400	450	450
		Αύγουστος			
2010		Φεβρουάριος	392,04	441,05	441,05
		Αύγουστος			
2011	522,5	Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
		Αύγουστος	351,01	394,88	394,88
2012	496,38	Φεβρουάριος	333,81	375,53	375,53
		Αύγουστος	314,27	353,56	353,56
2013	471,56	Φεβρουάριος	298,38	336,23	336,23
		Αύγουστος	281,38	316,55	316,55
2014		Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56
		Αύγουστος	260,97	293,59	293,59
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά μΟΤΣ _{ν-1} = Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1	-5% ετησίως		1,3*μΟΤΣ _{ν-1}	1,4*μΟΤΣ _{ν-1}	1,4*μΟΤΣ _{ν-1}
Διάρκεια σύμβασης	25 έτη	20 έτη			
Οι τιμές που καθορίζονται στον ανωτέρω πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος, κατά ποσοστό 25% του δείκτη τιμών καταναλωτή του προηγούμενου έτους					

3. Case Study Οικονομικής Ανάλυσης της επένδυσης

Όπως σε κάθε επένδυση ,έτσι και στα Φωτοβολταικά, προτού ληφθεί μια απόφαση εκκίνησης, θα πρέπει να λαμβάνονται μια πληθώρα παραγόντων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον ανάληψη του ρίσκου που εμπεριέχει οποιαδήποτε επένδυση. Παράγοντες όπως:

- Διάρκεια Συμβολαίου αγοραπωλησίας
- Τιμή πώλησης
- Διακύμανση τιμής πώλησης
- Τραπεζική Χρηματοδότηση
- Θεσμικό πλαίσιο
- Έτη απόσβεσης επένδυσης
- Φορολογία κερδών

Είναι καθοριστικοί ώστε να ληφθεί η σωστή απόφαση.

Παρακάτω δίδεται ένα παράδειγμα για την ευκολότερη κατανόηση του κόστους υλοποίησης και του χρόνου απόσβεσης μιας επένδυσης στα Φωτοβολταϊκά.

Στο παράδειγμα παρατίθενται 2 κατηγορίες εξόδων.

- Πάγια Έξοδα (Capital Expenses).
- Λειτουργικά Έξοδα (Operational expenses).

Ως πάγια έξοδα ορίζονται τα κόστη τα οποία εμφανίζονται μια φορά συνήθως στην αρχή του έργου και επιβαρύνουν την υλοποίηση του έργου
Ως λειτουργικά έξοδα ορίζονται τα περιοδικά κόστη (μηνιαίως, εξαμηνιαίως, κλπ) τα οποία συμβάλουν στην εύρυθμη και αδιάλειπτη συνέχεια της επένδυσης ώστε αυτή να αποδίδει.

Τα κόστη είναι ενδεικτικά αλλά πλησιάζουν την εικόνα της αγοράς.

3.1 Υπόθεση

1. Έργο με:

- Φορέας Επένδυσης (Ο.Ε - Ομόρρυθμη επιχείρηση).
- Προς εγκατάσταση στην Β. Ελλάδα σε αγροτεμάχιο 4 στρεμμάτων.
- Μίσθωση αγροτεμαχίου επί 25έτη προς 750€ / έτος.
- Συνολική ισχύ 99.32 kWp.
- Εκτίμηση ενεργειακής παραγωγής 1350 kWhs/kWp.
- Υπογραφή Συμβολαίου ΔΕΣΜΗΕ από 01/02 ως 01/08/2011.
- Χρηματοδότηση Τραπέζης 10ετούς διάρκειας με επιτόκιο 6.8%.
- Σταθερές βάσεις στήριξης.
- Πλαίσια Πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

2. Πάγια έξοδα

A/A	Κόστος Υλοποίησης	ΤΙΜΗ
1.	Ίδρυση Εταιρείας	500€
2	Τοπογραφικό διάγραμμα	450 €
2	Έλεγχος τίτλων	250 €
3	Μισθωτήριο Συμβόλαιο	1.200 €
4	Φάκελος Αδειοδότησης	1.500 €
5	Αίτηση ΔΕΗ	615 €
6	Έγκριση Εργασιών Μ. Κλίμακας	800 €
7	Κόστος Έργων ΔΕΗ	12.500 €
8	Συμβόλαιο ΔΕΣΜΗΕ	800 €
9	Κόστος Κατασκευής	290,000€
	Σύνολο	308.615 €

2. Λειτουργικά Έξοδα:

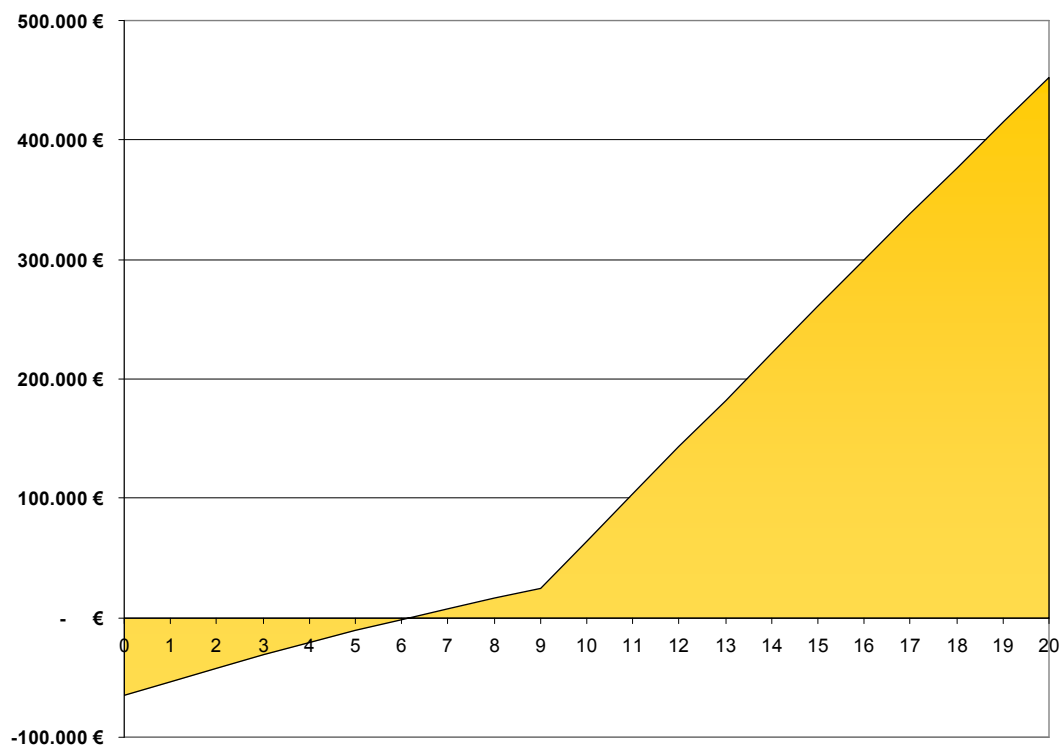
A/A	Κόστος Υλοποίησης	ΤΙΜΗ
1.	Συντήρηση ΦΒ σταθμού	2000€
2	Ασφάλιση Εξοπλισμού	1200€
3	Φύλαξη πάρκου	300€
4	Έξοδα Λογιστή	250€
5	Ασφαλιστικό Ταμείο	2500€
6	Μίσθωση Αγροτεμαχίου	750€
	Σύνολο	7,000 €

Συγκεντρωτικός Πίνακας Επένδυσης

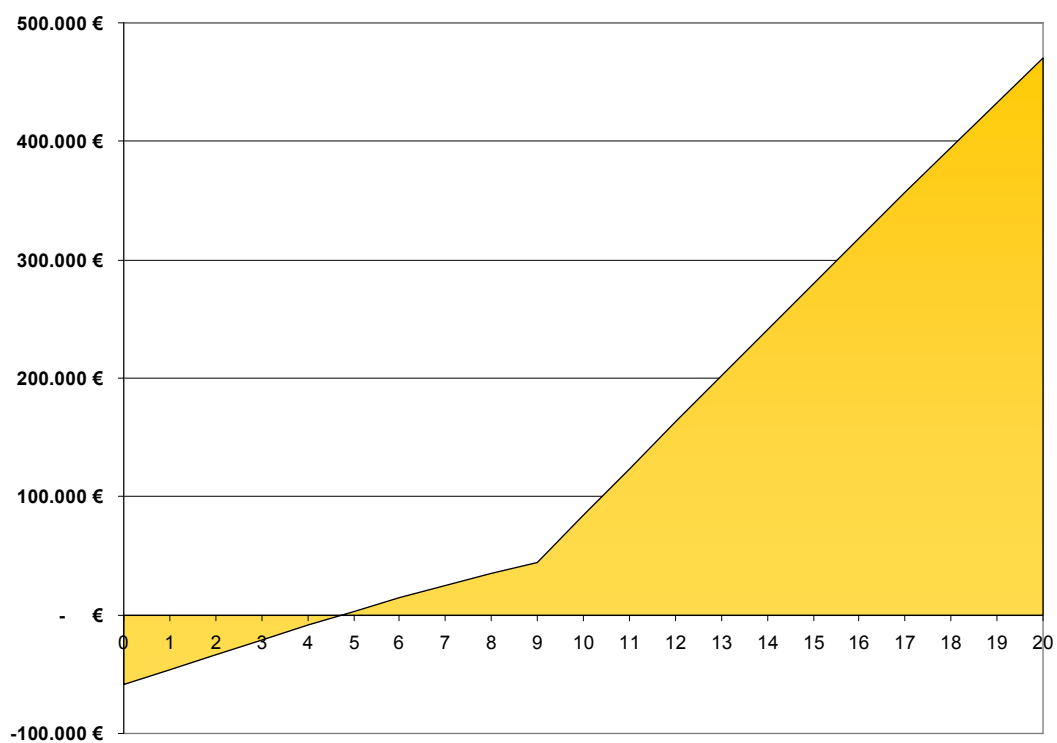
A. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ			
ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
1	Εγκατεστημένη ισχύς	KWp	99.32
2	Εκτίμηση ενεργειακής απόδοσης	KWh/KWp	1.350
3	Ενεργειακή απόδοση πρώτου έτους λειτουργίας	KWh	134.082
4	Κόστος υλοποίησης	€	308.615
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΕΡΓΟΥ			
1	Ποσοστό Επιχορήγησης	%	0%
2	Ίδια Κεφάλαια	%	25%
3	Δανεισμός	%	75%
4	Επιτόκιο μακροπρόθεσμου δανεισμού	%	6.80%
5	Περίοδος αποπληρωμής μακρ. δανείου	έτη	10
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΈΞΟΔΑ			
1	Λειτουργικά Έξοδα	%	2.20%
			7.000
			0
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΓΟΡΑΠΩΛΗΣΙΑΣ			
1	Ποσοστό προσαύξησης εξόδων ετησίως	%	1.00%
2	Τιμή πώλησης KWh τον πρώτο χρόνο	€	0.4194 €
3	Ποσοστό προσαύξησης εσόδων ετησίως	%	1.00%
4	Ποσοστό μείωσης της απόδοσης του συστήματος	%	1%
ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΕΣ			
Ίδια κεφάλαια επενδυτή		€	77.154 €
Εκταμίευση μακρ. Δανείου		€	231.461 €
Εκταμίευση επιχορήγησης		€	- €
Κόστος μακροπρόθεσμου δανείου		€	326.509 €
Ασφάλιση		-	162.674 €
Συντήρηση και λειτουργία		-	€
Φόροι		-	145.999 €
Έσοδα από πώληση ενέργειας			1.164.858 €
Τόκοι Μακροπρόθεσμου δανείου		-	95.047 €
Επιτόκιο προεξόφλησης		8.00%	
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης		18.88%	
ΚΠΑ			114.419 €

Συνολικός Πίνακας Επένδυσης

Διάγραμμα Απόσβεσης:



Διάγραμμα Απόσβεσης με πραγματικό κόστος.



Διάγραμμα Απόσβεσης με κόστος μειωμένο κατά 6% ως ενδεχομενο.

3.4 Συμπεράσματα

Από την σύντομή οικονομική ανάλυση μιας επένδυσης στα Φωτοβολταϊκά προκύπτει ότι είναι μια δεικνυτική τόσο από πλευράς προώθησης της αγοράς όσο και από πλευράς διασφάλισης του προσδοκώμενου εσόδου σε εξασφαλισμένη χρονική διάρκεια.

Η απόσβεση σε έξι χρόνια όπως μας έδωσε το παράδειγμα είναι τόσο ελκυστική όσο και ρεαλιστική. Με ενδεχόμενη μείωση του κόστους του εξοπλισμού κατά 10% κάτι που θα μεταβάλει το κόστος εγκατάστασης κατά 6% ο χρόνος απόσβεσης μειώνεται κατά ένα έτος όπως δείχνει και το παραπάνω διάγραμμα. Έτσι η μείωση του κόστους εγκατάστασης είναι επιθυμητή όταν όμως αυτή προέρχεται από διορθώσεις των τιμών στην ευρύτερη αγορά των Φωτοβολταϊκών και δεν θα πρέπει να είναι ο αυτοσκοπός του έργου.

Δεν θα πρέπει λοιπόν να επιδιώκεται η μείωση του κόστους εγκατάστασης σε βάρος της ποιότητας του έργου καθώς είναι μια επένδυση με 20ετή τουλάχιστον διάρκεια και ως εκ τούτου από την πρώτη στιγμή της επιλογής των συνεργατών – προμηθευτών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αξιοπιστία και η διάρκεια του έργου.

3.5 Παράρτημα - Ορισμοί

Καθαρή Παρούσα Αξία

Η Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) μιας επένδυσης είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των n καθαρών ταμειακών ροών ΚΤΡ της επένδυσης, προεξοφλημένων στο παρόν με επιτόκιο i και του αρχικού κεφαλαίου K_0 που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η επένδυση σήμερα.

$$ΚΠΑ = \sum_{t=1}^n \frac{KTP_t}{(1+i)^t} - K_0$$

- Σε περίπτωση που η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών από την επένδυση σήμερα είναι πιο υψηλή από το απαιτούμενο κόστος της επένδυσης, δηλαδή η $ΚΠΑ > 0$, η επένδυση γίνεται αποδεκτή.
- Σε περίπτωση που η $ΚΠΑ = 0$, ο επενδυτής πρέπει να είναι αδιάφορος με βάση αυτή το κριτήριο επιλογής.
- Σε περίπτωση που η $ΚΠΑ < 0$, η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή.

Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Με τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης (ΕΒΑ) υπολογίζεται το εσωτερικό επιτόκιο μιας επένδυσης, το επιτόκιο εκείνο το οποίο υπονοείται από μια σειρά ΚΤΡ η οποία έχει ορισθεί ως επένδυση. Σκοπός αυτού του κριτηρίου είναι ο υπολογισμός του βαθμού απόδοσης που θα επιτευχθεί από αυτές τις επενδύσεις. Το μέγεθος αυτό ισούται με το επιτόκιο r το οποίο πρέπει να ισχύει, έτσι ώστε εάν επενδύσουμε σήμερα ένα ποσό X να έχουμε μετά από π.χ. 1 έτος ένα ποσό XX .

$$X + Xr = XX \Leftrightarrow X(1+r) = XX \Leftrightarrow X = \frac{XX}{1+r} \Leftrightarrow \frac{XX}{1+r} - X = 0$$

ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΤΗ

Τεχνική Ανάλυση Κατασκευής Φωτοβολταϊκού Σταθμού 100 KW επί Στέγης
στη Βι.Πε. Σερρών

Επιμέλεια Μωυσής Δαμιανίδης
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, ΑΠΘ

Τεχνική Ανάλυση Κατασκευής Φωτοβολταϊκού Σταθμού επί Στέγης στη Βι.Πε. Σερρών

1. Εισαγωγή

Η παρακάτω μελέτη αφορά την μελέτη υλοποίησης του φωτοβολταϊκού πάρκου σε ιδιόκτητο χώρο στον νομό Σερρών στην Βιομηχανική περιοχή των Σερρών

Το πάρκο θα κατασκευαστεί με χρήση πλαισίων μονοκρυσταλλικού πυριτίου 175W τα οποία εδράζονται πάνω σε σταθερές βάσεις ενώ η αντιστροφή της συνεχούς ισχύος γίνεται με την βοήθεια αντιστροφέων χωρίς μετασχηματιστή μονοφασικής ισχύος

Ο χώρος που θα κατασκευαστεί το πάρκο έχει συνολική έκταση 3,375 τμ (75x45 μέτρα), ενώ αποτελείται από 3 δίρυχτες στέγες που αποτελούν το στέγαστρο της Βιομηχανίας. Φέρει κλίση ως προς τον Νότο 35° ενώ οι δίρυχτες στέγες φέρουν κλίση ως προς το επίπεδο 7°.



Ευρύτερη περιοχή χώρου εγκατάστασης

Για την υλοποίηση του πάρκου θα πραγματοποιηθούν οι παρακάτω ομάδες εργασιών οι οποίες και θα αναλυθούν παρακάτω.

1. Δομικές εργασίες:

- Χάραξη βάσει χωροθέτησης.
- Οδεύσεις καλωδίων.
- Σύστημα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας.
 - Γείωση προστασίας.
 - Αντικεραυνική προστασία από έμμεσα πλήγματα.

2. Μηχανολογικός εξοπλισμός:

- Σταθερές μεταλλικές βάσεις.
 - ο Στήριξη των πάνελ πάνω σε τριγωνικές βάσεις.
 - ο Οδεύσεις Καλωδίων.
 - ο Σύστημα Ασφαλείας.

3. Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός:

- Σύστημα Φ/Β πλαισίων.
- Σύστημα Αντιστροφών.
- Ηλεκτρική Εγκατάσταση.
 - ο Καλωδίωση DC.
 - ο Καλωδίωση AC.
 - ο Καλωδίωση AC (Ισχύος).
 - ο Καλωδίωση σηματοδοσίας.
- Σύστημα τηλεπίβλεψης.
- Κεντρικός πίνακας.

2. Ενεργειακή Μελέτη

Για την αποτίμηση των ενεργειακών απολαβών από την εγκατάσταση του εν λόγω φωτοβολταϊκού πάρκου ακολουθήθηκε διαδικασία «από την πηγή προς την κατανάλωση». Πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και τελικός καταναλωτής το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Δίκτυο). Για την αποτίμηση του ηλιακού δυναμικού του χώρου πραγματοποιήθηκε ανάλυση των σκιάσεων μέσω ηλιακού χάρτη (ηλιακό παράθυρο).

Τα ετήσια δεδομένα του ηλιακού δυναμικού λήφθηκαν από την παγκόσμια βάση δεδομένων εφαρμοσμένης κλιματολογίας METEONORM (έκδοση 1.105), προϊόν του ελβετικού οίκου METEOTEST καθώς επίσης και από την βάση δεδομένων της NASA.

Στον υπολογισμό συνυπολογίζονται οι παράγοντες της θερμοκρασίας, υγρασίας, μέσος όρος ηλιοφάνειας, μορφολογίας του εδάφους και ετήσιας βροχόπτωσης. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης εξάγονται σε ετήσια κατανομή της ηλιακής ενέργειας, θερμοκρασίας (κλπ) ανά ώρα, παράγοντας αρχείο κλιματολογικών συνθηκών. Κατόπιν, ακολουθεί σύντομη περιγραφή του σχεδιασμού του φωτοβολταϊκού συστήματος και η εκτίμηση της ενεργειακής του απόδοσης.

Στην περίπτωση των πολυκρυσταλλικών πάνελ προκύπτει ισχύς 99,925 kWp και υλοποιείται με την εγκατάσταση 571 φωτοβολταϊκών στοιχείων ονομαστικής ισχύος 175Wp. Τα στοιχεία αυτά επιλέγονται με βάση την υψηλή πυκνότητα ισχύος που ελαχιστοποιεί τις ανάγκες υποδομών. Στο παράρτημα 1 παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως τα παρέχει ο κατασκευαστής. Για τις ανάγκες της μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο χρησιμοποιείται αντιστροφείς γερμανικού οίκου. Στο παράρτημα 2 παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα όπως αυτά δίνονται από τον κατασκευαστή.

Με βάση την τυπική χωροθέτηση όπως αυτή παρουσιάζεται παρακάτω, τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής αλλά και του ειδικού λογισμικού PnSyst υπολογίστηκε ότι η ετήσια απολαβή από την παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος θα είναι 1299 kWh/kWp. (Παράρτημα)



3. Ιδιαιτερότητες Χώρου – Αυτοψία

Πριν από κάθε εργασία επί της στέγης θα πρέπει να γίνει μια ακριβής τοπογραφική αποτύπωση της στέγης όπου θα είναι εμφανή :

- Διαστάσεις στέγης.
- Σημεία εξόδου και εργασίας.
- Διάδρομοι Στέγης.
- Εμπόδια και αντίστοιχα ύψη.
- Κλίσεις.
- Πρόσβαση.

Παράλληλα θα πρέπει να είναι διαθέσιμη η στατική μελέτη του κτιρίου, διατομές και βάρη σκελετού, προκειμένου να είναι υπολογίσιμο:

- Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος επί στέγης.
- Υπολογισμός Διατομών.
- Υπολογισμός Πρόσθετης μεταλλικής Κατασκευής για την υποστήριξη των βάσεων.

Έπειτα από σχετική αυτοψία που διενεργήθη στον χώρο διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Ο χώρος αποτελείται από 3 δίρυχτες στέγες με προσανατολισμό 35° ως προς Νότο.
- Έχουν κλίση 7° ως προς το επίπεδο.
- Η στέγη αποτελείται από πάνελ πολυουρεθάνης.
- Ο χώρος στεγάζει βιομηχανία απορρυπαντικών και θα πρέπει να είναι απόλυτα στεγανός και μετά την εγκατάσταση.
- Η στατικότητα του κτιρίου είναι επαρκής για να φιλοξενήσει το βάρος της εγκατάστασης.
- Το σημείο σύνδεσης είναι στην Νότια πλευρά του αγροτεμαχίου που στεγάζεται η Βιομηχανία.
- Περιμετρικά της στέγης είναι εγκατεστημένο στηθαίο ύψους 1.5μ.

4. Μελέτη Χωροθέτησης

Σκοπός της μελέτης χωροθέτησης είναι να αποτυπωθούν επί του τοπογραφικού οι ακριβείς θέσεις των βάσεων και των πλασιών προκειμένου να μπορεί να γίνει βελτιστοποίηση και απόλυτη μείωση των αναπόφευκτων απωλειών που έχουμε σε κάθε φωτοβολταϊκό πάρκο και προέρχονται από:

- Σκιάσεις φυσικών εμποδίων.
- Σκιάσεις της ίδιας εγκατάστασης.
- Μεταφορά ενέργειας (DC-AC).

Στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή των Σερρών η χωροθέτηση περιγράφεται από τις παρακάτω λεπτομέρειες:

5. Εγκατάσταση των πάνελ πάνω σε τριγωνικές βάσεις

- Τοποθέτηση των πάνελ στις 3 δίρυχτες στέγες.
- Η κλίση των τριγωνικών βάσεων είναι 30°.
- Ο προσανατολισμός των πάνελ θα είναι προς το Νότο με την βοήθεια συστημάτων αλουμινίου.
- Απόσταση μεταξύ των σειρών των βάσεων 2.3μ για την αποφυγή σκιάσεων.
- Για την εγκατάσταση των προφίλ αλουμινίου θα χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες τρύπες στα πάνελ της στέγης.
- Εγκατάσταση του κεντρικού πίνακα και των inverter σε χώρο εξωτερικά του κτιρίου στη βορειοανατολική γωνία του.
- Κατασκευή του ερμαρίου της ΔΕΗ στη νοτιοανατολική γωνία του οικοπέδου.
- Εγκατάσταση μεταλλικών σχαρών για την διέλευση των καλωδίων DC πάνω στη στέγη αλλά και μέχρι την κάθοδό τους στο χώρο εγκατάστασης των inverter.

6. Δομικές Εργασίες

6.1 Χωματουργικές Εργασίες – Εκσκαφές – Θεμελιώσεις

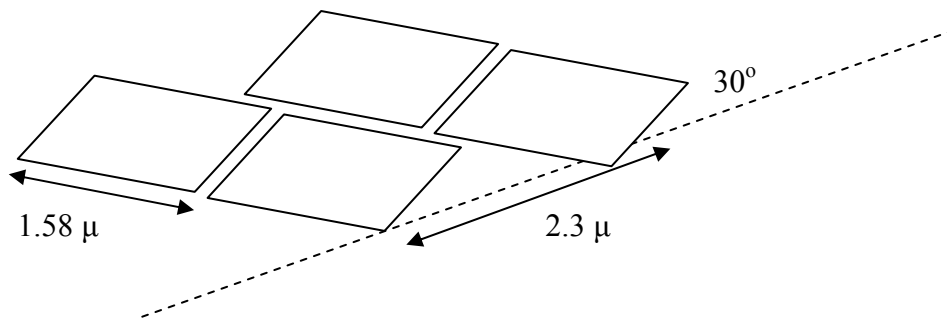
Με βάση λοιπόν την αποτύπωση, προκύπτει το αποτέλεσμα της χωροθέτησης, η οποία λαμβάνει και τα εξής χαρακτηριστικά (εικ 2):

- Απόσταση από όρια στέγης 1μ (Αποφυγή σκίασης-Δημιουργία Διαδρόμων).
- Δημιουργία εγκάρσιων διαδρόμων εργασίας πλάτους 2.3 μ.
- Αξονική απόσταση μεταξύ των βάσεων 2.3 μ.
- Συγκέντρωση των αντιστροφέν στο Νότιο τμήμα της στέγης:
 - Πλησίον ερμαρίου.
 - Πλησίον τριγώνου γείωσης.
- Χρήση μονών μεταλλικών βάσεων (1 πάνελ – 1 βάση) για την ελαχιστοποίηση της φόρτισης της στέγης.

Έπειτα από την χωροθέτηση, επέρχεται η χάραξη η οποία πραγματοποιείται με την βοήθεια ειδικών οργάνων και έμπειρων μηχανικών (πολιτικών-τοπογράφων) που σαν σκοπό έχει αφενός την τήρηση και την διασφάλιση

της τοποθέτησης των βάσεων σε σχέση με τον σχεδιασμό, και αφετέρου την αυτοματοποίηση των εργασιών και την ελαχιστοποίηση του χρόνου τοποθέτησης των βάσεων.

Για την ελαχιστοποίηση φαινομένων σκίασης αλλά και την μείωση απωλειών λόγω μεταφοράς ενέργειας επιλέγεται η χωροθέτηση των βάσεων να γίνει σε απόσταση 2.3 μ B-N ενώ η γωνία κλίσης των βάσεων επιλέγεται να είναι 30° λόγω του γεωγραφικού πλάτους της πόλης των Σερρών και της βέλτιστης απόδοσης των πάνελ στην συγκεκριμένη κλίση καθόλη την διάρκεια του χρόνου.



Απόσταση για ελάχιστη σκίαση

Οι βάσεις που θα χρησιμοποιηθούν είναι, κατασκευασμένες από αλουμίνιο, και παρέχουν επαρκή στήριξη για την εγκατάσταση ΦΒ στοιχείων οποιουδήποτε οίκου.



Παράδειγμα τοποθέτησης βάσεων επί στέγης

Η τοποθέτηση των εν λόγω βάσεων επί οροφής κτιρίου απαιτεί έναν προέλεγχο συγκεκριμένων στοιχείων που αφορούν τόσο το κτίριο όσο και την επιλογή των κατάλληλων βάσεων.

Στην περίπτωση που αφορά το κτίριο στην περιοχή Σερρών , προτείνεται η στήριξη των βάσεων να γίνει με την βοήθεια μεταλλικών στηριγμάτων τα οποία θα συνδέονται καταλλήλως με την υφιστάμενη μεταλλική δομή του κτιρίου.

Κύριος στόχος της επιπλέον κατασκευής είναι , να δημιουργηθεί ένα επίπεδο παράλληλο με το έδαφος ώστε αφενός τα ΦΒ πλαίσια να είναι εγκατεστημένα επί ίσου ύψους χωρίς να επηρεάζει το ένα το άλλο , και αφετέρου με το ελάχιστο δυνατό κόστος να επωφεληθεί ο επενδυτής από την βέλτιστη σταθερή κλίση εγκατάστασης των πλαισίων. Ο λεπτομερής σχεδιασμός θα επέλθει ως αποτέλεσμα της στατικής μελέτης του κτιρίου και των υφιστάμενων στατικών κανονισμών (Eurocode 1, κτλ).

Η γενικότερη φιλοσοφία της πρόσθετης μεταλλικής κατασκευής θα είναι μορφής ανεστραμμένου ορθογωνίου τριγώνου προκειμένου να μηδενιστούν οι όποιες κλίσεις ως προς το έδαφος. Η κατασκευή θα είναι από χάλυβα εν θερμώ γαλβανισμένο, προκειμένου να είναι ανθεκτική έναντι οξειδώσεων και περιβαλλοντικών συνθηκών ενώ κάθε διάτρηση της υφιστάμενης μόνωσης για την εγκατάσταση της μεταλλικής κατασκευής θα αποκαθίσταται επί τόπου. Στο τέλος της εγκατάστασης θα γίνει επαναληπτική δοκιμή για την διασφάλιση της ακεραιότητας της μόνωσης.

Σημαντικό να αναφερθεί είναι το ότι τόσο στην οριζόντια όσο και στην κάθετη διεύθυνση, όλες οι σειρές των βάσεων είναι διασυνδεδεμένες μεταξύ τους με τα μεταλλικά κανάλια των οδεύσεων των καλωδίων αλλά και με τον αγωγό γείωσης. Η διασύνδεση με τον αγωγό γείωσης όλων των σειρών, εξασφαλίζει τους απαιτούμενους ισοδυναμικούς δακτυλίους που αποσκοπούν στην σωστή λειτουργία του συστήματος γείωσης.

Το ερμάριο της ΔΕΗ βρίσκεται στην Νότια γωνία του κτιρίου. Ένα επίπεδο χαμηλότερο από την κατασκευή και σε χώρο που θα υποδειχθεί από τον επενδυτή, θα εγκατασταθούν οι αντιστροφείς και ο γενικότερος Η/Μ εξοπλισμός.

Τρίγωνα γείωσης πρόκειται να κατασκευαστούν 2 , στην Νότια πλευρά του κτιρίου:

- Πλησίον του ερμαρίου της ΔΕΗ.
- Πλησίον του δρόμου.

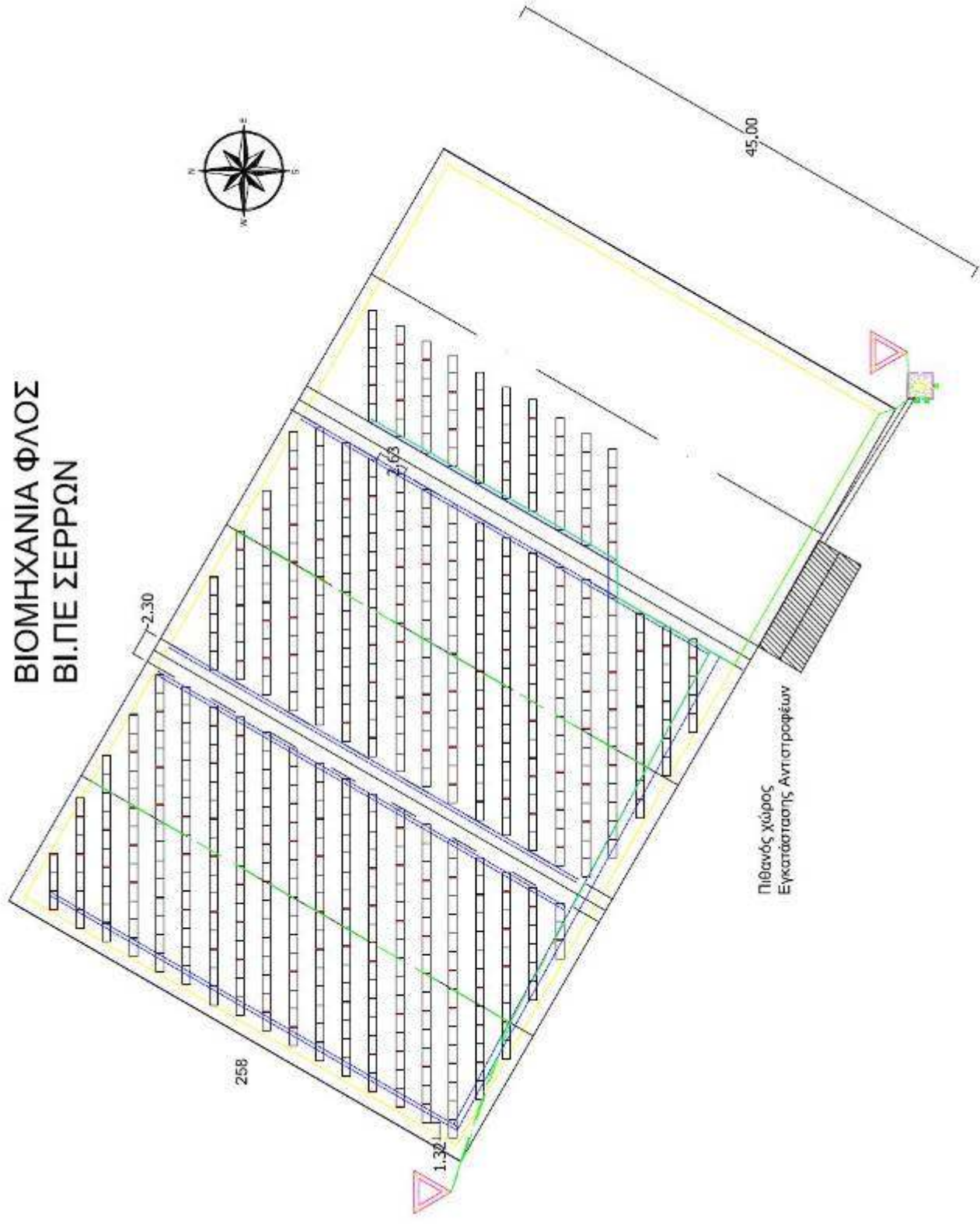
Προκειμένου να τοποθετήσουμε τις βάσεις πάνω στην ταράτσα, αντιμετωπίζουμε ορισμένες δυσκολίες.

6.2 Εγκατάσταση Οδεύσεων

Για την όδευση των καλωδίων θα τοποθετηθούν εγκάρσια μεταλλικά κανάλια τα οποία θα διατρέχουν κάτω από τις βάσεις , συλλέγοντας τα καλώδια και οδεύοντας τα προς τον χώρο όπου θα είναι εγκατεστημένοι οι

αντιστροφείς. Τα κανάλια θα είναι είτε 50x60 mm είτε 200x85 mm, ανάλογα με τον όγκο των καλωδίων της όδευσης.

Η στήριξη των καναλιών θα γίνει είτε επί των μεταλλικών βάσεων είτε επί της πρόσθετης μεταλλικής κατασκευής προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σημεία διάτρησης της στέγης.



7. Σύστημα Γείωσης και Αντικεραυνικής Προστασίας

7.1 Σύστημα Θεμελιακής Γείωσης

Όλες οι βάσεις και τα μεταλλικά μέρη επί οροφής, θα είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένα με την χρήση αγωγού κατάλληλης διατομής (Φ10). Στα 2 αντιδιαμετρικά άκρα του πάρκου, (Δ-Α) πλευρά του πάρκου, θα εγκατασταθούν κάθοδοι, οι οποίοι θα οδηγούν σε 2 τρίγωνα γείωσης τα οποία θα εξασφαλίζουν την σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων με την Γη και θα παρέχουν ένα σταθερό σύστημα γείωσης προστασίας και λειτουργίας.

Τρίγωνα Γείωσης επίσης θα τοποθετηθούν πλησίον του ερμαρίου της ΔΕΗ καθώς και ένα επιπλέον στην ΝΔ πλευρά του χώρου. Και στις 2 περιπτώσεις θα βρίσκεται σε βάθος 1μ από την επιφάνεια της γης, ενώ θα αποτελείται από 3 ηλεκτρόδια Φ20x150 cm τοποθετημένα κάθετα στην γη, σχηματίζοντας ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 2.5μ, το οποίο θα συμπληρώνεται με λάμα 30x3 από θερμογαλβανισμένο χάλυβα. Από τα 2 ηλεκτρόδια θα διατρέχουν χαλκαγωγός διατομής 50 mm² ο οποίος και θα συνδέεται αφενός στην γείωση των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων, αφετέρου στον εξοπλισμό της ΔΕΗ. Ο δεύτερος αγωγός, θα παραμένει συνδεδεμένος σε αναμονή, παρέχοντας έτσι ασφάλεια σε περίπτωση αστοχίας. Και τα δύο τρίγωνα θα παραμένουν συνδεδεμένα με το υπόλοιπο σύστημα θεμελιακής γείωσης παρέχοντας έτσι ένα πλήρες και ισοδυναμικό σύστημα γείωσης και προστασίας του πάρκου.

7.2 Γείωση Προστασίας

Σκοπός της γείωσης προστασίας είναι να μηδενιστεί η πιθανότητα να τεθεί υπό κατάσταση ηλεκτρικού δυναμικού οποιαδήποτε αγωγή επιφάνεια με την οποία δύναται να έρθει σε επαφή ο άνθρωπος. Δημιουργώντας μια κατασκευή στην οποία όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα επιφάνειες είναι συνδεδεμένες έμμεσα ή άμεσα με το σύστημα γείωσης απομακρύνουμε τον κίνδυνο ατυχήματος. Για τον λόγο αυτό όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα κατασκευές οι οποίες είναι αγωγιμες θα συνδεθούν με απόληξη γείωσης.

Οι μεταλλικές επιφάνειες της ίδιας σειράς θα είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένες, ενώ όλες οι σειρές θα διασυνδεθούν με αγωγό διατομής 1x50 mm² (κιτρινοπράσινο) προκειμένου να διασφαλιστεί η ισοδυναμική γείωση μεταξύ όλων των σειρών του πάρκου.

Τα πάνελ θα είναι και αυτά συνδεδεμένα από κατάλληλη οπή και μέσω αγωγού διατομής 1x6mm² (κιτρινοπράσινο) με τις μεταλλικές βάσεις.

Οι μεταλλικές σχάρες μέσα στις οποίες θα οδεύουν τα καλώδια θα είναι συνδεδεμένες και αυτές με την ισοδυναμική γείωση των σειρών του πάρκου μέσω αγωγού διατομής 1x6mm² (κιτρινοπράσινο).

Η μπάρα γείωσης του κεντρικού πίνακα, οι απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων εντός αυτού, καθώς επίσης και η ισοδυναμική γείωση των σειρών του πάρκου θα συνδεθούν με ένα τρίγωνο γείωσης που θα κατασκευαστεί δίπλα στο κτίριο μέσω αγωγού διατομής 1x50mm²

(κιτρινοπράσινο). Το τρίγωνο θα αποτελείται από 3 ηλεκτρόδια $\Phi 20 \times 150$ εκ πακτωμένα κάθετα στην γη 120 εκ, σχηματίζοντας ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 2.5μ, το οποίο θα συμπληρώνεται με λάμα 30x3 χιλ από θερμογαλβανισμένο χάλυβα.

Ένα τρίγωνο ιδίων διαστάσεων με το προηγούμενο θα κατασκευαστεί δίπλα στο ερμάριο της ΔΕΗ από το οποίο θα εκκινεί γυμνός χαλκαγωγός διατομής 100 mm² και θα συνδέεται σε μπάρα γείωσης που θα είναι τοποθετημένη στο παράθυρο του ερμαρίου.

Τα δύο τρίγωνα θα συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό διατομής 1x50 mm². Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα ισοδυναμικό σύστημα γείωσης και προστασίας του πάρκου.

Σε περίπτωση που δεν είναι εφικτή η χαμηλή αντίσταση γείωσης (<4 Ohm) θα γίνει διπλός έλεγχος με μέτρηση της σύνθετης αντίστασης του εδάφους και προσθήκη ειδικών βελτιωτικών γείωσης.

Στην περίμετρο της κάθε στέγης καθώς και στον κάθε κορφιά θα τοποθετηθεί συλλεκτήριο σύστημα συλλογής και καθόδου άμεσων κεραυνικών πληγμάτων αποτελούμενο από χαλύβδινους αγωγούς διατομής $\Phi 10$ και αγωγούς καθόδου εγκατεστημένους στο κάθετο τμήμα του κτιρίου και οι οποίοι θα καταλήγουν στο σύστημα γείωσης του ΦΒ πάρκου.

7.3 Αντικεραυνική Προστασία από Έμμεσα Πλήγματα

Εντός του πάρκου και ειδικότερα εντός του κεντρικού πίνακα, και προκειμένου να προστατευθεί ο εξοπλισμός από κρουστικές υπερτάσεις του δικτύου που δύνανται να επαχθούν στο δίκτυο λόγω κεραυνόπτωσης, θα εγκατασταθούν τα συστήματα προστασίας Rayvoss®.

Πρόκειται για συστήματα που βασίζονται στην πρωτοποριακή τεχνολογία Strikesorb® και εξασφαλίζουν απόλυτη προστασία από κρουστικές υπερτάσεις. Χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την προστασία κρίσιμης ηλεκτρονικής υποδομής σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως σε τηλεπικοινωνίες, συστήματα βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου, αμυντικά συστήματα, κέντρα μηχανογράφησης, νοσοκομεία, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η σχεδίαση του Strikesorb® αποκλείει τον κίνδυνο καταστροφικής αστοχίας, έκρηξης ή πρόκλησης πυρκαγιάς - φαινόμενα συχνά σε συμβατικές διατάξεις προστασίας - ενώ παράλληλα παρέχει πολύ χαμηλές τιμές παραμένουσας τάσης και εξαιρετικά επίπεδα προστασίας. Τα στοιχεία Strikesorb® παρουσιάζουν αξιοσημείωτα υψηλή αντοχή σε πολλαπλά επαναλαμβανόμενα κεραυνικά πλήγματα και μπορούν να διαχειριστούν πολλαπλές υπερτάσεις χωρίς καμία ανάγκη συντήρησης. Πρόκειται για τα μοναδικά στοιχεία προστασίας έναντι υπερτάσεων αναγνωρισμένα κατά UL 1449 (3η έκδοση) που λειτουργούν ασφαλώς χωρίς τη χρήση εσωτερικών ασφαλειών. Αυτό το μοναδικό χαρακτηριστικό, σε συνδυασμό με την δυνατότητα σύνδεσης εν σειρά με τα καλώδια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (direct connection) καθιστά τα συστήματα Rayvoss® και τα στοιχεία Strikesorb® ως την πιο αξιόπιστη λύση προστασίας του κρίσιμου

ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες, τα συστήματα Rayvoss® και τα στοιχεία Strikesorb® εξασφαλίζουν συνεχή αποτελεσματική προστασία ακόμη και υπό τις πλέον αντίξοες καιρικές συνθήκες ή σε συνθήκες κακής ποιότητας παροχής ρεύματος, χωρίς να απαιτούν συντήρηση ή επίβλεψη.

8. ΕΡΜΑΡΙΟ ΔΕΗ

8.1 Θεμελίωση βάσης ερμαρίου της ΔΕΗ-καναλιού προς pillar

Για τις ανάγκες του ερμαρίου της ΔΕΗ θα πρέπει να γίνει επί τόπου κατασκευή στο Βόρειο τμήμα του χώρου επί του προκειμένου να είναι επισκέψιμο από το προσωπικό της ΔΕΗ.

Το ερμάριο θα πρέπει να γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ διατηρώντας παράλληλα την ασφάλεια που απαιτείται για την ακεραιότητα των οργάνων. Το ρολόι και όλος ο μετρητικός εξοπλισμός θα έχει πρόσωπο προς την εξωτερική πλευρά του πάρκου προκειμένου να είναι επισκέψιμο ανά πάσα στιγμή από το προσωπικό της ΔΕΗ. Σε ύψος περίπου 1μ από το έδαφος θα πρέπει να υπάρχουν εσοχή του ερμαρίου με διαστάσεις 1.20x1.50x0.50 για την εγκατάσταση των κεντρικών ασφαλειών και του μετρητικού εξοπλισμού της ΔΕΗ. Ωστόσο δεξιά και αριστερά του χώρου αυτού θα πρέπει να υπάρχουν οπές για την όδευση των καλωδίων από και προς το ερμάριο.

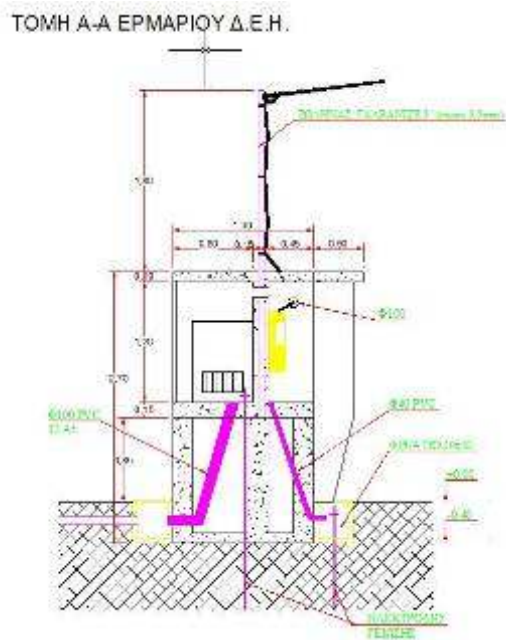
Στην κορυφή του ερμαρίου θα πρέπει να τοποθετηθεί γαλβανιζέ σωλήνας πάχους 6χιλ και διατομής 30εκ με ύψος τουλάχιστον 4μ προκειμένου να γίνει η φυσική σύνδεση του πάρκου με το κοντινό δίκτυο της ΔΕΗ ενώ παράλληλα θα βοηθήσει στην εγκατάσταση του καλωδίου από αέρος από τον κεντρικό πίνακα προς το Ερμάριο.

Συνολικά για την κατασκευή του ερμαρίου της ΔΕΗ θα απαιτηθούν 2.6 m³ κυβικά μπετό.

8.2 Γείωση Ερμαρίου ΔΕΗ

Από το ερμάριο της ΔΕΗ θα πρέπει να εκκινήσει χάλκινος αγωγός διατομής 50 mm² το οποίο με κατάλληλους συνδέσμους και από την εξωτερική πλευρά του ερμαρίου εντός στεγανοποιημένου σωλήνα, οδηγείται σε τρίγωνο γείωσης πλησίον του ερμαρίου το οποίο και κατασκευάζεται αποκλειστικά για την γείωση του ερμαρίου.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΕΛΟΤ και της ΔΕΗ, η αντίσταση γείωσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1 Ohm.



Σχέδιο ερμαρίου ΔΕΗ.

9. Μηχανολογικός Εξοπλισμός

9.1 Σταθερές Μεταλλικές Βάσεις

Οι βάσεις που θα χρησιμοποιηθούν είναι κατασκευασμένες από αλουμίνιο, και παρέχουν επαρκή στήριξη για την εγκατάσταση ΦΒ στοιχείων οποιουδήποτε οίκου.

9.2 Στήριξη των πάνελ πάνω σε τριγωνικές βάσεις

Το σύστημα στήριξης αποτελείται εξολοκλήρου από προφίλ και εξαρτήματα αλουμινίου με την εξής σειρά και διαδικασία τοποθέτησης:

- Στα σημεία που ήδη έχει βιδωθεί το πάνελ οροφής στην κοιλοδοκό θα τοποθετηθεί εξάρτημα αλουμινίου διατομής Π και θα βιδωθεί με την ίδια βίδα επάνω στο πάνελ. Στο σημείο επαφής του εξαρτήματος με το πάνελ θα τοποθετηθεί μονωτικό υλικό.



- Αφού ολοκληρωθεί η τοποθέτηση όλων των παραπάνω εξαρτημάτων στις θέσεις που θα οριστούν από την χωροθέτηση ακολουθεί η τοποθέτηση ραγών αλουμινίου με προσανατολισμό παράλληλα στον κορφιά των στεγών.



- Στη συνέχεια θα τοποθετηθούν και πάλι εξαρτήματα αλουμινίου διατομής Π πάνω στις ράγες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.
- Ακολουθεί η τοποθέτηση ραγών που βιδώνονται στα εξαρτήματα διατομής Π μέσω των οποίων αποκτούν προσανατολισμό παράλληλα στον ορίζοντα.
- Τέλος σειρά έχει η τοποθέτηση των τριγωνικών βάσεων στις ράγες αλουμινίου με προσανατολισμό το Νότο.



- Το βίδωμα των τριγωνικών βάσεων θα γίνει σε ειδικά βύσματα που θα τοποθετηθούν και θα διαμοιραστούν «συρταρωτά» στις κατάλληλες αποστάσεις εντός των ραγών αλουμινίου. Σχεδόν παράλληλα με την τοποθέτηση των τριγωνικών βάσεων θα ξεκινήσει και η εγκατάσταση των Φ/Β πάνελ στις σειρές των βάσεων που θα έχουν ήδη ετοιμαστεί. Τα πάνελ που θα εγκατασταθούν θα

τοποθετηθούν σε μονή σειρά με την μεγάλη τους πλευρά παράλληλα στον ορίζοντα.

Οι παραπάνω μέθοδοι στήριξης επιλέγονται αφενός ώστε να μην υπάρχουν παρεμβάσεις στην υφιστάμενη κατασκευή (τρυπήματα, αποκαταστάσεις οπών στα πάνελ οροφής κ.τ.λ.) και αφετέρου για την ελαχιστοποίηση των επιπλέον φορτίσεων της φέρουσας κατασκευής με την χρησιμοποίηση ελαφρών υλικών όπως το αλουμίνιο.

10. Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός

10.1 Σύστημα Φ/Β πλαισίων

Για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική επιλέγονται τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια τεχνολογίας μονοκρυσταλλικού πυριτίου και ονομαστικής ισχύος 175 W, η οποία και είναι μια από τις υψηλότερες πυκνότητες ισχύος που υπάρχει στην αγορά.

Τα πάνελ φέρουν πλαίσιο από ανοδιωμένο αλουμίνιο, είναι διαστάσεων 1581x808x50 mm και βάρους 15.1 kg ενώ στην επιφάνειά τους φέρουν 72 κυψέλες 6x12 συνδεδεμένες με ράγες ηλεκτροδίων οι οποίες και μεταφέρουν την ισχύ που παράγεται μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

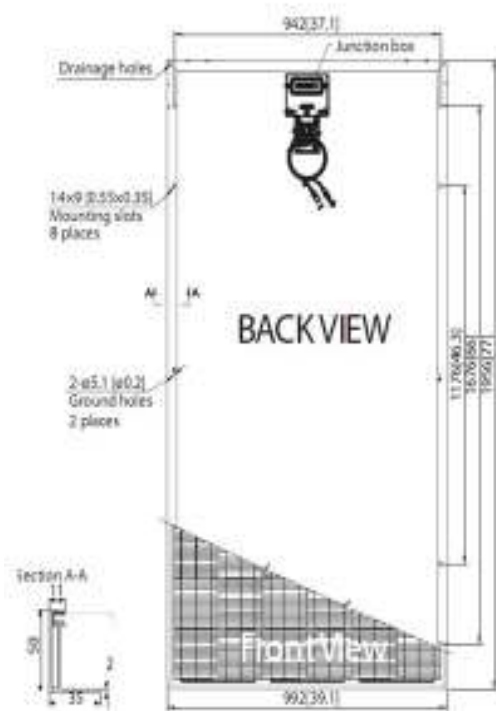
Μια τεχνική ιδιαιτερότητα όλων των στοιχείων είναι η μηδενική ανοχή της ονομαστικής απόδοσης. Αυτό σημαίνει ότι εγγυάται και σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα υπερβαίνεται η αναφερόμενη απόδοση του στοιχείου. Η μεμονωμένη απόδοση αναγράφεται στην πίσω πλευρά του στοιχείου. Κάθε στοιχείο κατασκευάζεται σύμφωνα με τις αυστηρότερες τεχνικές προδιαγραφές και υπερβαίνει τα διεθνή ποιοτικά πρότυπα.

Οι κυψέλες είναι ενσωματωμένες σε μια προστατευτική μεμβράνη EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate) και μια PET- σύνδεση κάλυψης της οπίσθιας πλευράς για αξιόπιστη και διαρκή προστασία από τις περιβαλλοντικές επιρροές και τις θερμικές διαστολές.

Το κουτί διανομής στην οπίσθια πλευρά του ηλιακού στοιχείου, είναι εφοδιασμένο με τρεις διόδους bypass για να αποφευχθεί η υπερθέρμανση μεμονωμένων κυψελών και να διασφαλισθεί η αξιόπιστη λειτουργία του συνολικού Φ/Β συστήματος

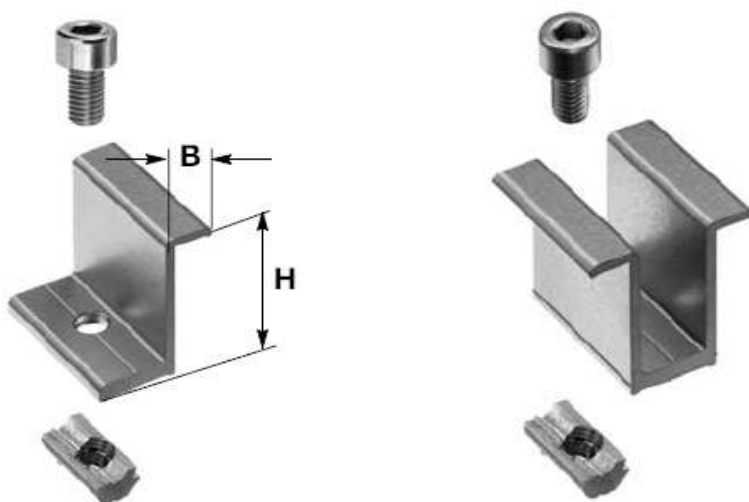


Τα ΦΒ πλαίσια , στο πίσω μέρος τους , φέρουν απόλυτα στεγανοποιημένα καλώδια τύπου, Solar, με βαθμό προστασίας IP 65 , για την διασύνδεση των πάνελ και την επίτευξη της επιθυμητής ισχύος.



Όπισθεν πλευρά ΦΒ πάνελ

Τα πλαίσια εγκαθίστανται στην ενεργή επιφάνεια του Βάσης. Η εγκατάστασή τους γίνεται με την βοήθεια ειδικών συγκρατητών από αλουμίνιο του ίδιου οίκου επιτυγχάνοντας έτσι, τέλεια προσαρμογή των πλαισίων με την μεταλλική κατασκευή.



Συγκρατητές πλαισίων (Γωνιακός- Ενδιάμεσος)

Τα πλαίσια χαρακτηρίζονται από κατασκευή υψηλής ποιότητας που δεν επιτρέπει την ονομαστική ισχύ να κατέβει από τα 175W. Κατά την διάρκεια της εγκατάστασης και λόγω της μικρής ανομοιομορφίας που δύνανται να παρουσιαστούν στα πάνελ. Γίνεται η επιλογή των πάνελ που θα εγκατασταθούν σε κάθε στοιχειοσειρά προκειμένου να γίνει η βέλτιστη εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών τους. Έτσι επιλέγονται πάνελ με ελάχιστες αποκλίσεις στις τιμές

έντασης σε κάθε στοιχειοσειρά , πράγμα που μπορεί να μας οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής ισχύος μέχρι και 2%.

Παρακάτω παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/β στοιχείων:

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο 175 Wp		
Κάλυψη	72 Φ/Β κυψέλες (6 x 12)	
Τύπος κυψέλης	μονοκρυσταλλικού πυριτίου	
Συντελεστής απόδοσης κυψέλης	16.4 %	
Συντελεστής απόδοσης πλαισίου	13.7 %	
Ηλεκτρικές τιμές (STC: 1000 W/m ² ; 25 °C, AM 1,5)		
Ονομαστική ισχύς	P _{MPP}	175 Wp
Απόκλιση ισχύος	Δ P _{MPP}	-0 % / +5 %
Εγγυημένη ελάχιστη ισχύς	P _{MPP MIN}	185 W
Ονομαστική τάση	U _{MPP}	36,45 V
Ονομαστική ένταση	I _{MPP}	4.8 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	U _{OC}	43,6 V
Ένταση βραχυκυκλώματος	I _{SC}	5,35 A
Μέγιστη τάση συστήματος (κατά κατηγορία προστασίας II)	U _{SYS}	1000V
Μέγιστη τάση συστήματος (κατά IEC 61215)	U _{SYS}	1000 V
Συντελεστής θερμοκρασίας α	(Pmpp)	-0,5%/ °C
Συντελεστής θερμοκρασίας β	(Isc)	+0,05%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας χ	(Voc)	-0,34%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας δ	(Impp)	+0,05%/°C
Συντελεστής θερμοκρασίας ε	(Vmpp)	-0,34%/°C
Εγγύηση κατά μηχανικών βλαβών	Έτη	5 χρόνια
Εγγύηση απόδοσης 90%	Έτη	12 χρόνια
Εγγύηση απόδοσης 80%	Έτη	25 χρόνια

Η εγκατάσταση των πλαισίων θα γίνει βάσει των τεχνικών τους χαρακτηριστικών ακολουθώντας την διαδικασία του διαχωρισμού των πλαισίων πρώτα βάσει της ονομαστικής έντασης I_{mpp} κατά αύξοντα αριθμό. Έπειτα, και ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου θα επιλεγτούν να εγκατασταθούν στοιχειοσειρές (strings) με παρόμοια τάση εξόδου.

Κατά αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται η απόδοση των πλαισίων και των στοιχειοσειρών καθώς αποφεύγονται οι άσκοπες απώλειες λόγω της ανομοιομορφίας των.

Όλα τα πλαίσια θα είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένα με χρήση καλωδίου H07V-K 1x6mm² (κιτρινοπράσινο) όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και συνδεδεμένα με το σύστημα θεμελιακής γείωσης. Η στήριξη των DC καλωδίων θα πραγματοποιηθεί με την χρήση κατάλληλου τύπου δεματικών στην οπίσθια πλευρά των πλαισίων.

Προκειμένου να ελαχιστοποιήσουμε την πιθανότητα επαγωγής υπερτάσεων στα άκρα των στοιχειοσειρών, όλα τα DC καλώδια (+,-) θα ακολουθούν την ίδια διαδρομή για να ελαχιστοποιηθεί η επιφάνεια του βρόγχου που περιλαμβάνεται.

10.2 Σύστημα Αντιστροφών

Η μετατροπή της DC ισχύος σε AC προκειμένου να γίνει η έκχυσή της στο δημόσιο δίκτυο, θα γίνεται με την βοήθεια αντιστροφών όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι οποίοι χαρακτηρίζονται και από τον υψηλό βαθμό ισχύος.

10.2.1 Sunny Mini Central (SMC)

Πρωτοποριακή τεχνολογία:

Ως πρώτος μετατροπέας με την τοπολογία H5 της SMA, ο μετατροπέας χωρίς ενισχυτή Sunny Mini Central επιτυγχάνει βαθμό απόδοσης πάνω από 98 %. Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα που παράγεται από τις φωτοβολταϊκές μονάδες μπορεί να μετατραπεί σχεδόν σε αναλογία 1:1 σε εναλλασσόμενο ρεύμα, κατάλληλο για το δίκτυο ρεύματος, και να τροφοδοτηθεί στο δημόσιο δίκτυο. Πέρα από αυτό, οι μετατροπείς αυτοί διαθέτουν το σύστημα Power Balancer, ένα έξυπνο σύστημα διαχείρισης ασύμμετρων φορτίων το οποίο επιτρέπει τη βέλτιστη προσαρμογή στις προδιαγραφές των δημοσίων επιχειρήσεων ηλεκτρικού ρεύματος.

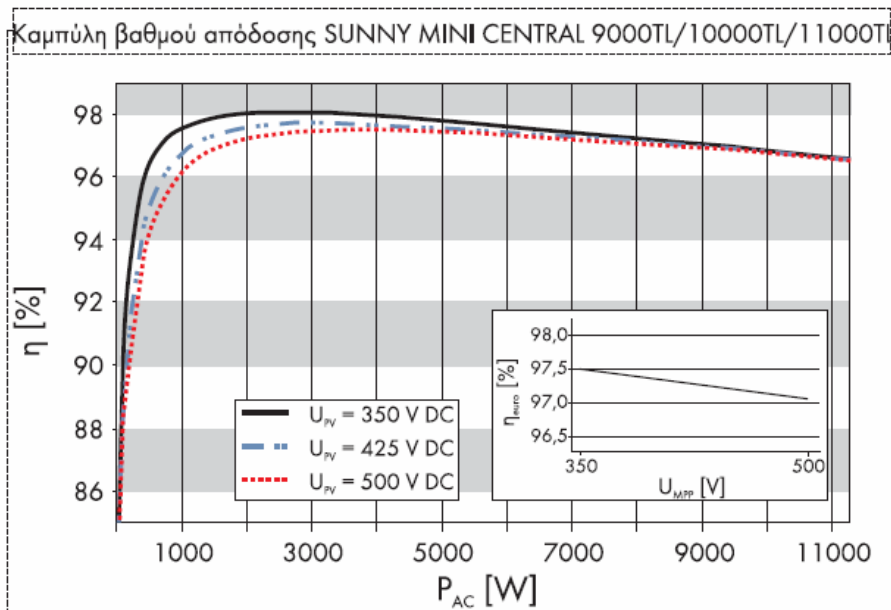


Βέλτιστη ασφάλεια σφαλμάτων:

Εξοπλισμένοι με τον ενσωματωμένο διακόπτη απομόνωσης φορτίου DC Electronic Solar Switch και το ενεργό σύστημα ελέγχου του δικτύου SMA Grid guard 2, οι μετατροπείς Sunny Mini Central είναι εξοπλισμένοι με τα πιο σύγχρονα συστήματα ασφαλείας για όλες τις εργασίες, τόσο στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση όσο και στο δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης. Με τη σύνδεση ορισμένων μόνο στοιχειοσειρών ανά μετατροπέα, γίνεται περιττή η πρόσθετη επιτήρηση στοιχειοσειράς: Βλάβες μπορούν να εντοπιστούν αμέσως μέσω της οθόνης ενδείξεων του κάθε Sunny Mini Central. Η ηλεκτρονική τους διάρθρωση ταιριάζει κατά πολύ με την διάρθρωση μικρότερων μετατροπέων. Δεν χρειάζονται συνεπώς ιδιαίτερες γνώσεις πάνω στην τεχνολογία κεντρικών μετατροπέων, κάτι που κάνει τις εργασίες συντήρησης εφικτές από οποιοδήποτε ειδικό συνεργείο.

Χαρακτηριστικά:

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 98 %.
- Βέλτιστος μηχανισμός ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος MPP OptiTrac.
- Ευφυής διαχείριση θερμοκρασιών OptiCool.
- Χωρίς μετασχηματιστή με τοπολογία H5.
- Επιτηρούμενες ασφάλειες στοιχειοσειρών.
- Δυνατότητα σύνδεσης SMA Power Balancer για τριφασική σύνδεση δικτύου.
- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός διακόπτης απόζευξης φορτίου DC ESS.
- Διαστάσεις : 418 / 613 / 242 mm.
- Βάρος : περίπου 35 kg.
- Κλάση Προστασίας : IP65.



Βάσει προδιαγραφής ΔΕΗ και προκειμένου να μην γίνεται ασύμμετρη φόρτιση του μετασχηματιστή της ΔΕΗ, θα πρέπει ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του κάθε πάρκου να είναι έτσι ώστε η παραγόμενη ισχύς ανά φάση να μην παρουσιάζει απόκλιση πάνω από 20% σε σχέση με τις υπόλοιπες 2 φάσεις. Ένας επιπλέον λόγος για την επίτευξη συμμετρίας είναι ότι στον κεντρικό πίνακα του πάρκου όπου γίνεται η είσοδος όλων των αντιστροφών, ο ουδέτερος σε περίπτωση που υπάρχει ασυμμετρία, θα φορτιστεί με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι απώλειες των καλωδίων.

Για τους παραπάνω λόγους επιλέγεται αριθμός αντιστροφών ακέραιο πολλαπλάσιο του 3 και στην συγκεκριμένη περίπτωση 9 αντιστροφείς SMC_11000TL.

10.3 Ηλεκτρική Εγκατάσταση

10.3.1 Καλωδίωση DC

Για τη σύνδεση κάθε σειράς φωτοβολταϊκών στοιχείων με τον αντιστροφέα θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο τύπου DC Solar 1x6mm². Πρόκειται για εύκαμπτα καλώδια με μόνωση και μανδύα από ελαστικό υψηλής αντοχής. Τα καλώδια ακολουθούν τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 623.4 και HD 22.4. Ενδείκνυνται για χρήση σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους στο υπαίθρο. Για την καλύτερη διάκριση των καλωδίων θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί χρωματισμοί ανάλογα με την πολικότητα των ισχύων που μεταφέρουν. Συγκεκριμένα RED/BLACK για τον θετικό πόλο και BLACK/BLACK για τον αρνητικό.



Στα άκρα της κάθε στοιχειοσειράς θα υπάρχουν απολήξεις τύπου MCT4 κατάλληλες για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η στήριξη των καλωδίων θα γίνει με δεματικά από πλαστικό υλικό για την αποφυγή επαγωγικών ρευμάτων. Οι προδιαγραφές του καλωδίου είναι οι εξής:

- Εύρος θερμοκρασίας από -40°C ως 120°C.
- Επιτρεπτή τάση λειτουργίας 2 KV DC.
- Αναμενόμενη διάρκεια ζωής >25 έτη.
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV protection).
- Δυνατότητα Εγκατάστασης τόσο σε εξωτερικούς χώρους όσο και εντός σωλήνων ή καναλιών.
- Μανδύας και μόνωση από μείγμα ελεύθερων αλογόνων με εξαιρετική αντοχή στη θερμοκρασία.



Για την εγκατάσταση των συνδέσμων χρησιμοποιούνται τα ειδικά εργαλεία που παρέχονται από την εταιρία παραγωγής τους. Ειδικότερα, για τους συνδέσμους T4 χρησιμοποιούνται τα κλειδιά PV-MS (32.6024). Για την τοποθέτηση του μεταλλικού μέρους του συνδέσμου χρησιμοποιείται η πρέσα PV-CZM.



Η DC καλωδίωση θα ακολουθεί την φορά είτε της μιας είτε της άλλης πολικότητας. Τα καλώδια θα οδεύουν ανά ζευγάρια, διασυνδέοντας το ένα μετά το άλλο πλαίσιο προτού οδεύσουν προς την είσοδο του αντιστροφέα. Έτσι η επιφάνεια του βρόγχου μειώνεται στο ελάχιστο ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο δημιουργίας υπερτάσεων από πτώση κεραυνού στα άκρα της στοιχειοσειράς.

10.3.2 Καλωδίωση AC

Για την μεταφορά της ισχύος από τους αντιστροφείς προς τον κεντρικό πίνακα θα χρησιμοποιηθούν καλώδια τύπου H07RN-F διατομής 3x25mm², διατηρώντας σε κάθε περίπτωση τις απώλειες από την μεταφορά της ενέργειας χαμηλότερα από το 2% της μεταφερόμενης ισχύος.



Τα καλώδια του συγκεκριμένου τύπου είναι ανθεκτικά σε όλες τις καιρικές συνθήκες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και μέσα σε νερό (γλυκό ή

θαλασσινό). Είναι ανθεκτικά σε όζον, βραδύκαυστα και μπορούν να αντέξουν σε υψηλές μηχανικές καταπονήσεις.

Ο εξωτερικός μανδύας είναι από λάστιχο χλωροπρενίου, εσωτερικά φέρουν μόνωση από λάστιχο ενώ ο αγωγός είναι λεπτοπολύκλωνος από χαλκό προσφέροντας έτσι υψηλή αγωγιμότητα και ελαστικότητα.

Η τάση λειτουργίας είναι U_0/U 450/750 V φασική και πολική αντίστοιχα, ενώ η περιοχή θερμοκρασίας από -30°C έως $+60^{\circ}\text{C}$.

Όλα τα καλώδια πρόκειται να εγκατασταθούν εντός μεταλλικών σχαρών διατομών 200x60 mm.

10.3.3 Καλωδίωση AC (Ισχύος)

Για την μεταφορά της ισχύος από τον κεντρικό πίνακα ως το σημείο σύνδεσης με την ΔΕΗ, λόγω της μεγάλης ισχύος που θα μεταφέρουν τα καλώδια, επιλέγεται καλώδιο XLPE PVC/SWA/PVC με διατομή $3 \times 120 \text{ mm}^2 + 1 \times 95 \text{ mm}^2 + 1 \times 95 \text{ mm}^2$ με πρόσθετη μηχανική ενίσχυση το οποίο θα ενταφιαστεί σε βάθος 80εκ από την επιφάνεια της γης μέσα σε στρώμα άμμου για να επιτευχθεί χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος και άρα βέλτιστη συμπεριφορά αγωγιμότητας.



Το καλώδιο XLPE PVC/SWA/PVC έχει πολύκλωνους αγωγούς από σύρματα καθαρού χαλκού, μόνωση αγωγών από XLPE, εσωτερική μόνωση από PVC χρώματος μαύρο, οπλισμό από γαλβανισμένα ατσάλινα σύρματα και εξωτερικό μανδύα από PVC χρώματος μαύρο.

Η τάση λειτουργίας είναι U_0/U 0.6/1kV φασική και πολική αντίστοιχα, ενώ η περιοχή θερμοκρασίας από -15°C έως $+90^{\circ}\text{C}$.

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα μήκη και οι διατομές των καλωδίων για την μεταφορά του AC και DC.

10.3.4 Καλωδίωση Σηματοδοσίας



Από κάθε inverter θα διατρέχει ένα καλώδιο σηματοδοσίας τύπου FTP Cat5e προκειμένου να υπάρχει η φυσική διασύνδεση και η συλλογή των δεδομένων από τον κεντρικό συλλέκτη και επεξεργαστή δεδομένων Sunny WebBox το οποίο θα βρίσκεται εντός του κεντρικού πίνακα. Επιπλέον θα εγκατασταθεί και ένα καλώδιο ιδίου τύπου από το Sunny Sensor Box έως το Sunny WebBox για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των πάνελ.

10.4 Σύστημα Τηλεπίβλεψης



Προκειμένου η μονάδα παραγωγής ενέργειας να είναι επιτηρήσιμη και άρα να υπάρχει η δυνατότητα απομακρυσμένης επίβλεψης του έργου (Σύστημα Τηλεπίβλεψης), εντός του κεντρικού πίνακα θα εγκατασταθεί το σύστημα Sunny Webbox.



Το σύστημα Sunny Webbox συνδέεται «φυσικά» με όλα τα συστήματα αντιστροφών εντός του έργου, καθώς και με συσκευή συλλογής μετεωρολογικών δεδομένων (Sunny Sensor Box) προκειμένου να είναι επιτηρήσιμη τόσο η κατάσταση και στιγμιαία απόδοση των αντιστροφών όσο και οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Από την πλευρά της εγκατάστασης, συλλέγει διαρκώς όλα τα δεδομένα και δίδει έτσι την δυνατότητα να γίνει έλεγχος οποιαδήποτε στιγμή της τρέχουσας κατάστασής της.

Τα κύρια χαρακτηριστικά που προσφέρει το σύστημα τηλεπίβλεψης Sunny Webbox είναι:

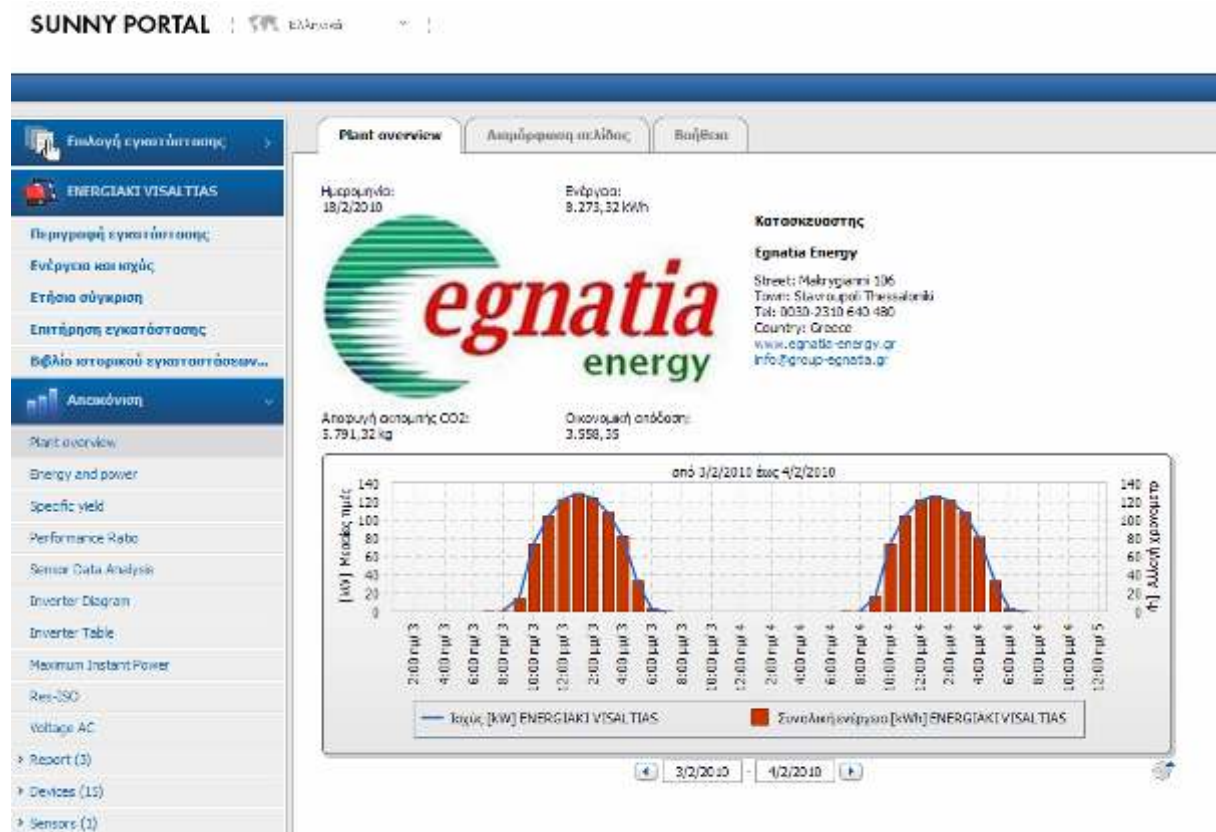
Ασφάλεια:

- Συνεχής έλεγχος του Φ/Β συστήματος.
- Επιτήρηση μέσω δικτύου στιγμιαίων και συγκεντρωτικών δεικτών του πάρκου.
- Έγκαιρος εντοπισμός σφαλμάτων λειτουργίας.

- Καταγραφή Ενεργειακής Απόδοσης.
- Ασφαλή αποθήκευση δεδομένων και αξιολογητή.

Φιλικό Προς τον Χρήστη:

- Διάγνωση και ρύθμιση εγκατάστασης σε οποιοδήποτε τερματικό
- Αυτόματη μετάδοση δεδομένων
- Επεξεργασία δεδομένων και απεικόνιση στο διαδίκτυο



11. Κεντρικός Πίνακας

11.1 Γενική περιγραφή

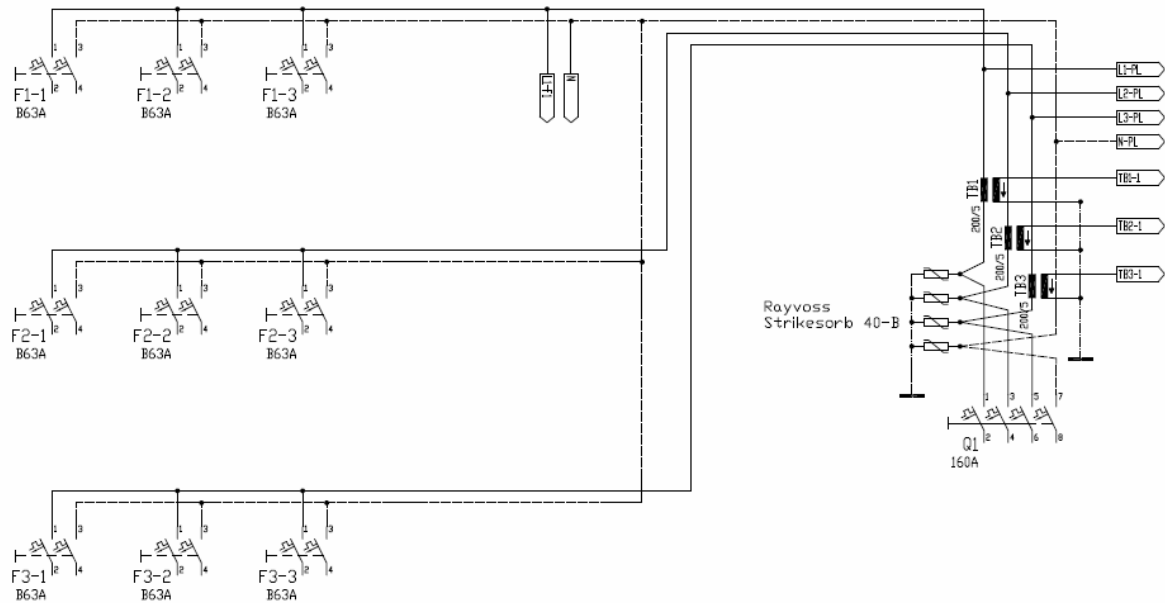
Ο ηλεκτρικός πίνακας για φωτοβολταϊκά πάρκα, έως 150kWp, προϊόν της Εγνατία ΤΕΛ, αποτελεί τον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού σταθμού.

Τα πεδία θα εγκατασταθούν εντός ανοξείδωτου κελύφους (INOX), το οποίο προσφέρει βαθμό προστασίας IP65. Στο πάτωμα του κελύφους θα προσαρμοστεί αφαιρούμενη πλακέτα με στυπιοθλίπτες για την εξασφάλιση της στεγανής εισόδου των καλωδίων.

11.2 Διακοπτικό πεδίο διανομής φάσεων

Το πεδίο αυτό αναλαμβάνει να συγκεντρώσει τα AC καλώδια που μεταφέρουν την ενέργεια από τους αντιστροφείς και μέσω ενός

μικροαυτόματου να τα ομαδοποιήσει σε 3 φάσεις. Εν συνεχεία οι 3 φάσεις οδηγούνται στον γενικό διακόπτη του πίνακα ο οποίος διαστασιολογήθηκε βάσει των προδιαγραφών της ΔΕΗ και στον οποίο θα συνδεθεί το κεντρικό καλώδιο σύνδεσης με τον μετρητή. Πριν τον διακόπτη θα συνδεθεί σύστημα απαγωγής υπερτάσεων Rayvoss Strikesorb40. Το σύστημα αυτό προσφέρει στάθμη προστασίας στα 0.8kV με κρουστικό ρεύμα υπέρτασης μέχρι 140kA. Το σύστημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση μετά την απαλοιφή της υπέρτασης.



Διακοπτικό πεδίο κεντρικού πίνακα



Εσωτερικό 3-φασικού πίνακα

12. Φωτογραφίες Έργου







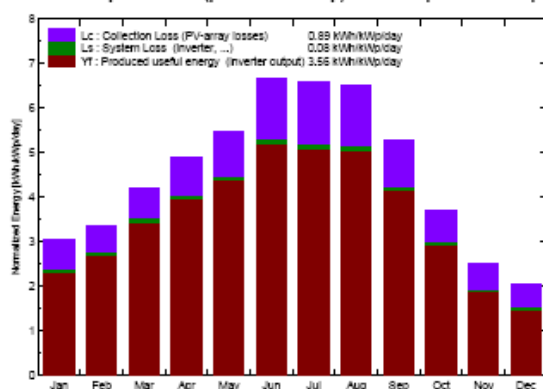
13. Ενεργειακή Εκτίμηση

Main simulation results System Production

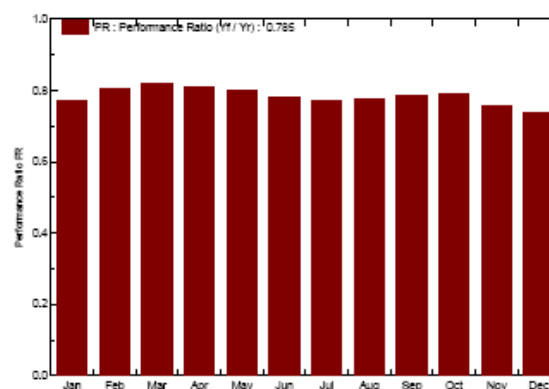
Produced Energy 131 MWh/year
Performance Ratio PR 78.5 %

Specific 1299 kWh/kWp/year

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



Performance Ratio PR



Papapanagiotou Serres Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	EOutInv kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	60.5	11.78	94.2	83.8	7486	7311	10.80	10.55
February	70.5	10.86	93.8	87.3	7800	7613	11.30	11.03
March	110.9	11.59	130.8	123.4	11045	10792	11.48	11.22
April	140.1	13.74	146.8	138.2	12265	11979	11.36	11.10
May	173.5	17.96	170.2	160.1	14024	13708	11.20	10.95
June	212.4	22.99	199.7	188.9	16133	15761	10.99	10.73
July	213.4	26.18	204.1	193.4	16249	15878	10.82	10.58
August	193.9	26.75	201.6	191.0	16116	15758	10.87	10.63
September	136.1	23.81	159.0	150.4	12842	12552	10.98	10.73
October	90.5	19.87	114.9	107.6	9365	9147	11.08	10.82
November	54.6	15.90	75.1	68.2	5879	5729	10.65	10.38
December	43.8	13.89	63.0	55.7	4792	4665	10.35	10.07
Year	1500.0	17.97	1653.3	1547.9	133995	130894	11.02	10.77

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

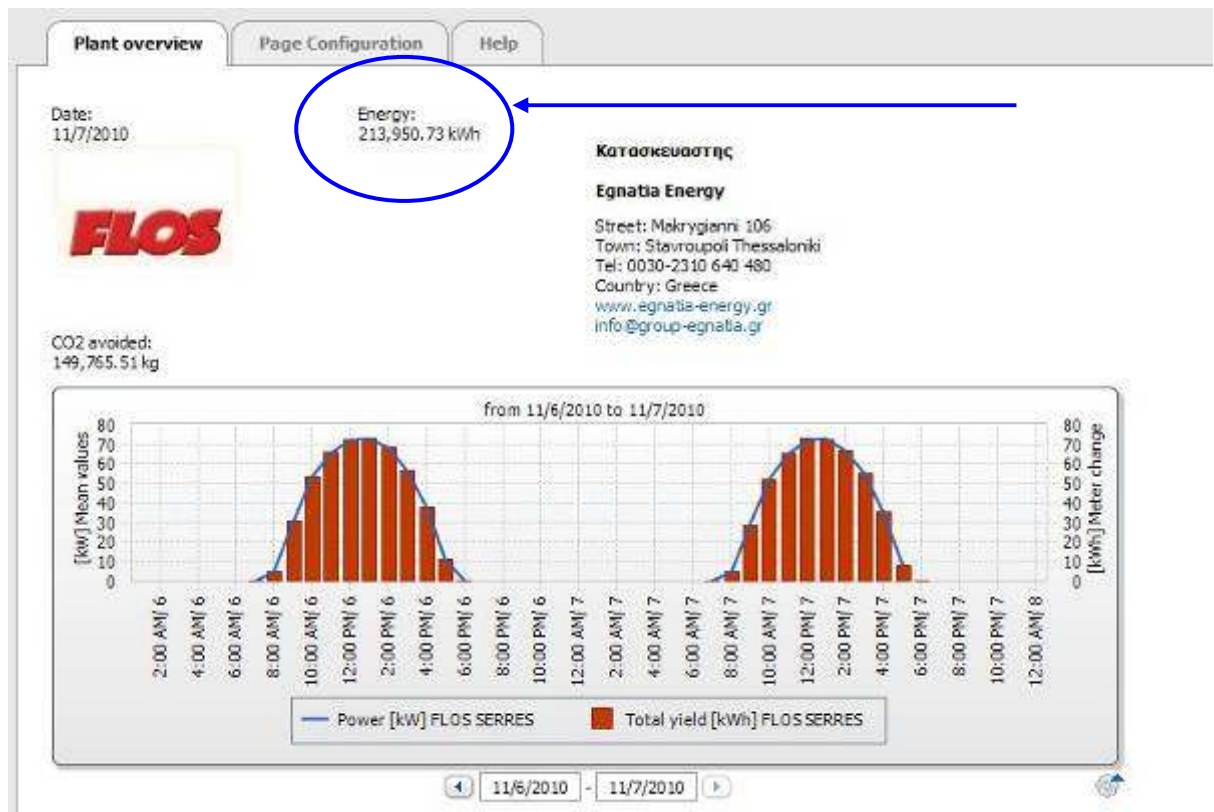
Ενεργειακή Εκτίμηση



Ετήσια Παραγωγή 2010 ανά μήνα

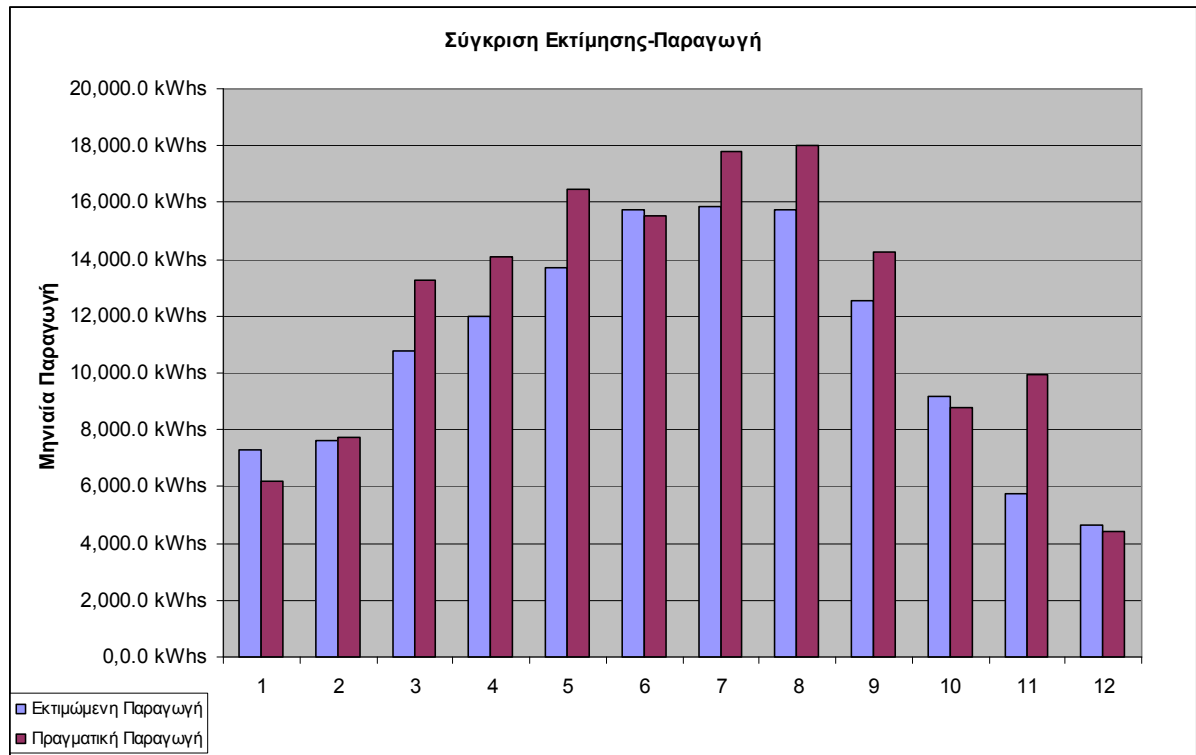


Μηνιαία Παραγωγή Ιουνίου 2010 ανά ημέρα



Συνολική Παραχθείσα ενέργεια από 11/06/2009

14. Σύγκριση Εκτίμησης-Παραχθείσας Ενέργειας



Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, πλην ελαχίστων μηνών (Ιαν, Δεκ) οι υπόλοιποι μήνες έχουν θετικότερη απόδοση από την εκτιμώμενη. Στην περίπτωση του έργου στην Βι.Πε. Σερρών η διαφορά για το έτος 2010 κυμάνθηκε σε απόλυτα νούμερα σε 15.631 kWhs δηλαδή σε διαφορά 11,92%.

Η διαφορά αυτή οφείλεται στο ότι τα λογισμικά που επικρατούν στην αγορά τείνουν αλλά απέχουν στο να προσομοιώνουν τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στην διάρκεια του έτους και είναι δύσκολο να προσμετρηθούν. Παράμετροι όπως:

- Μικροκλίμα περιοχής που χαρακτηρίζεται από:
 - ο Διαύγεια ατμόσφαιρας.
 - ο Βροχοπτώσεις.
 - ο Συντελεστής διάχυτου φωτός (Albedo).
 - ο Ύπαρξη ανέμων τοπικού χαρακτήρα.
- Βάση μετεωρολογικών δεδομένων.
- Ηλεκτρολογικές λεπτομέρειες εγκατάστασης.

Μπορούν να διαφοροποιούν σε μεγάλο βαθμό την πραγματική από την εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας και για τούτο θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά την φάση του σχεδιασμού – υλοποίηση.

ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕΤΑΡΤΗ

Τεχνική Ανάλυση Κατασκευής Φωτοβολταϊκού Σταθμού με Κινητές Βάσεις
(Trackers) Ισχύος 99,9 kWp
Επιμέλεια Μάνθος Τόλης
Μηχανολόγος Μηχανικός

Τεχνική Ανάλυση Κατασκευής Φωτοβολταϊκού Σταθμού με Κινητές Βάσεις (Trackers) Ισχύος 99,9 kWp

1. Γενικά

Σο παράδειγμα που ακολουθεί θα μελετήσουμε όλα τα στάδια που ακολουθήθηκαν μετά την ολοκλήρωση της αδειοδοτικής διαδικασίας μέχρι την ολοκλήρωση του έργου και την σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης θα εξετάσουμε χρηματοοικονομικά την κατασκευή του πάρκου όπως επίσης και τα αποτελέσματα χρήσης μετά από ένα πλήρες έτος λειτουργίας και θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα αυτά με τα αποτελέσματα που προϋπολογίστηκαν μέσω προγραμμάτων προσομοίωσης.

Τα στάδια κατασκευής του έργου μπορούν να συνοψιστούν όπως παρακάτω:

A. Επιλογή υλικών.

B. Μελέτη εφαρμογής:

B1. Χωροταξική διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

B2. Ομαδοποίηση των Φ/Β πλαισίων.

B3. Σχεδιασμός καλωδιώσεων.

B4. Διαστασιολόγηση καλωδιώσεων.

B5. Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση των βοηθητικών εγκαταστάσεων.

B6. Αντικεραυνική προστασία.

Γ. Χωματουργικές και Οικοδομικές Εργασίες, Εργασίες περίφραξης.

Δ. Τοποθέτηση καλωδιώσεων-Γειώσεων- Αντικεραυνικής Προστασίας.

Ε. Συναρμολόγηση Βάσεων.

Ζ. Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων και Αντιστροφών.

Η. Τοποθέτηση πινάκων και Συνδέσεις.

Θ. Κατασκευή Βοηθητικών εγκαταστάσεων:

Θ1. Σύστημα τηλεπαρακολούθησης-τηλεμετρίας.

Θ2. Σύστημα καταγραφής Μετεωρολογικών δεδομένων.

Θ3. Σύστημα Συναγερμού.

Θ4. Κλειστό κύκλωμα Τηλεόρασης.

Θ5. Μετάδοση δεδομένων.

Ι. Κατασκευή Αλεξικέραυνου.

Κ. Δοκιμές, Δήλωση ετοιμότητας.

Λ. Παράδοση σε λειτουργία.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε αναλυτικά όλα τα παραπάνω στάδια.

2. Μελέτη εφαρμογής

2.1 Δεδομένα έργου

Το έργο το οποίο θα μελετήσουμε είναι ισχύος 99,9 KWp βάσει της άδειας από την ΡΑΕ και η θέση εγκατάστασης είναι στην περιοχή της Άρτας. Το διαθέσιμο για την εγκατάσταση γήπεδο είναι 7.700m².

Η επιλογή της τεχνολογίας των υλικών έγινε από τον ιδιοκτήτη του φωτοβολταϊκού σταθμού και περιλαμβάνει τεχνολογία κινητών βάσεων με Φ/Β πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Σε ότι αφορά τα Φ/Β πλαίσια επιλέχθηκαν, πολυκρυσταλλικού πυριτίου ονομαστικής ισχύος 225 Wp. Έτσι για το συγκεκριμένο έργο απαιτούνται $99.900:225=444$ τεμάχια Φ/Β πλαισίων, διαστάσεων 1650X990 mm.

Για το έργο αυτό επιλέχθηκε κινητή βάση η οποία θα κινείται μέσω ηλεκτροκινητήρων 24V DC τα δε δεδομένα θέσης θα ελέγχονται από αισθητήρα ακτινοβολίας ο οποίος θα οδηγεί την κινητή βάση στο σημείο μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης οι κινητές βάσεις συνδέονται με αισθητήρα ταχύτητας ανέμου ώστε να φέρουν τα πλαίσια σε οριζόντια θέση όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα κρίσιμο για την αντοχή τους σημείο, όπως ορίζει ο κατασκευαστής τους. Επιπλέον μια βοηθητική πηγή ενέργειας θα πρέπει να συνδεθεί παράλληλα με την κύρια ώστε να είναι εφικτή η λειτουργία οριζοντίωσης των πλαισίων σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης από το δίκτυο της ΔΕΗ.

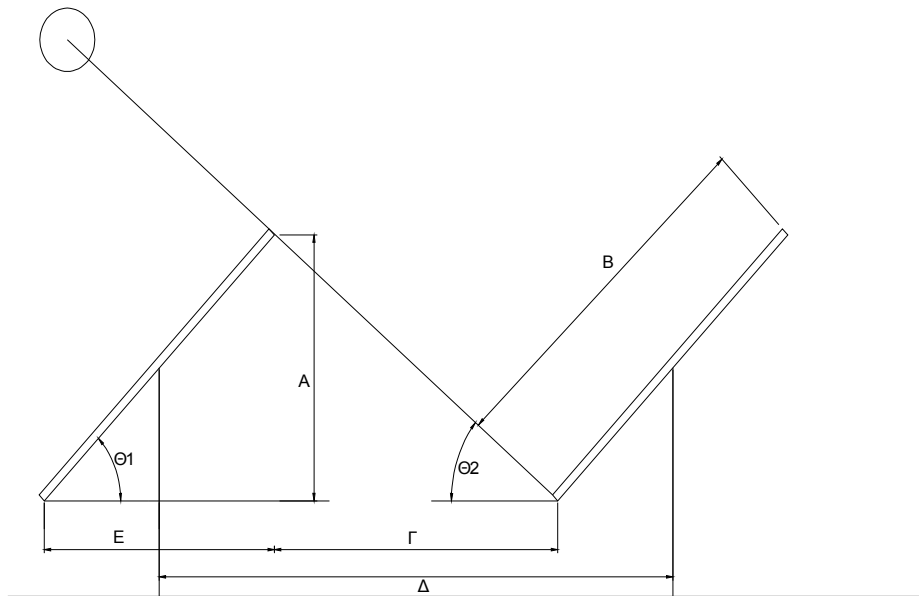
Κάθε κινητή βάση έχει τη δυνατότητα σύνδεσης έως 46 τεμάχια Φ/Β πλαισίων διάστασης όπως τα επιλεχθέντα. Έτσι θα χρησιμοποιηθούν 10 τεμάχια κινητών βάσεων στις οποίες θα κατανείμουμε κατά το δυνατόν ομοιόμορφα τα Φ/Β πλαίσια. Έτσι σε 6 βάσεις θα τοποθετηθούν 44 Φ/Β πλαίσια συνολικής ισχύος 9.900 Wp και σε τέσσερις βάσεις θα τοποθετηθούν 45 Φ/Β πλαίσια συνολικής ισχύος 10.125 Wp.

Για την επιλογή των αναστροφών αποφασίστηκε η επιλογή από 10 τεμάχια τριφασικών αναστροφών ονομαστικής ισχύος 10KW και ονομαστικής ισχύος DC 10.500 W. Η επιλογή έγινε με γνώμονα την απλοποίηση της εγκατάστασης μιας και θα απαιτείται ένας αναστροφέας ανά κινητή βάση, ο οποίος θα τοποθετηθεί πάνω σ' αυτή. Με τον τρόπο αυτό θα ελαχιστοποιήσουμε τις απώλειες μεταφοράς στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος. Επιπλέον η επιλογή τριφασικού αναστροφέα μας εξασφαλίζει ισοκατανομή φορτίου στις φάσεις, ασχέτως του αριθμού των αντιστροφών (αν και ανισοκατανομή φορτίου έως 20% είναι αποδεκτή από την ΔΕΗ).

2.2 Χωροταξική διάταξη των βάσεων.

Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγή ενέργειας από τον Φ/Β σταθμό είναι τα φαινόμενα σκίασης. Έτσι λοιπόν θα πρέπει να τοποθετηθούν οι βάσεις σε τέτοια απόσταση η μια από την άλλη, ώστε να αποφεύγονται τα μεταξύ τους φαινόμενα σκίασης. Θα πρέπει να λάβουμε

υπόψην ότι θεωρητικά κατά τη δύση του ηλίου η σκιά ενός αντικειμένου εκτείνεται, εάν ο ήλιος δύει οριζόντια στη θάλασσα, στο άπειρο.



Διάταξη Κινητών Βάσεων

Για το λόγο αυτό η βέλτιστη τεchnοοικονομικά απόσταση μεταξύ των δύο βάσεων δίνεται στο παραπάνω σχήμα όπου η γωνία β° μεταβάλλεται με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Έτσι, λοιπόν βάσει του σχήματος και για μέγιστη γωνία κατακόρυφης κλίσης των πλαισίων τις 75° (από τα δεδομένα του κατασκευαστή) η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των Φ/Β πλαισίων των βάσεων υπολογίζεται ως εξής:

$$\Theta_1 = 75^\circ$$

$$B = 3,01\text{m}.$$

(Στη βάση που επιλέχθηκε, τοποθετούνται τρεις σειρές πλαίσια σε οριζόντια διάταξη. Ενδιάμεσα στα πλαίσια προβλέπεται και το κενό που δημιουργούν τα εξαρτήματα συγκράτησης τους και είναι 2 cm. Έτσι έχουμε $B = 3 \times 0,99 + 0,02 + 0,02 = 3,01\text{m}$).

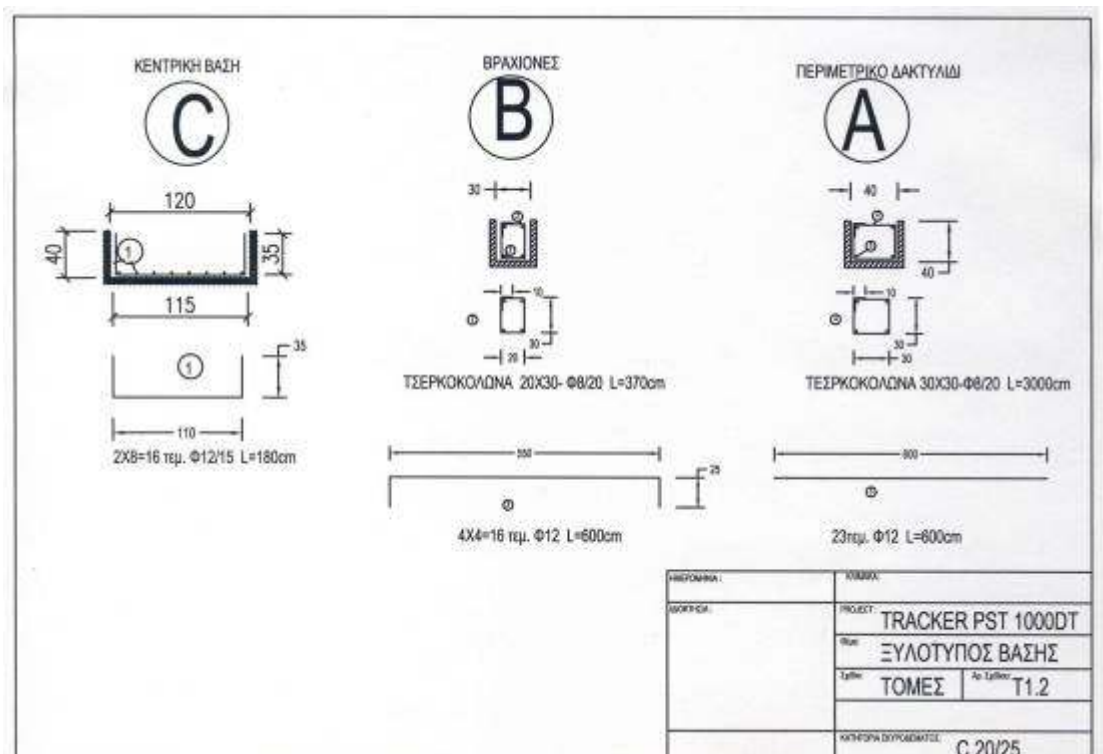
$$\Theta_2 = 25,65^\circ \text{ (Για την περιοχή της Άρτας)}$$

$$\text{Έτσι λοιπόν } A = B \cdot \sin(\Theta_1) = 2,91 \text{ m και } \Gamma = A / \tan(\Theta_2) = 6,05 \text{ m}.$$

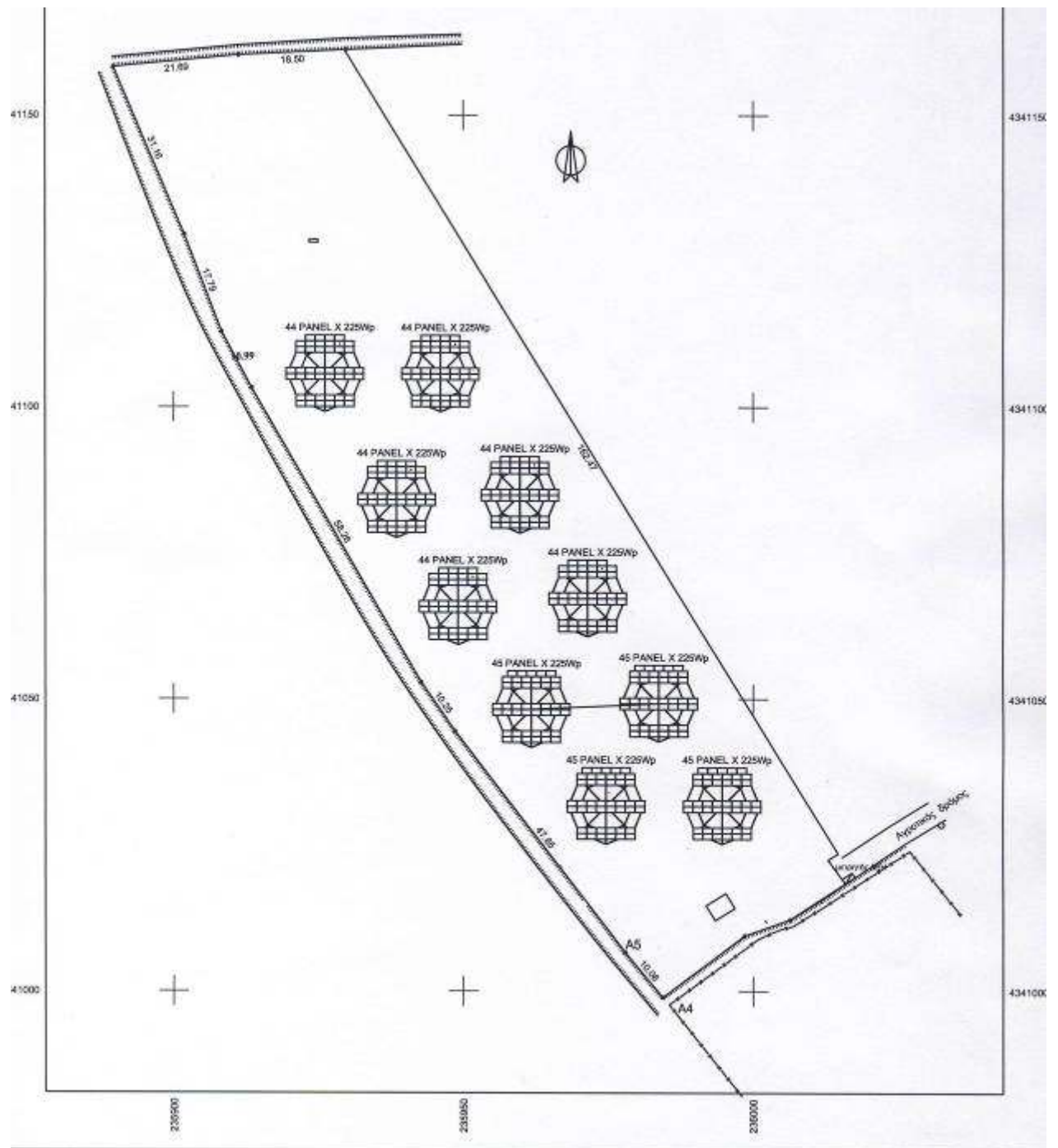
Από τα παραπάνω καταλήγουμε πως η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κινητών βάσεων είναι 6,05 m.

Η διάμετρος περιστροφής των κινητών βάσεων είναι 15,6. Έτσι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των κέντρων των κινητών βάσεων είναι 21,65 m.

Κατόπιν αυτών ορίζουμε τη χωροταξική διάταξη των βάσεων πάνω στο χώρο του γηπέδου. Τα σχέδια και η ξυλότυπος του οικοδομικού μέρους των βάσεων μας δόθηκαν από τον κατασκευαστή των βάσεων, όπως παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.

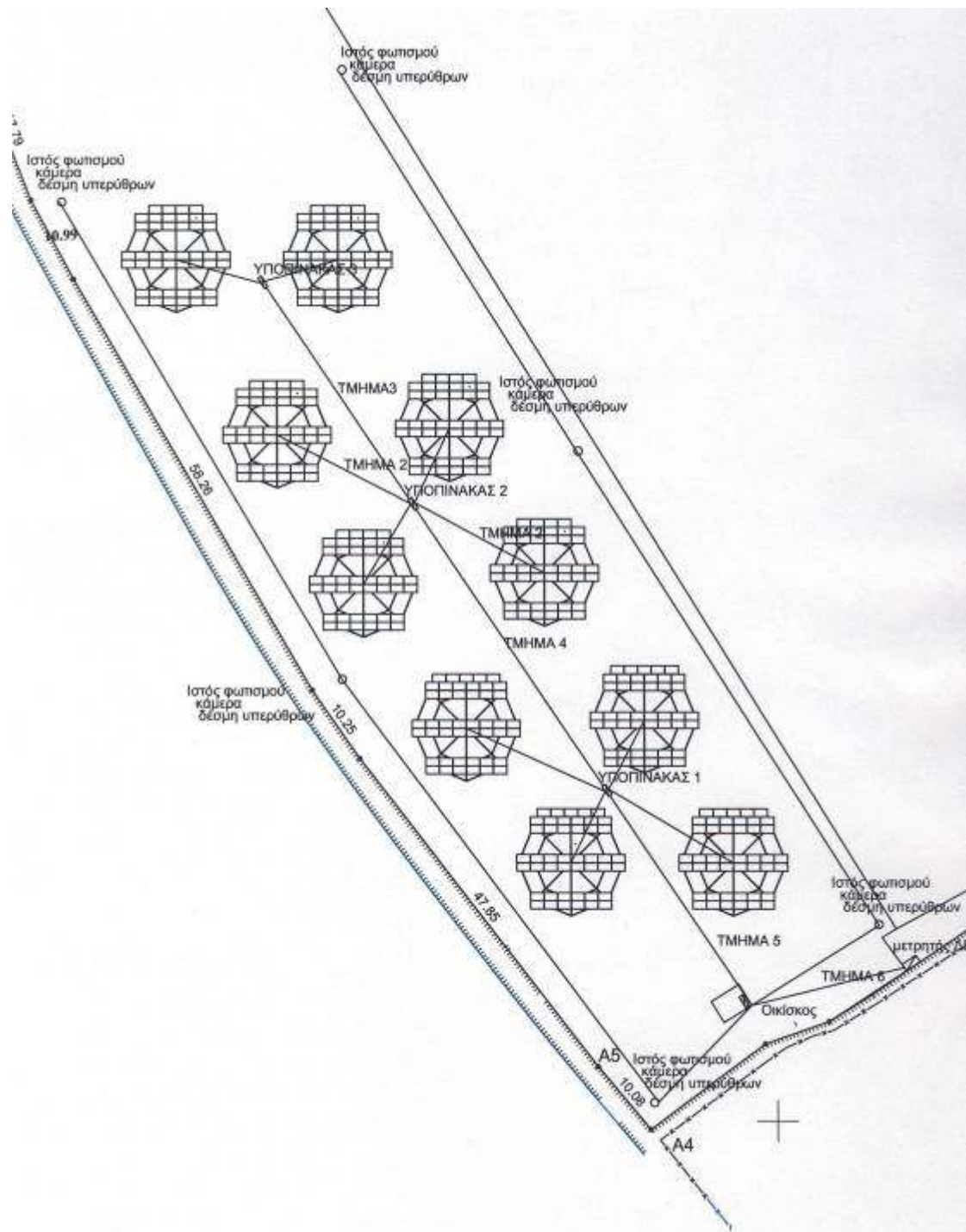


Ξυλότυπος Βάσεων



Σχήμα 4

Διάταξη Βάσεων



Σχεδιάγραμμα Καλωδιώσεων

2.3 Σχεδιασμός καλωδιώσεων

Στην παράγραφο αυτή θα σχεδιάσουμε την όδευση των καλωδιώσεων κύριων και βοηθητικών. Βασικό κριτήριο για τον σχεδιασμό αυτό είναι οι μικρότερες κατά το δυνατό αποστάσεις.

Έτσι για τις καλωδιώσεις των αντιστροφέων (inverters) επιλέχθηκε η όδευση κεντρικής καλωδίωσης από τον μετρητή της ΔΕΗ μέχρι τον γενικό πίνακα που τοποθετήθηκε εντός του οικίσκου. Στη συνέχεια αγωγός οδεύει προς τον υποπίνακα No 1 (Σχεδιάγραμμα Καλωδιώσεων). Από τον

υποπίνακα No 1 αναχωρούν οδεύσεις προς τους 4 πρώτους Inverters, όπως επίσης και αγωγός που οδεύει προς τον υποπίνακα No 2. Από τον υποπίνακα No 2 αναχωρούν οδεύσεις προς τους 4 επόμενους Inverters, όπως επίσης και αγωγός που οδεύει προς τον υποπίνακα No 3. Από τον υποπίνακα No 3 αναχωρούν οδεύσεις προς τους 2 τελευταίους Inverters.

Για την τροφοδοσία των κινητών βάσεων (trackers), από τον Γενικό πίνακα αναχωρεί μια κεντρική τριφασική γραμμή. Η πρώτη φάση καταλήγει στον υποπίνακα No 1 ώστε να τροφοδοτεί τα 4 πρώτα trackers. Η δεύτερη φάση καταλήγει στον υποπίνακα No 2 ώστε να τροφοδοτεί τα 4 επόμενα trackers και η τρίτη φάση καταλήγει στον υποπίνακα No 3 ώστε τροφοδοτεί τα 2 τελευταία trackers.

2.4 Ομαδοποίηση Φ/Β πλαισίων

Για την ομαδοποίηση των πλαισίων καθοριστικός παράγοντας είναι τα χαρακτηριστικά των πλαισίων (τάσης και έντασης) όπως επίσης και τα χαρακτηριστικά των αντιστροφών.

Στο συγκεκριμένο έργο οι αντιστροφείς που χρησιμοποιούμε έχουν την δυνατότητα σύνδεσης πλαισίων με τάση εισόδου 250~600 V και μέγιστη ένταση 45 A. Σε ότι αφορά τα πλαίσια τα χαρακτηριστικά τους είναι:

- Ονομαστική ισχύς 220 Wp.
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος 36,5 V.
- Ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης 8,3 A.
- Τάση λειτουργίας 28,9 V.
- Ένταση ρεύματος λειτουργίας 7,6 A.

Για την ομαδοποίηση των πλαισίων και την δημιουργία των string (αριθμός πλαισίων συνδεδεμένων στη σειρά) λαμβάνουμε υπ' όψιν τους εξής παράγοντες:

-Στον ίδιο αναστροφέα φροντίζουμε να δημιουργούμε ομάδες με τον ίδιο αριθμό πλαισίων έτσι ώστε να έχουμε στα άκρα κάθε string την ίδια τάση. Να σημειώσουμε εδώ ότι υπάρχουν inverters στην αγορά, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να συνδέονται με δύο διαφορετικές σε αριθμό πλαισίων συστοιχίες.

- Τα string που θα δημιουργήσουμε θα πρέπει να έχουν τάση στα άκρα τους (τάση ανοιχτού κυκλώματος) που να βρίσκεται εντός των ορίων λειτουργίας του αναστροφέα.

- Η τάση στα άκρα κάθε string προσπαθούμε να πλησιάζει κατά το δυνατό στα υψηλότερα όρια του εύρους λειτουργίας του αναστροφέα. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνουμε καλύτερη απόδοση του συστήματος λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι η χαμηλότερη ακτινοβολία δημιουργεί χαμηλότερη τάση στα Φ/Β πλαίσια. Μειούμενη όμως η τάση στα άκρα των strings κάτω από ένα κρίσιμο όριο, χαρακτηριστικό για κάθε αναστροφέα, αυτός τίθεται εκτός λειτουργίας. Έτσι λοιπόν όσο πιο μεγάλη είναι η τάση λειτουργίας έπειτα από την ομαδοποίηση, τόσο πιο χαμηλή θα είναι η κρίσιμη ακτινοβολία που θα θέτει εκτός λειτουργίας τον αναστροφέα.

- Η ομαδοποίηση θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερβαίνουμε την μέγιστη ένταση που ορίζει ο κατασκευαστής των αναστροφών.

- Η ονομαστική ισχύς εισόδου συνεχούς ρεύματος δίνεται από τον κατασκευαστή. Όλοι οι αναστροφείς έχουν την δυνατότητα υπερφόρτισης σε ποσοστό που στους περισσότερους κατασκευαστές είναι 20%. Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη εδώ κατά το σχεδιασμό ότι υπερφόρτιση πάνω από το 110% εγκυμονεί πάρα πολλούς κινδύνους να τίθεται συχνά εκτός λειτουργίας ο αναστροφέας (λόγω λειτουργίας εκτός ορίων), ιδιαίτερα τις ημέρες με ηλιοφάνεια και χαμηλές θερμοκρασίες.

Βάσει των παραπάνω και για το έργο το οποίο εξετάζουμε έχουμε να ομαδοποιήσουμε 6 αναστροφείς με 44 πλαίσια ο καθένας και 4 αναστροφείς με 45 πλαίσια ο καθένας.

Επιλέγουμε λοιπόν για τους αναστροφείς με τα 44 πλαίσια, 4 strings των 11 πλαισίων σε σειρά και για τους αναστροφείς με τα 45 πλαίσια, 3 strings των 15 πλαισίων σε σειρά. Η τάση στα άκρα των strings θα είναι $11 \times 36,5 = 401,5 \text{ V}$ και $15 \times 36,5 = 547,5 \text{ V}$ αντίστοιχα, η δε ένταση θα είναι $4 \times 7,6 = 30,4 \text{ A}$ και $3 \times 7,6 = 22,8 \text{ A}$.

2.5 Διαστασιολόγηση καλωδιώσεων

2.5.1 Καλωδιώσεις Φ/B εγκατάστασης

Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στην διαστασιολόγηση των καλωδιώσεων λαμβάνοντας υπόψη την εγκατεστημένη ισχύ και την συνολική πτώση τάσεως η οποία δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 1.5%. Έτσι λοιπόν έχοντας σαν δεδομένα τα σημεία παραγωγής ενέργειας, και τους κόμβους που είναι οι υποπίνακες όπως και ο γενικός πίνακας (σχεδιάγραμμα καλωδιώσεων) έχουμε:

Τμήμα 1. Φωτοβολταϊκά πλαίσια-αναστροφείς:

Φωτοβολταϊκά πλαίσια με κύκλωμα συνεχούς ρεύματος. Για τους έξι αναστροφείς έχουμε τάση 401,5 V ένταση 7,6 A και τέσσερα κυκλώματα των 15 m το κάθε ένα. Για τους υπόλοιπους 4 έχουμε τάση 547,5 V ένταση 7,6 A και τρία κυκλώματα των 15 m το κάθε ένα.

Τμήμα 2. Αναστροφείς-Υποπίνακες:

Στο τμήμα αυτό έχουμε τάση 380 V (τριφασικοί αναστροφείς), ένταση 15,2 A ($\frac{10.000 \text{ W}}{380 \times \sqrt{3}}$) και μήκη 15 m για τον υποπίνακα 3, και 2 τμήματα των 20 m και 2 των 25 m για τους υποπίνακες 1 και 2.

Τμήμα 3. Υποπίνακας 3- Υποπίνακας 2:

Στο τμήμα αυτό έχουμε τάση 380 V, ένταση 30,4 A ($2 \times 10.000 \text{ W}$) και μήκος 45 m.

Τμήμα 4. Υποπίνακας 2- Υποπίνακας 1:

Στο τμήμα αυτό έχουμε τάση 380 V, ένταση 91,2 A (**6X10.000W**) και μήκος 40 m.

Τμήμα 5. Υποπίνακας 1- Γενικός Πίνακας:

Στο τμήμα αυτό έχουμε τάση 380 V, ένταση 152 A (**10X10.000W**) και μήκος 40 m.

Τμήμα 6. Γενικός Πίνακας-Μετρητής ΔΕΗ:

Στο τμήμα αυτό έχουμε τάση 380 V, ένταση 152 A και μήκος 30 m.

Βάσει των παραπάνω και υπολογίζοντας την πτώση τάσης επιλέγουμε από τους καταλόγους τυποποίησης των καλωδίων:

Τμήμα 1. Τύπος Καλωδίου H07N 6mm² .

Τμήμα 2. Τύπος Καλωδίου NYΥ 5x16mm² .

Τμήμα 3. Τύπος Καλωδίου NYΥ 5x35mm² .

Τμήμα 4. Τύπος Καλωδίου NYΥ 3x70+35+35mm² .

Τμήμα 5. Τύπος Καλωδίου NYΥ 3x120+70+70mm² .

Τμήμα 6. Τύπος Καλωδίου NYΥ 3x120+70+70mm² .

Με την επιλογή αυτή, η συνολική πτώση τάσης ανέρχεται σε 4,256 V ή 1.12%. Να σημειώσουμε στο σημείο αυτό πως για την συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών πλαισίων επιλέχθηκε ο τύπος καλωδίου H07N επειδή τα καλώδια θα είναι εκτεθειμένα στη ηλιακή ακτινοβολία και τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

2.5.2 Καλωδιώσεις κινητών βάσεων

Για την κίνηση των κινητών βάσεων χρησιμοποιούνται κινητήρες συνολικής ισχύος 450 W σε κάθε βάση. Έτσι η συνολική ισχύς των κινητήρων είναι 4500 W.

Οι κινητές βάσεις διαθέτουν διάταξη προστασίας από τα καιρικά φαινόμενα. Έτσι όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί ένα κρίσιμο μέγεθος που ορίζει ο κατασκευαστής οι κινητές βάσεις, φέρουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε οριζόντια διάταξη. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εξασφαλίζεται διάταξη συνεχούς ηλεκτρικής τροφοδοσίας ακόμη και στην περίπτωση διακοπής της ηλεκτρικής τροφοδοσίας από το δίκτυο. Για να επιτευχθεί αυτό επιλέγεται η τροφοδοσία να γίνει από ανεξάρτητη γραμμή από το γενικό πίνακα και να τοποθετηθεί διάταξη με παράλληλη σύνδεση ενός UPS ισχύος 6000 VA / 380V. Επιλέγεται η τροφοδοσία να γίνει από ανεξάρτητη γραμμή από το γενικό πίνακα.

Για τον υπολογισμό της καλωδίωσης και με περιορισμό η πτώση τάσης να μην υπερβαίνει το 2,5% , θα τοποθετηθεί η κεντρική γραμμή με καλωδίωση NYΥ 5X4 mm² , ενώ από τους υποπίνακες προς τις κινητές βάσεις NYΥ 3X1,5 mm².

2.5.3 Καλωδιώσεις περιμετρικού φωτισμού

Για τον περιμετρικό φωτισμό προβλέπεται η τοποθέτηση 8 προβολέων LED ισχύος 30 W έκαστος όπως παρουσιάζονται στο σχεδιάγραμμα καλωδιώσεων. Για το σκοπό αυτό θα τοποθετηθούν από το γενικό πίνακα δύο γραμμές που θα οδεύσουν περιμετρικά με καλώδιο NYG 3X2,5 έκαστη.

2.5.4 Καλωδιώσεις συστήματος καμερών

Για την πλήρη εποπτεία του χώρου προβλέπεται η τοποθέτηση 8 καμερών όπως παρουσιάζονται στο σχεδιάγραμμα καλωδιώσεων. Για την καλωδίωση τους θα χρησιμοποιηθεί για κάθε κάμερα ομοαξονικό καλώδιο RG 57 με ενσωματωμένους αγωγούς για την ηλεκτρική τροφοδοσία τους.

2.5.5 Καλωδιώσεις συστήματος συναγερμού

Για το σύστημα συναγερμού προβλέπονται η τοποθέτηση 6 ανιχνευτών δέσμης υπερύθρων σε ιστούς σε απόσταση 0,8 m εσωτερικά της περιφράξης (σχεδιάγραμμα καλωδιώσεων), δύο μαγνητικών επαφών στην θύρα της περιφράξης και στη θύρα του οικίσκου, ενός ανιχνευτή κίνησης εντός του οικίσκου και μιας σειρήνας που θα τοποθετηθεί στο εξωτερικό μέρος του οικίσκου. Για το σκοπό αυτό προβλέπεται η περιμετρική τοποθέτηση εκατέρωθεν του οικίσκου γραμμές από δύο καλωδίων 4 X 0,25 mm² (UTP).

2.5.6 Καλωδιώσεις συστήματος τηλεπαρακολούθησης

Για το σύστημα τηλεπαρακολούθησης της λειτουργίας των αντιστροφών, ο κατασκευαστής προβλέπει την εν σειρά σύνδεση κεντρικής μονάδας ελέγχου που θα τοποθετηθεί εντός του οικίσκου με τους αντιστροφείς με καλώδιο UTP και μέγιστο μήκος καλωδίωσης τα 1000 m.

2.5.7 Καλωδιώσεις συστήματος προστασίας κινητών βάσεων

Για το σύστημα προστασίας των κινητών βάσεων θα τοποθετηθεί σε σημείο κοντά στον οικίσκο διάταξη μέτρησης της ταχύτητας του αέρα, η οποία θα συνδεθεί όπως προβλέπει ο κατασκευαστής παράλληλα με όλες τις κινητές βάσεις με καλωδίωση NYG 2X1 mm².

2.5.8 Καλωδιώσεις μετεωρολογικού σταθμού

Για τον μετεωρολογικό έλεγχο του πάρκου προβλέπεται η τοποθέτηση και σύνδεση των ακόλουθων αισθητηρίων με την κεντρική μονάδα που θα τοποθετηθεί εντός του οικίσκου:

- Αισθητήριο θερμοκρασίας περιβάλλοντος, που θα τοποθετηθεί στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου με καλωδίωση 2X1 mm².
- Αισθητήριο ταχύτητας ανέμου, που θα τοποθετηθεί στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου με καλωδίωση 2X1 mm².

- Αισθητήριο θερμοκρασίας φωτοβολταϊκών πλαισίων, που θα τοποθετηθεί στο πίσω μέρος στο πλησιέστερο φωτοβολταϊκό πλαίσιο με καλωδίωση $2 \times 1 \text{ mm}^2$.
- Αισθητήριο ηλιακής ακτινοβολίας, που θα τοποθετηθεί παράλληλα με το πλησιέστερο φωτοβολταϊκό πλαίσιο με καλωδίωση $2 \times 1 \text{ mm}^2$.

2.6 Αντικεραυνική προστασία

Για την αντικεραυνική προστασία θα κατασκευαστεί διάταξη προστασίας έναντι άμεσων πληγμάτων και προστασία έναντι κρουστικών υπερτάσεων.

Για την άμεση αντικεραυνική προστασία προβλέπεται η κατασκευή ισοδυναμικού πλέγματος γείωσης με την οποία θα συνδεθούν όλες οι κινητές βάσεις και ο οικίσκος από λάμα χαλκού διαστάσεων $30 \times 2 \text{ mm}^2$, ενώ θα κατασκευαστεί και αλεξικέραυνο με ιστό ύψους 9 m στον οποίο θα τοποθετηθεί κεφαλή τύπου *ruisar* με ακτίνα δράσης 90 m. Στην κεφαλή του αλεξικέραυνου θα συνδεθεί αγωγός καθόδου διαμέτρου 12 mm, ο οποίος θα συνδεθεί με τρίγωνο γείωσης που θα κατασκευαστεί στη βάση του αλεξικέραυνου. Τα ηλεκτρόδια του τριγώνου θα είναι μήκους 2 m το καθένα και θα τοποθετηθούν σε απόσταση 2,5 m. Το σύστημα του αλεξικέραυνου θα συνδεθεί με το πλέγμα ισοδυναμικής γείωσης.

Σε ότι αφορά την προστασία έναντι κρουστικών υπερτάσεων, θα τοποθετηθούν, στις γραμμές DC των φωτοβολταϊκών πλαισίων, απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T1 + T2, ενώ στην γραμμή AC, απαγωγείς υπερτάσεων κατηγορίας T1 + T2 και T3.

3. Χρονοδιάγραμμα κατασκευής.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζουμε το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου με τις προβλεπόμενες εργασίες.

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΡΓΟΥ

ΕΡΓΑΣΙΕΣ / ΗΜΕΡΕΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Χωματουργικές Εργασίες																					
Κατασκευή Βάσεων-Οικοδομικά																					
Κατασκευή περίφραξης																					
Κατασκευή οικίσκου, βοηθ. Εγκ. Οικίσκου																					
Κατασκευή οδεύσεων καλωδίων																					
Τοποθέτηση καλωδίων-γειώσεων																					
Τοποθέτηση Αλεξικέραυνου																					
Συναρμολόγηση κινητών βάσεων																					
Τοποθέτηση φ/Β πλαισίων																					
Τοποθέτηση αναστροφέων																					
Τοποθέτηση πινάκων																					
Συνδέσεις - έλεγχοι																					
Κατασκευή τηλεπαρακ.-μετ.σταθ.																					
Κατασκευή περιμετρικού φωτισμού																					
Κατασκευή συναγερμού																					
Κατασκευή δικτύου καμερών																					
Γενικός έλεγχος. Σύνδεση με το δίκτυο.																					
Ρυθμίσεις.																					
Παράδοση του έργου.																					

4. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΧΩΡΟΥ

4.1 Χωματουργικές εργασίες

Πριν από την έναρξη των εργασιών εγκατάστασης απαιτείται η διαμόρφωση του χώρου. Έτσι προχωρούμε με τη βοήθεια χωματουργικού μηχανήματος, αρχικά στην εκχέρωση του χώρου εγκατάστασης όπως επίσης και στην εξομάλυνση του εδάφους ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή όπως και η λειτουργία των κινητών βάσεων. Στη συνέχεια προχωρούμε στην κατασκευή των βάσεων, την κατασκευή της περίφραξης και την κατασκευή του οικίσκου, την κατασκευή του τοιχίου της μετρητικής διάταξης της ΔΕΗ, τις βάσεις τοποθέτησης των υποπινάκων, την κατασκευή της βάσης του αλεξικέραυνου και την κατασκευή των ιστών στήριξης των καμερών, φωτισμού και αισθητήρων συναγερμού. Πριν την κατασκευή ξυλοτύπων κάνουμε τις απαραίτητες εκσκαφές.

4.2 Κατασκευή οικοδομικού μέρους κινητών βάσεων

Για την κατασκευή των βάσεων αυτών ο κατασκευαστής των βάσεων δεν προβλέπει εκσκαφές. Παράλληλα λόγω της κυκλικής του μορφής χρησιμοποιείται μεταλλικό καλούπι για την διαμόρφωση. Για την όδευση των καλωδίων στο κέντρο της βάσης όπου θα τοποθετηθεί ο αναστροφέας και ο πίνακας ελέγχου της κινητής βάσης τοποθετούμε εύκαμπτους αγωγούς (σπιράλ) για την όδευση των καλωδίων έναν για τα ισχυρά και έναν για τα ασθενή ρεύματα (κύκλωμα τηλεπαρακολούθησης διάταξη προστασίας της βάσης από ανέμους, αισθητήρια θερμοκρασίας πλαισίων και ηλιακής ακτινοβολίας). Για τον σκοπό αυτό κάνουμε εκσκαφή στενού αυλακιού από το κέντρο της βάσης έως ως το άκρο της και με κατεύθυνση προς τη θέση του υποπίνακα. Στη συνέχεια τοποθετούμε τους εύκαμπτους σωλήνες (αφού ρίξουμε περιμετρικά ψιλή άμμο και ξαναεπιχώνουμε. Τοποθετούμε τα μεταλλικά καλούπια και τοποθετούμε τον οπλισμό που ορίζει ο κατασκευαστής των κινητών βάσεων. Με την ολοκλήρωση κατασκευάζουμε βάση ρίχνοντας σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 όπως ορίζεται στη στατική μελέτη των βάσεων.

4.3 Κατασκευή περίφραξης

Η περίφραξη θα κατασκευαστεί από πλέγμα γαλβανιζέ με άνοιγμα οπής 50X50 mm, πάχους 2.5 mm και ύψους 2 m. Η στήριξη θα γίνει με σωλήνες γαλβανιζέ 1 1/2" μήκους 3 m πακτωμένοι κατά 50 cm εντός της βάσεως. Στην απόληξη της θα είναι κεκλιμένη κατά 40° με φορά προς το πάρκο. Εκεί θα τοποθετηθούν τρεις σειρές αγκαθωτό σύρμα. Ανά δύο σωλήνες θα δημιουργούνται προεντάσεις χιαστί με σύρμα περιφράξεως. Σε κάθε αλλαγή διεύθυνσης, όπως και στα ευθύγραμμα τμήματα της περίφραξης και ανά 40 m μήκους θα τοποθετηθούν κολώνες από κοιλοδοκό 120X120X6 mm και μήκους 3 m οι οποίοι θα τοποθετηθούν εντός πέλματος από σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 0,3 m³. Στις κολώνες όπως και στους σωλήνες θα τοποθετηθούν πλαστικές τάπες στις απολήξεις τους. Για την στήριξή της θα κατασκευαστεί βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20. Ο οπλισμός θα φέρει δύο τεμάχια σίδερα Φ8 και πλέγμα. Οι διαστάσεις της βάσης θα είναι 30X20 cm και θα ενταφιαστεί κατά 10 cm. Θα κατασκευαστεί

συρόμενη τύπου ΑΣΚΟ από δομικό χάλυβα κατά EN 10025 διαστάσεων 2000X5000 mm αποτελούμενη από περιμετρικό κοιλοδοκό 100X40X3 με τρεις φάσες 80X40X2 ο με ράουλα και υποδοχή για κλείσιμο.

4.4 Κατασκευή βάσεων υποπινάκων

Πριν την κατασκευή των βάσεων θα κατασκευαστούν φρεάτια στο πίσω μέρος της βάσης, όπου θα καταλήγουν οι καλωδιώσεις από τις κινητές βάσεις. Οι βάσεις θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 διαστάσεων 40x70x130 και θα κατασκευαστούν ενταφιασμένοι κατά 10 cm. Πριν την εφαρμογή του σκυροδέματος, τοποθετούμε εύκαμπτους σωλήνες που καταλήγουν στο φρεάτιο για την όδευση των καλωδίων από τους υποπίνακες στο φρεάτιο.

4.5 Κατασκευή βάσης οικίσκου

Για την κατασκευή της βάσης του οικίσκου ακολουθείται η ίδια φιλοσοφία με την κατασκευή των βάσεων των υποπινάκων. Έτσι κατασκευάζουμε βάση 3,5X4,5X0,3 m ενταφιασμένη κατά 10 cm και δύο φρεάτια εκατέρωθεν της βάσης.

4.6 Κατασκευή βάσης αλεξικέραυνου

Σύμφωνα με τις οδηγίες του προμηθευτή του ιστού του αλεξικέραυνου, γίνεται εκσκαφή τάφρου 1X1X0,9 m και κατασκευάζεται βάση διαστάσεων 1X1X1 m. Για την κατασκευή χρησιμοποιείται ο οπλισμός που προδιαγράφεται από τον κατασκευαστή του ιστού, κατασκευάζεται ο ξυλότυπος ώστε να εξέχει από το έδαφος 10 cm και τοποθετείται η αγκύρωση και το σκυρόδεμα.

4.7 Κατασκευή τοιχίου τοποθέτησης μετρητικής διάταξης.

Η κατασκευή γίνεται σύμφωνα με το έντυπο επισκόπησης της ΔΕΗ. Κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα και δίπλα του κατασκευάζεται φρεάτιο για την όδευση των καλωδίων.

4.8 Κατασκευή ιστών καμερών – φωτισμού.

Στα σημεία τοποθέτησης των ιστών, τοποθετούνται ιστοί από γαλβανιζέ 2” και μήκους 3 m. Πακτώνονται στο έδαφος και παράλληλα για την σταθεροποίησή τους, γίνεται και ενίσχυση με σκυρόδεμα. Για την όδευση των καλωδίων εμπρός από κάθε ιστό τοποθετείται φρεάτιο.

4.9 Τοποθέτηση Καλωδιώσεων.

Για την τοποθέτηση των καλωδιώσεων ανοίγονται τάφροι στα σημεία όδευσης των καλωδιώσεων που καταλήγουν στα φρεάτια που έχουν κατασκευαστεί. Εντός των τάφρων τοποθετούνται σωλήνες pvc (ένας για τα ισχυρά και ένας για τα ασθενή ρεύματα) και αφού περιβληθούν με ψιλή άμμο επιχώνονται ξανά. Εντός τάφρων (με επίχωση μόνο) τοποθετούνται και οι αγωγοί γειώσεων όπως και οι αγωγοί του πλέγματος της

αντικεραυνικής προστασίας. Στη συνέχεια τοποθετούνται οι καλωδιώσεις σύμφωνα με την μελέτη εφαρμογής.

4.10 Συναρμολογηση Βάσεων.

Οι βάσεις συναρμολογούνται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Λόγω του χαμηλού ύψους τους, είναι δυνατή η εύκολη τοποθέτηση των πλαισίων σε πλήρως συναρμολογημένη βάση. Έτσι μετά την συναρμολόγηση των βάσεων τοποθετούνται οι κινητήρες τους, ο πίνακας ελέγχου και γίνονται οι ηλεκτρολογικές συνδέσεις των κινητήρων και του αισθητήρα κίνησης.

4.11 Τοποθέτηση Φ/Β Πλαισίων και Αντιστροφών.

Για την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει πρώτα να γίνει ομαδοποίηση. Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο πως ομαδοποιούμε τα πλαίσια σε strings. Από την κατασκευή του όμως κάθε πάνελ έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά τάσης και έντασης. Τα χαρακτηριστικά αυτά προκύπτουν από έλεγχο ένα προς ένα στο εργοστάσιο κατασκευής. Τα αποτελέσματα του ελέγχου (flashing report) συνοδεύουν τα πάνελ και παραδίδονται στον εγκαταστάτη από τον προμηθευτή. Είναι προφανές ότι σε ένα string, το πάνελ που έχει σαν χαρακτηριστικό τη μικρότερη σε ένταση ρεύματος θα καθορίσει και την ένταση του ρεύματος σε ολόκληρο το string. Έτσι λοιπόν από το flashing report, κατατάσσουμε τα πάνελ κατ' αύξουσα σειρά ως προς την ένταση του ρεύματος και στη συνέχεια τα χωρίζουμε σε ομάδες των 15 πάνελς όπως προέκυψε στην μελέτη εφαρμογής για τον συγκεκριμένο τύπο αναστροφέα.

Στη συνέχεια και χρησιμοποιώντας ειδικά τεμάχια που συνοδεύουν τις κινητές βάσεις, βιδώνουμε τα πάνελς πάνω στις βάσεις (στα σημεία που προβλέπει ο κατασκευαστής των πάνελς) κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα πάνελς της ίδιας ομάδας (string) να είναι δίπλα-δίπλα και να είναι δυνατή η σύνδεσή τους με το μικρότερο δυνατό μήκος καλωδίου.

Αφού τοποθετήσουμε τα πάνελς, τοποθετούμε και τον αναστροφέα. Για την σύνδεση με τον αναστροφέα θα πρέπει να παρεμβάλουμε:

- Ασφάλεια σε κάθε string.
- Διακόπτη συνεχούς ρεύματος.
- Προστασία έναντι κρουστικών υπερτάσεων.

Το μέγεθος της ασφάλειας από την ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} των πάνελς (δίνεται από τον κατασκευαστή των πάνελς) και είναι ίση με $1,5 \cdot I_{sc}$.

Έτσι πριν τον αναστροφέα θα πρέπει να παρεμβληθεί πίνακας που να περιέχει τα παραπάνω στοιχεία. Επειδή ο αναστροφέας που επιλέξαμε διαθέτει ενσωματωμένο πίνακα με διακόπτη DC και μέχρι έξι ανεξάρτητα κυκλώματα με ασφάλειες, κατά την σύνδεση στον πίνακα που τοποθετήθηκε χρησιμοποιήθηκε μόνο διάταξη προστασίας έναντι κρουστικών υπερτάσεων DC. Οι συνδέσεις των καλωδίων έγιναν με στεγανούς ταχυσυνδέσμους που αφού τοποθετήθηκαν στα καλώδια στη συνέχεια συνδέθηκαν μεταξύ τους. Οι συνδέσεις αυτές απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή δεδομένου του ότι στα άκρα

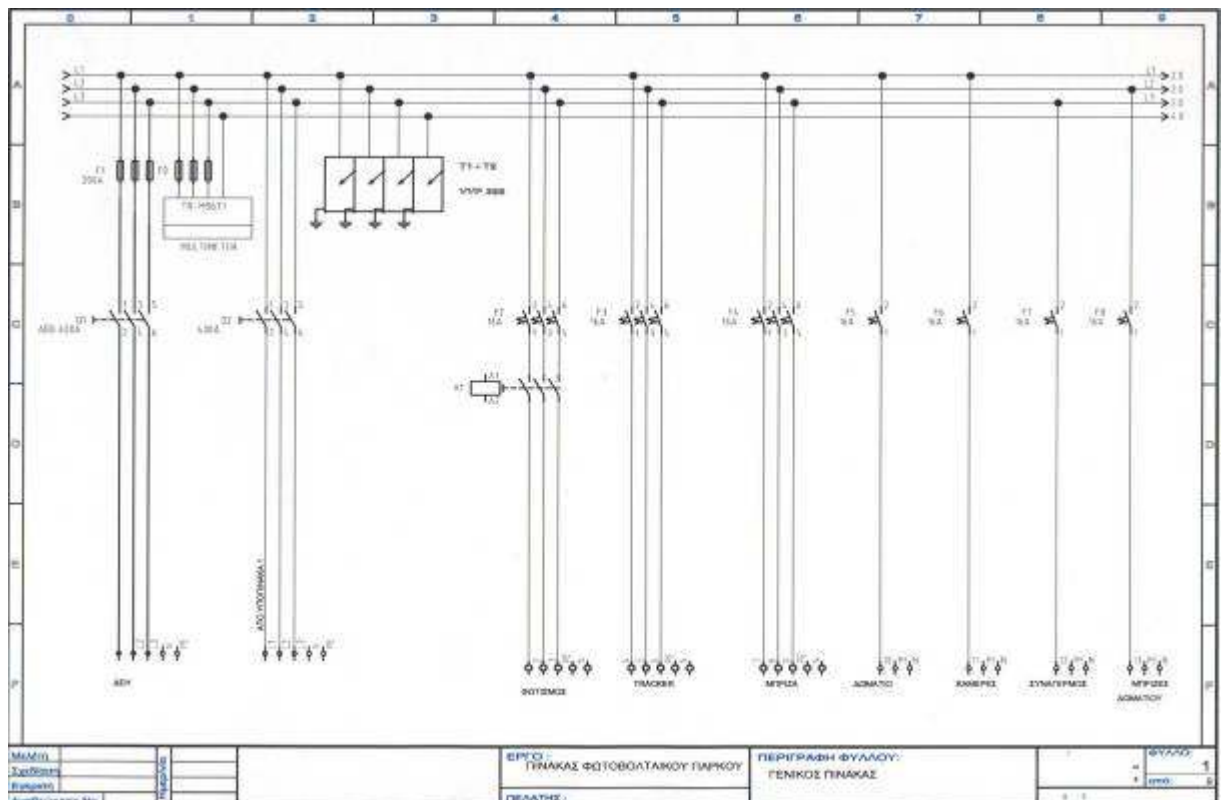
του κάθε string από την στιγμή που θα συνδεθούν τα πάνελ μεταξύ τους έχουμε τάση της τάξης των 500V. Πριν την σύνδεση των πάνελ μεταξύ τους ελέγχουμε την λειτουργία του μετρώντας την τάση στα άκρα του κάθε πάνελ.

4.12 Τοποθέτηση Πινάκων

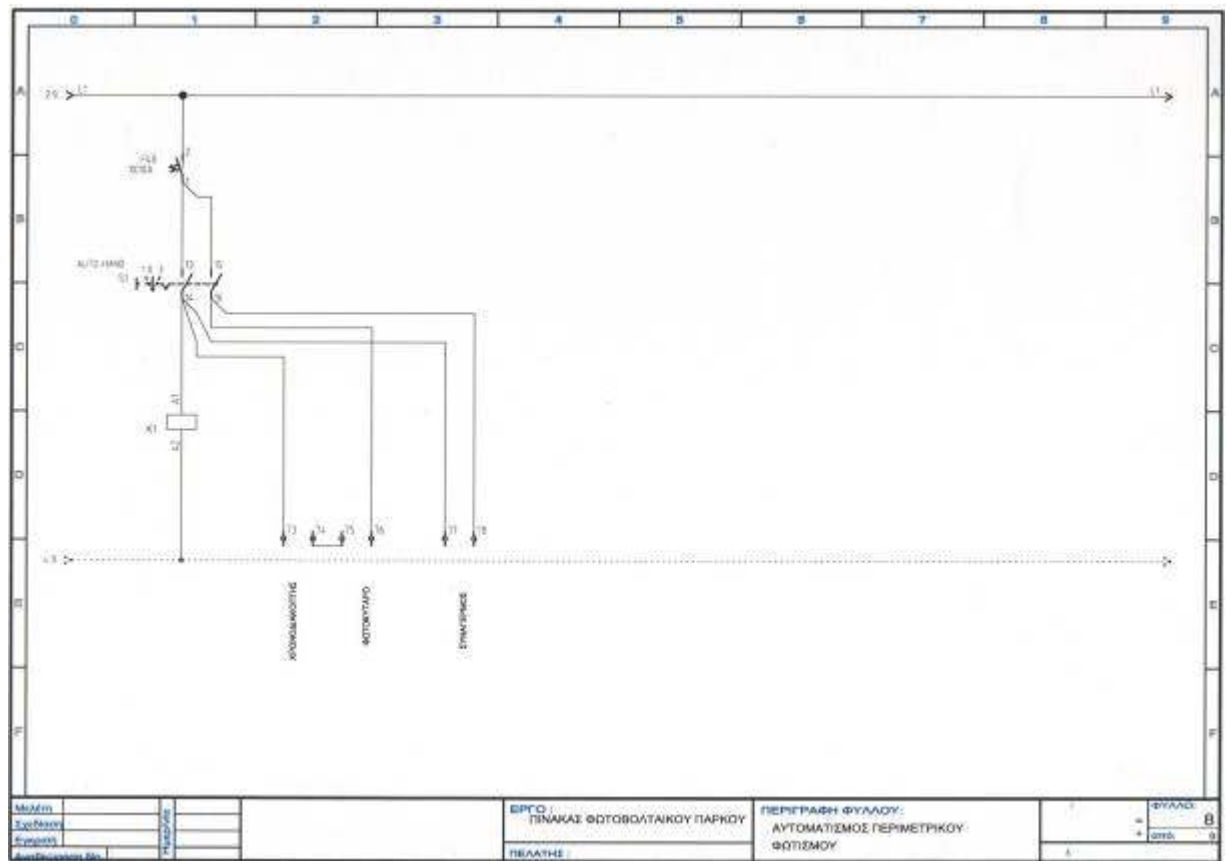
Με την ολοκλήρωση των εγκαταστάσεων τοποθετούμε και συνδέουμε τους πίνακες. Οι πίνακες κατασκευάζονται σύμφωνα με την νομοθεσία και περιέχουν όλες τις ασφαλιστικές διατάξεις που απαιτούνται.

Για την εσωτερική αντικεραυνική προστασία από κρουστικές υπερτάσεις, προβλέπεται η τοποθέτηση στο γενικό πίνακα αντικεραυνικά κατηγοριών T1, T2 και T3.

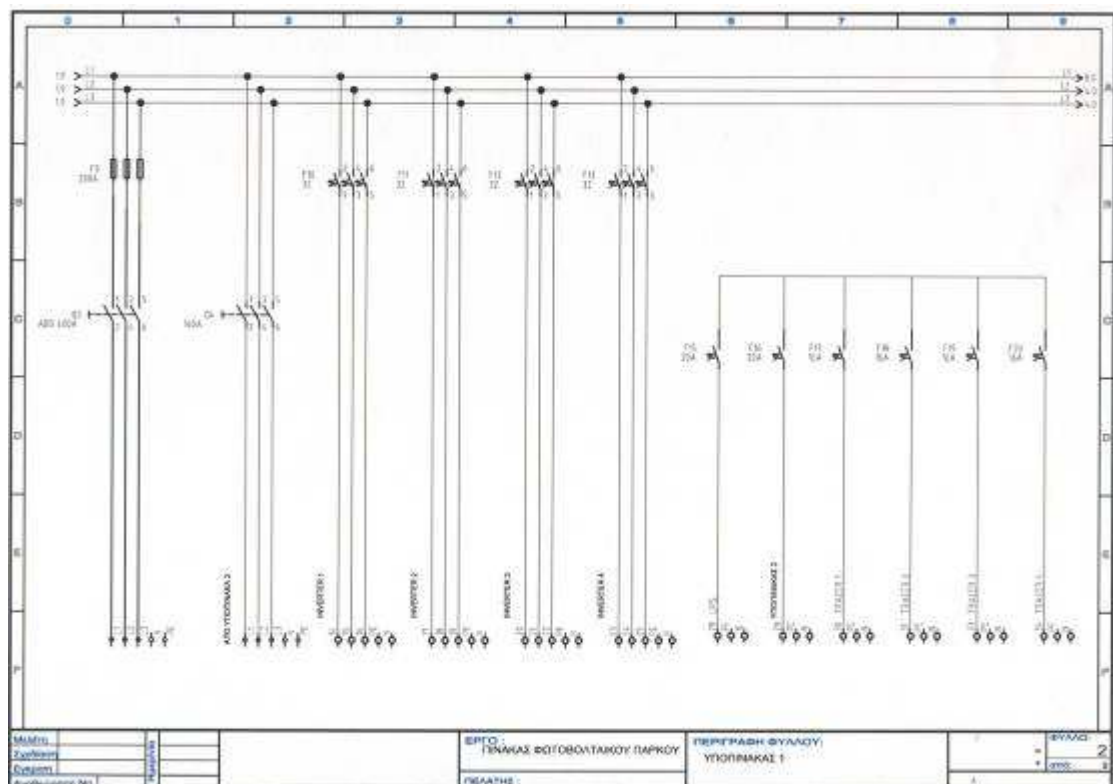
Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα του γενικού πίνακα και των υποπινάκων. Ο γενικός πίνακας τοποθετείται εντός του οικίσκου οι υποπίνακες τοποθετούνται εντός στεγανού πύλαρ στις αντίστοιχες θέσεις.



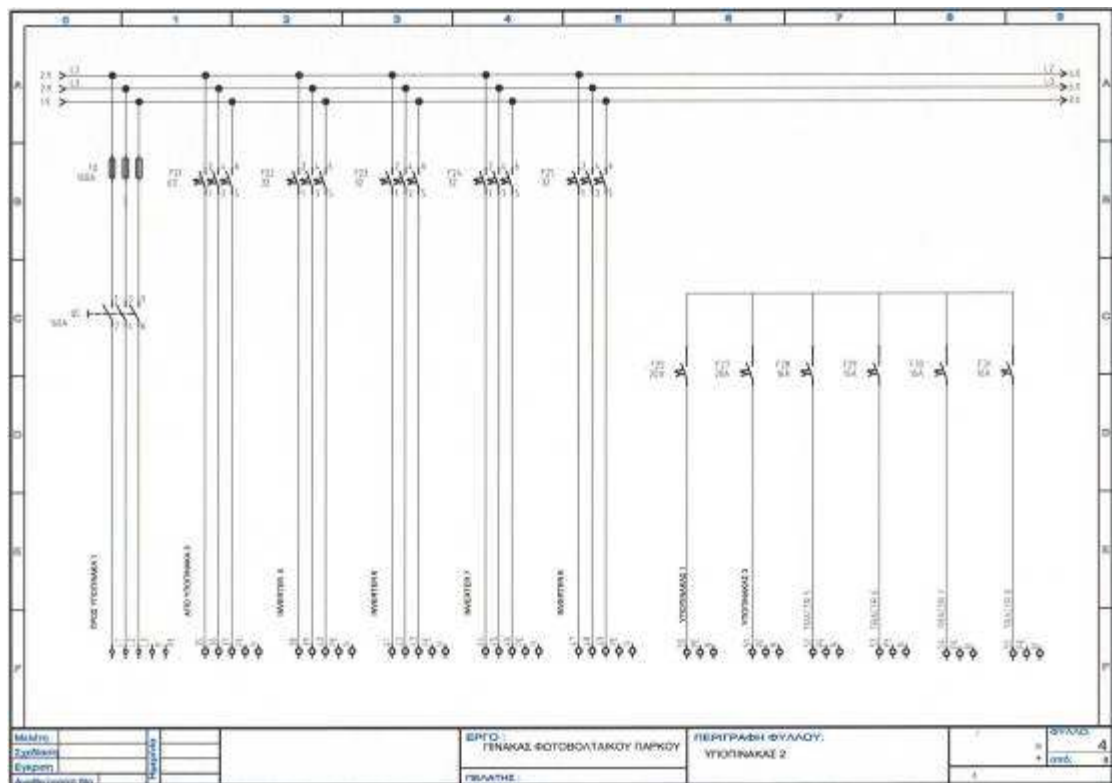
Γενικός πίνακας



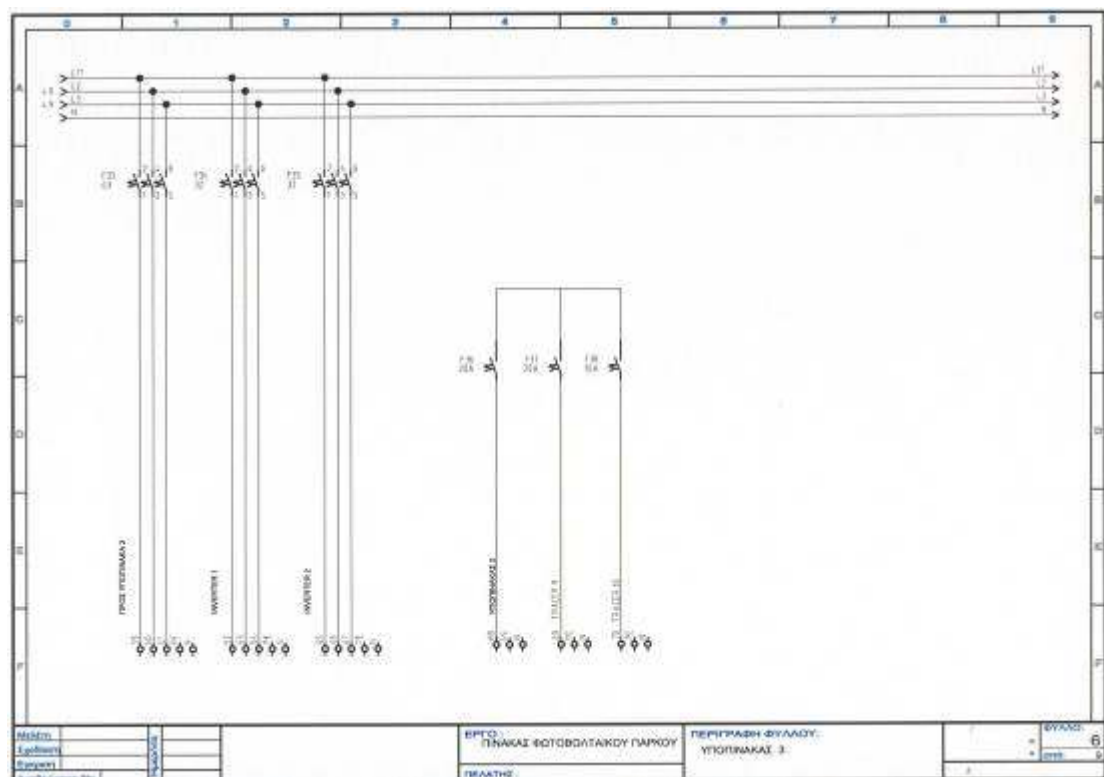
Γενικός πίνακας-Αυτοματισμός φωτισμού



Υποπίνακας 1



Υποπίνακας 2



Υποπίνακας 3

4.13 Κατασκευή Βοηθητικών Εγκαταστάσεων.

4.13.1 Σύστημα τηλεπαρακολούθησης.

Στον οικίσκο τοποθετούνται η κεντρική μονάδα δεδομένων η οποία συνδέεται με τους αναστροφείς σε σειρά με καλώδιο 4Χ0.25 mm² (UTP) των αναστροφών και η μονάδα μετεωρολογικών δεδομένων η οποία συνδέεται με τα αισθητήρια και με την κεντρική μονάδα δεδομένων.

4.13.2 Σύστημα καμερών.

Για την πλήρη εποπτεία του χώρου λειτουργική και ασφαλείας τοποθετούνται και συνδέονται 8 κάμερες στους στύλους που έχουν κατασκευαστεί, οι οποίες συνδέονται με καταγραφικό 8 καναλιών στο χώρο του οικίσκου.

4.13.3 Σύστημα συναγερμού.

Για την κάλυψη του χώρου τοποθετούνται περιμετρικά στα έξι σημεία, 12 αισθητήρες δέσμης υπερύθρων. Στις πόρτες εισόδου και οικίσκου τοποθετούνται μαγνητικές επαφές, ενώ στο χώρο του οικίσκου τοποθετείται αισθητήρας κίνησης. Η σύνδεση γίνεται σε κεντρική μονάδα στο χώρο του οικίσκου. Η Κεντρική μονάδα συνδέεται επίσης με πληκτρολόγιο και σειρήνα που τοποθετείται στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου. Τέλος το σύστημα συμπληρώνει ένα GSM modem για απομακρυσμένη ειδοποίηση αναγγελίας συναγερμού.

4.13.4 Δίκτυο φωτισμού

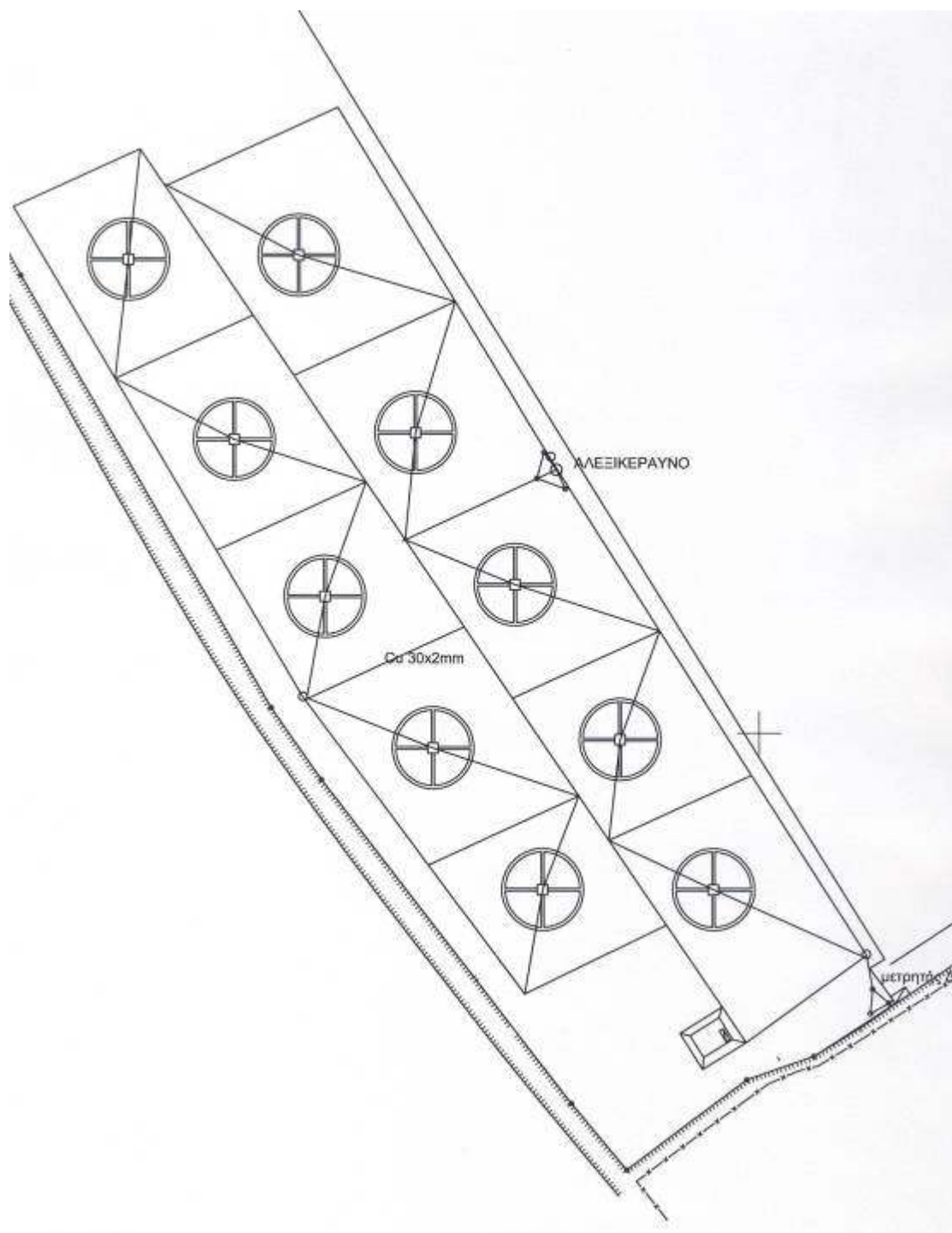
Οκτώ προβολείς LED ισχύος 30 Watt έκαστος αναλαμβάνουν το φωτισμό του πάρκου. Η σύνδεση γίνεται στο γενικό πίνακα μέσω αισθητήρα φωτός ώστε να ενεργοποιείται κατά την διάρκεια της νύχτας. Ο αυτοματισμός συμπληρώνεται με μεταγωγικό διακόπτη τριών θέσεων για δυνατότητα και χειροκίνητης λειτουργίας.

Η αποστολή των δεδομένων και της εικόνας και η παρακολούθηση μέσω διαδικτύου γίνεται με εγκατάσταση δορυφορικού internet.

4.13.5 Κατασκευή Αλεξικεραυνου-Τρίγωνα Γείωσης.

Για την κατασκευή του αλεξικέραυνου τοποθετούμε τον ιστό στη βάση και στην κορυφή του στερεώνουμε την κεφαλή. Την κεφαλή την συνδέουμε με τον αγωγό καθόδου όπως προκύπτει από την μελέτη εφαρμογής. Η διάταξη αντικεραυνικής προστασίας περιλαμβάνει κατασκευή ισοδυναμικής γείωσης με πλέγμα γείωσης από λάμα χαλκού πάχους διαστάσεων 30Χ2 mm. Η λάμα τοποθετείται σε βάθος 80 cm όπως παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί. Όλες οι κινητές βάσεις συνδέονται με το πλέγμα γείωσης. Στη βάση του αλεξικέραυνου κατασκευάζεται τρίγωνο γείωσης το οποίο συνδέεται με το πλέγμα γείωσης και τον αγωγό καθόδου. Ένα δεύτερο τρίγωνο γείωσης κατασκευάζεται δίπλα στον μετρητή της ΔΕΗ, το οποίο

συνδέεται με την γείωση του γενικού πίνακα όπως επίσης και με το πλέγμα γείωσης.



Γειώσεις

5. Έλεγχοι-Δοκιμές.

Με την ολοκλήρωση των εργασιών προχωρούμε στους ελέγχους και τις δοκιμές λειτουργίας. Για το σκοπό αυτό συμπληρώνεται πρωτόκολλο ελέγχου που περιλαμβάνει δοκιμές προ της σύνδεσης και δοκιμές μετά την σύνδεση με το δίκτυο.

5.1 Έλεγχοι και δοκιμές προ της σύνδεσης με το δίκτυο

5.1.1 Έλεγχος Κινητών βάσεων

Γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Οπτικός έλεγχος συναρμογής τεμαχίων.
- Έλεγχος καλής σύσφιξης των πάνελ.
- Έλεγχος σύσφιξης κοχλιών.
- Έλεγχος καλής λίπανσης κινητών μερών.
- Έλεγχος σύσφιξης συνδέσεων ηλεκτρικών μερών.

5.1.2 Έλεγχος πάνελ-αναστροφών

Γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Οπτικός έλεγχος σύνδεσης των ταχυσυνδέσμων των καλωδίων.
- Έλεγχος σύσφιξης συνδέσεων ηλεκτρικών μερών.
- Μέτρηση της τάσης στα άκρα των Strings.
- Ρύθμιση παραμέτρων αναστροφέα.

5.1.3 Έλεγχος πινάκων-καλωδιώσεων

Γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Οπτικός έλεγχος των καλωδιώσεων.
- Έλεγχος σύσφιξης ηλεκτρικών συνδέσεων.
- Μέτρηση της γείωσης (Δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 10 Ω).

5.2 Έλεγχοι και δοκιμές προ της σύνδεσης με το δίκτυο

5.2.1 Έλεγχος Κινητών βάσεων

Γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Αμπερομέτρηση των κινητήρων.
- Έλεγχος καλής απόκρισης του αισθητηρίου ακτινοβολίας με δημιουργία τεχνητής σκίασης.
- Έλεγχος λειτουργίας της προστασίας σε περίπτωση δυνατού ανέμου.
- Έλεγχος λειτουργίας της βοηθητικής πηγής (UPS) σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας από την κύρια πηγή (ΔΕΗ).
- Έλεγχος κίνησης σε θέση park κατά τη διάρκεια της νύχτας.

5.2.2 Έλεγχος Αναστροφών.

Γίνονται οι ακόλουθοι όπως ορίζονται και από τον κατασκευαστή των αναστροφών:

- Μέτρηση τάσης DC.
- Μέτρηση έντασης DC.
- Μέτρηση τάσης AC σε κάθε φάση.
- Μέτρηση έντασης AC σε κάθε φάση (μεγίστη επιτρεπόμενη ασυμμετρία 20%).
- Μέτρηση συχνότητας λειτουργίας.
- Έλεγχος προστασίας από νισηδοποίηση.
- Μέτρηση του χρόνου επανασύνδεσης στο δίκτυο μετά από διακοπή.
- Μέτρηση έγχυσης DC.
- Μέτρηση Αρμονικών παραμορφώσεων.

5.2.3 Έλεγχος Βοηθητικών συστημάτων.

Γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Έλεγχος λειτουργίας φωτισμού σε χειροκίνητη λειτουργία και σε αυτόματη με δημιουργία τεχνητής σκίασης.
- Ρύθμιση Έλεγχος λειτουργίας καμερών.
- Ρύθμιση και έλεγχος συναγερμού με δημιουργία παραβίασης σε κάθε ζώνη ξεχωριστά. Έλεγχος ειδοποίησης συναγερμού.
- Ρύθμιση συστήματος τηλεπαρακολούθησης.
- Έλεγχος παραλαβής δεδομένων και εικόνας μέσω διαδικτύου.

5.3 Δήλωση Ετοιμότητας

Με την ολοκλήρωση των εργασιών για την σύνδεση με το δίκτυο θα πρέπει να παραδοθεί στο αρμόδιο κατάστημα της ΔΕΗ, δήλωση ετοιμότητας η οποία θα περιλαμβάνει:

- Αίτηση προσωρινής και οριστικής παραλαβής.
- Υπεύθυνη δήλωση αδειούχου εγκαταστάτη ηλεκτρολόγου με πολυγραμμικά σχέδια πινάκων και Lay-out της εγκατάστασης θεωρημένα από την αρμόδια Δ.Ο.Υ. του ηλεκτρολόγου εγκαταστάτη και του κυρίου του έργου.
- Υπεύθυνη δήλωση του παραγωγού για τα όρια τάσης λειτουργίας, και συχνότητας των αναστροφών, την προστασία από νισηδοποίηση, την έγχυση DC και τις αρμονικές παραμορφώσεις.
- Υπεύθυνη δήλωση του εγκαταστάτη για τα όρια τάσης λειτουργίας, και συχνότητας των αναστροφών, την προστασία από νισηδοποίηση, την έγχυση DC και τις αρμονικές παραμορφώσεις.

5.4 Παράδοση σε Λειτουργία

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω εργασιών γίνεται επίδειξη και εκπαίδευση στον παραγωγό και συμπληρώνεται πρωτόκολλο παραλαβής μεταξύ του εγκαταστάτη και του παραγωγού και το έργο παραδίδεται σε λειτουργία.

6. Ενεργειακή Μελέτη-Αποτελέσματα Λειτουργίας

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε ενεργειακά το έργο δημιουργώντας ένα μοντέλο προσομοίωσης μέσω software. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Meteororm και PVSOL της εταιρείας Valentin.

Ξεκινώντας θα υπολογίσουμε τα στοιχεία ηλιοφάνειας της περιοχής του έργου. Το έργο κατασκευάστηκε στην περιοχή με συντεταγμένες $39^{\circ} 10' 51''$ N και $20^{\circ} 56' 43''$ E. Εισάγοντας τα δεδομένα αυτά στο πρόγραμμα Meteororm έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Calculation (hour)

12. 11. 2010 / 12:02

METEONORM Version 5.1

Site:	arta		
Situation:	open		
Horizon:	astronomic		
Type	Userdefined site	Format	T/PVSOL

Month	Ta	<G_Gh>	FF	RH
Jan	9.7	57	3.9	75.0
Feb	10.3	84	3.8	74.4
Mar	12.0	137	4.1	71.0
Apr	14.6	194	3.7	73.2
May	19.0	242	3.7	75.0
Jun	23.0	273	4.0	72.5
Jul	25.2	269	3.9	68.5
Aug	25.4	242	3.7	71.2
Sep	22.7	182	3.6	71.3
Oct	18.8	110	3.6	71.9
Nov	14.5	69	3.9	75.6
Dec	11.0	56	4.2	75.6
Year	17.2	159	3.8	72.9

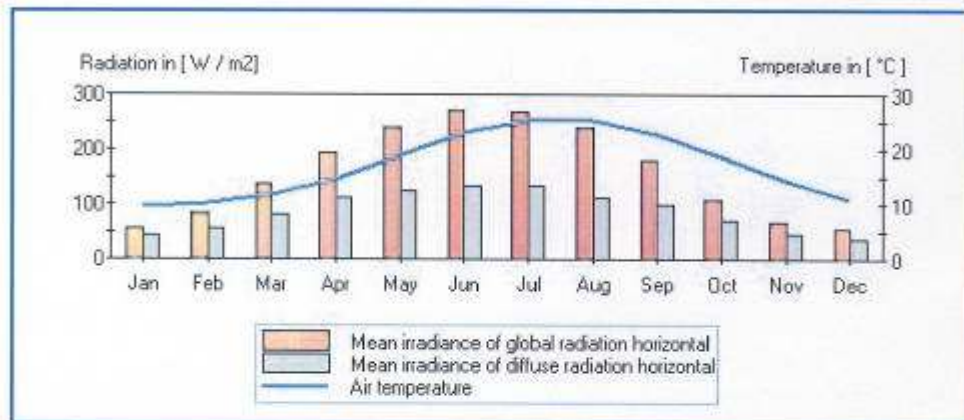
Legend:

Ta:	Air temperature
FF:	Wind speed
RH:	Relative humidity
<G_Gh>:	Mean irradiance of global radiation horizontal

Radiation in [W/m²]
Temperature in [°C]
Wind speed in [m/s]

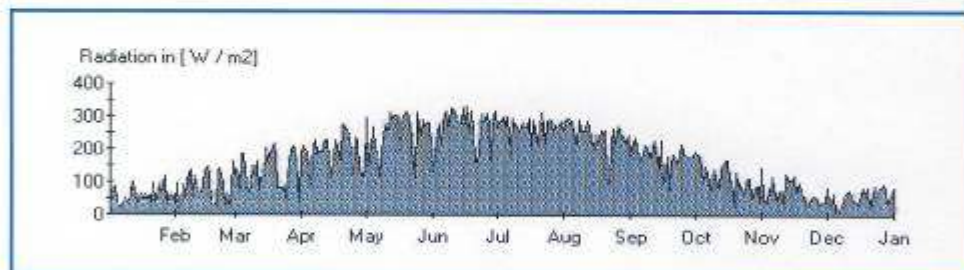
METEONORM Version 5.1

arta



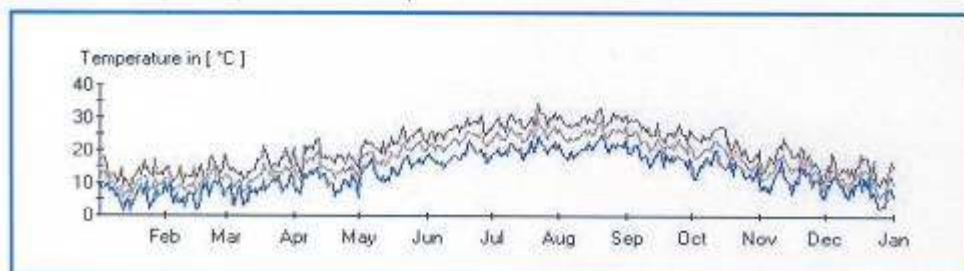
File: C:\Program Files\Meteotest\MN_51\output\Fig_Ghm.jpg

Daily means of global radiation

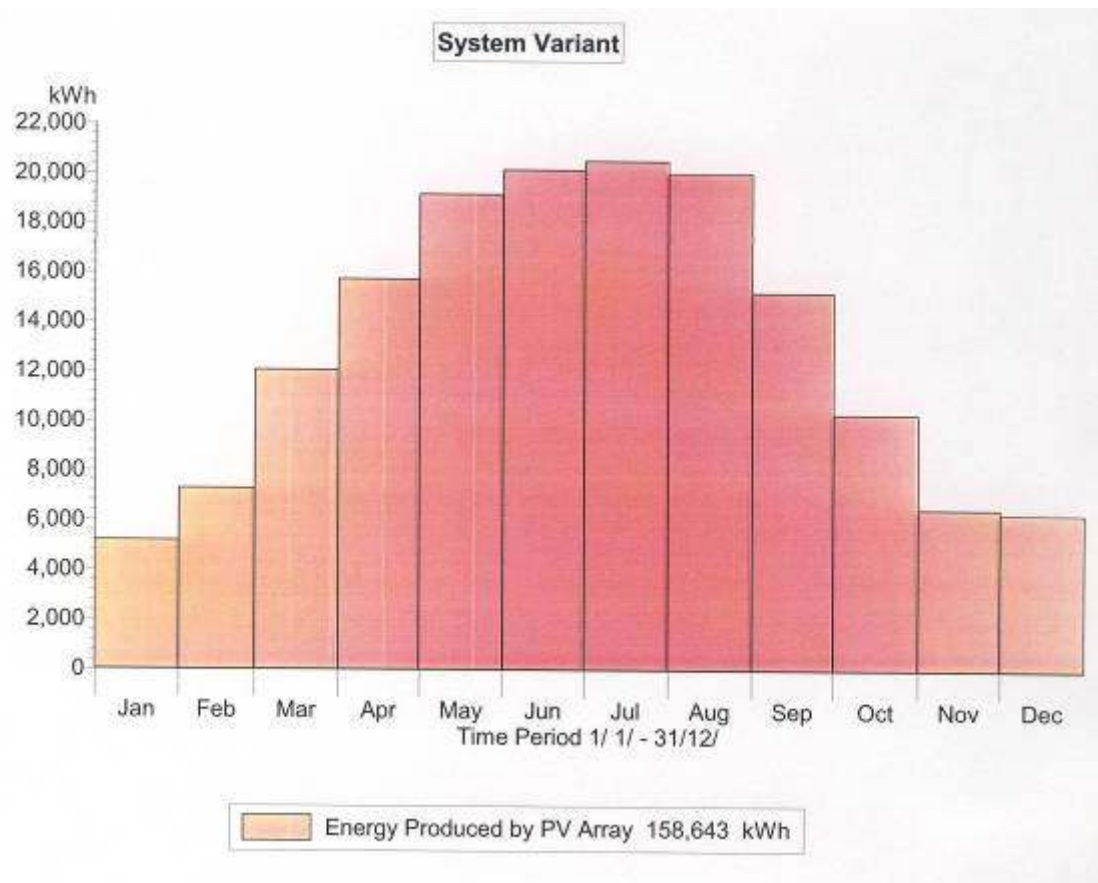
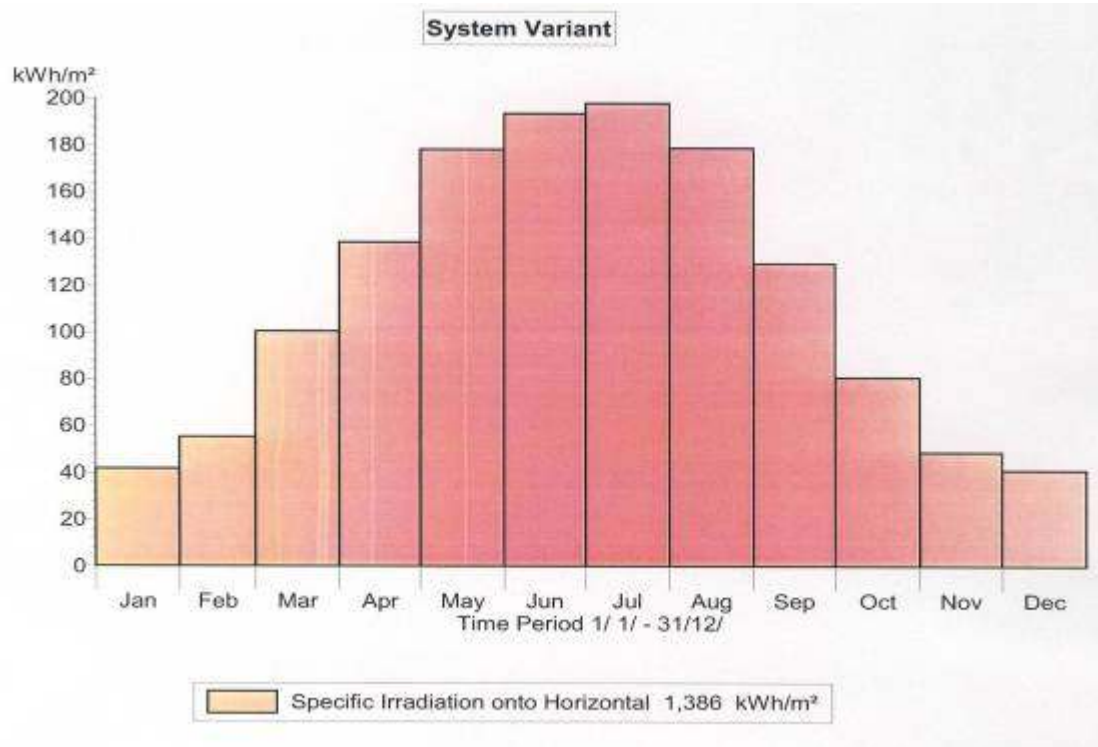


File: C:\Program Files\Meteotest\MN_51\output\Fig_Ghd.jpg

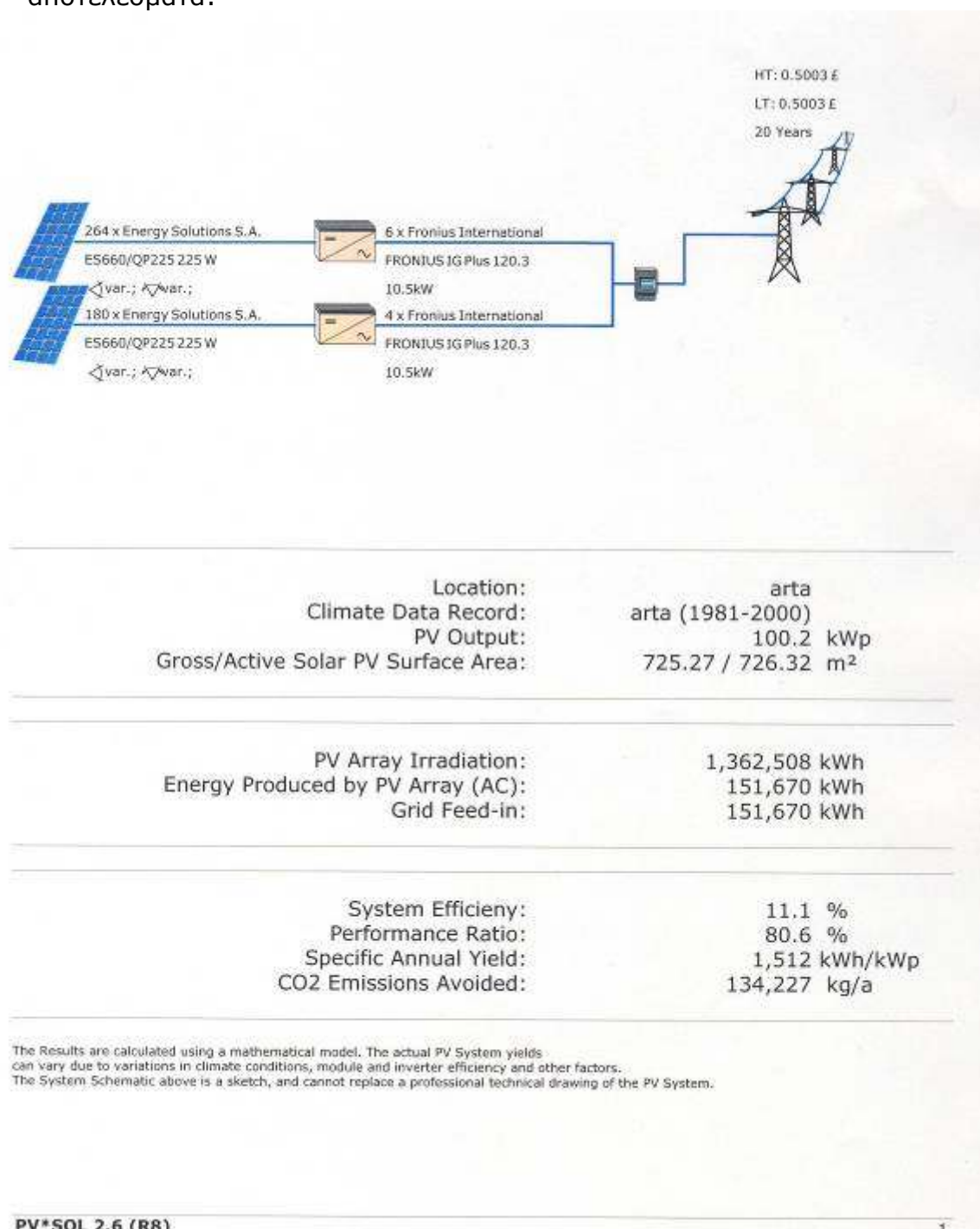
Daily values of temperature (mean, min. and max.)



File: C:\Program Files\Meteotest\MN_51\output\Fig_TAd.jpg



Χρησιμοποιώντας τώρα το πρόγραμμα προσομοίωσης με δεδομένα ηλιοφάνειας τα παραπάνω και εισάγοντας τα στοιχεία των πάνελ και των αντιστροφέων που χρησιμοποιήθηκαν, εξάγουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:



System in Grid Connected Operation

Location:	arta	PV Output:	100.2 kWp
Climate Data Record:	arta	Gross/Active Solar PV Surface Area:	725.3 m ² / 726.3 m ²
Number of Arrays:	2		

Array Name

Output:	59.60 kW	Ground Reflection:	20.0 %
Gross/Active Solar Surface Area:	431.2 m ² / 431.9 m ²	Output Losses due to:	
PV Module	264 x	Deviation from AM 1.5:	1.0 %
Manufacturer:	Energy Solutions S.A.	Deviation from Manufacturer's Specification:	2.0 %
Type:	ES660/QP225	Diodes:	0.5 %
Power Rating:	225 W	Due to Pollution:	0.5 %
Power Rating Deviation:	0 %	Inverter	6 x
Efficiency (STC):	13.8 %	Manufacturer:	Fronius International
No. of Modules in Series:	11	Type:	FRONIUS IG Plus 120.3
MPP Voltage (STC):	329 V	Output:	10.50 kW
Orientation:	Tracking	European Efficiency:	95.2 %
Inclination:	Tracking	No. of MPP Trackers:	1
Mount:	Free-Standing	MPP Tracking:	230 V To: 500 V
Shade:	No		

Array 2 Name

Output:	40.63 kW	Ground Reflection:	20.0 %
Gross/Active Solar Surface Area:	294.0 m ² / 294.5 m ²	Output Losses due to:	
PV Module	180 x	Deviation from AM 1.5:	1.0 %
Manufacturer:	Energy Solutions S.A.	Deviation from Manufacturer's Specification:	2.0 %
Type:	ES660/QP225	Diodes:	0.5 %
Power Rating:	225 W	Due to Pollution:	0.0 %
Power Rating Deviation:	0 %	Inverter	4 x
Efficiency (STC):	13.8 %	Manufacturer:	Fronius International
No. of Modules in Series:	15	Type:	FRONIUS IG Plus 120.3
MPP Voltage (STC):	449 V	Output:	10.50 kW
Orientation:	Tracking	European Efficiency:	95.2 %
Inclination:	Tracking	No. of MPP Trackers:	1
Mount:	Free-Standing	MPP Tracking:	230 V To: 600 V
Shade:	No		

Individual Appliances Total Consumption: 0 kWh

Individual Appliance 1	Type: User-Independent Appl.	0 kWh
------------------------	------------------------------	-------

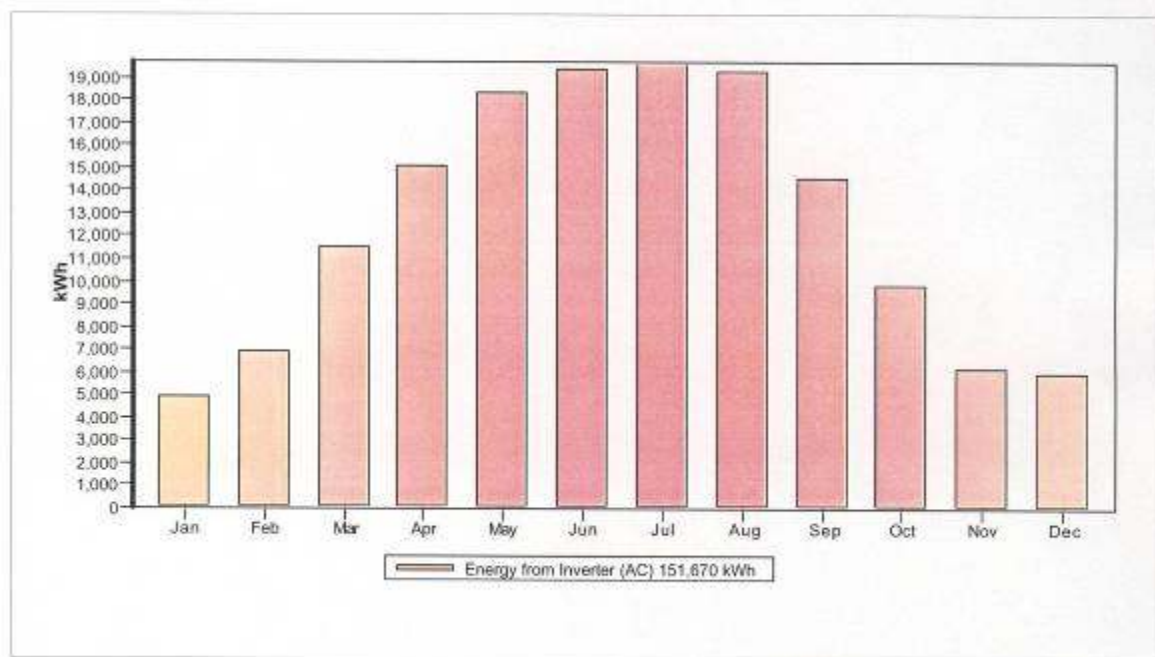
Simulation Results for Total System:

Irradiation onto Horizontal:	1,006,491 kWh	Own Use:	122.0 kWh
PV Array Irradiation:	1,362,508 kWh	Energy Produced by PV Array:	158,643 kWh
Irradiation minus Reflection:	1,343,857 kWh	System Efficiency:	11.1 %
Energy from Inverter (AC):	151,670 kWh	Performance Ratio:	80.6 %
Consumption Requirement:	0 kWh	Final Yield:	4.1 h/d
Energy from Grid:	122 kWh	Specific Annual Yield:	1,512 kWh/kWp

Array Results: Array Name

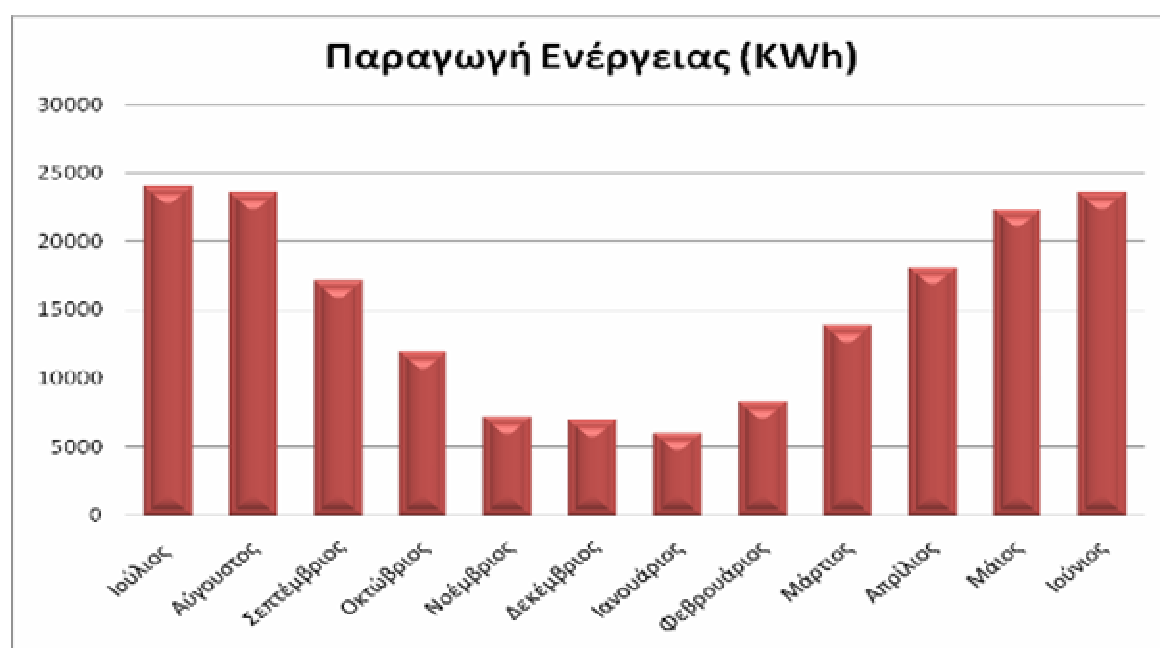
Irradiation onto Horizontal:	598,447 kWh	System Efficiency:	11.0 %
Array Irradiation:	810,140 kWh	Performance Ratio:	79.6 %
Energy Produced (AC):	89,065 kWh	Specific Annual Yield:	1,493 kWh/kWp

Own Use:	74 kWh	Array Efficiency:	11.7 %
Energy Produced (DC):	93,063 kWh	Inverter Efficiency:	95.6 %
Array Results: Array 2 Name			
Irradiation onto Horizontal:	408,032 kWh	System Efficiency:	11.3 %
Array Irradiation:	552,368 kWh	Performance Ratio:	82.1 %
Energy Produced (AC):	62,605 kWh	Specific Annual Yield:	1,539 kWh/kWp
Own Use:	48 kWh	Array Efficiency:	12.0 %
Energy Produced (DC):	65,580 kWh	Inverter Efficiency:	95.4 %



Εξετάζοντας τώρα τα πραγματικά αποτελέσματα μετά από ένα πλήρες έτος λειτουργίας, βλέπουμε ότι η απόδοση του Φ/Β πάρκου είναι 183.058 KWh προσαυξημένη κατά 20,7% από το μοντέλο προσομοίωσης.

Τα πραγματικά αποτελέσματα παραγωγής ενέργειας έπειτα από ένα χρόνο πλήρους λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πάρκου παρουσιάζονται στο διάγραμμα πίνακα που ακολουθεί:



Να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι από την εμπειρία μας σε κατασκευές, τα πραγματικά αποτελέσματα απόδοσης είναι πάντα μεγαλύτερα από τα αποτελέσματα που μας δίνουν τα προγράμματα προσομοίωσης.

7. Οικονομική Θεώρηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε μια οικονομική ανάλυση του έργου υπολογίζοντας το χρόνο απόσβεσης της επένδυσης. Σους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης αφού σημειώσουμε πως για δεδομένα ηλιοφάνειας χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα του προγράμματος προσομοίωσης που είναι εμφανώς δυσμενέστερα και όχι τα πραγματικά αποτελέσματα.

Έτσι λοιπόν στον πίνακα 1 έχουμε τις γενικές παραδοχές όπου εκτός από την τιμή πώλησης της KWh και κόστος κατασκευής του πάρκου (390.000 €) λάβαμε υπ' όψιν τραπεζικό δανεισμό 75% του κόστους της επένδυσης με επιτόκιο 4,5% , κόστος ασφαλίσεων και συντήρησης 0,4% και 0,2% αντίστοιχα και ποσοστό φορολογίας 20%.

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ - ADMISSIONS	
ΓΕΝΙΚΕΣ - GENERAL	
ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΜΟΝΑΔΑ (Ευρώ/KWh) - Running Price (€/unit)	0,45 €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (Ευρώ / KWp) - Investment's Cost (€/unit)	3.900,0 €
ΜΕΓΕΘΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (KWp) - Investment's Size	99,90
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥ (KWh/KWp) - Region's medium annual output / power installed (KWh/KWp)	1.512
ΛΟΙΠΕΣ - OTHERS	
Προεξοφλητικό επιτόκιο - Discount Interest	4,50%
Ασφάλιστρα Παγίων επί του συνολικού κόστους κατασκευής - Premiums constant on the total construction cost	0,40%
Δαπάνες φύλαξης (security) σε ετήσια βάση - Security's cost on annual basis	0 €
Σύνηθες ποσοστό συντήρησης επί του συνολικού κόστους κατασκευής (σε ετήσια βάση) - Rate of maintenance on the total construction's cost	0,20%
Έξοδα Διοίκησης ως ποσοστό επί του Κύκλου Εργασιών σε ετήσια βάση - Administration's Expenses on annual basis	0,00%
Κόστος Ενοικίου σε ετήσια βάση	0 €
Έξοδα Διάθεσης ως ποσοστό επί του Κύκλου Εργασιών σε ετήσια βάση - Expenses of disposal as percentage of the turnover on annual basis	0,00%
Ποσοστό φόρου εισοδήματος - Rate of Income's tax	20%
ΠΗΓΕΣ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ - FINANCING' S FUNDS	
ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗΣ - Subsidy's Percentage	0%
ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΡΑΠΕΖΙΚΟΥ ΔΑΝΕΙΟΥ - Banking Loan Percentage (max.)	75%
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ - Proper Funds (min.)	25%
ΕΠΙΤΟΚΙΟ ΔΑΝΕΙΟΥ - Loan's Rate	4,5%
ΕΤΗ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ - Years of loan's Settlement	10

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

Στην τιμή πώλησης αναπροσαρμογή 25% του πληθωρισμού (3%) μετά τον 1ο χρόνο

Πίνακας 1

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται το συνολικό κόστος χρηματοδότησης του έργου. Εκτός από το κόστος σύνδεσης με την ΔΕΗ δεν υπήρξαν άλλα κόστη, γιατί το οικόπεδο ήταν ιδιόκτητο και δεν απαιτήθηκε κάποιο κόστος για έργα υποδομής κλπ. Η απόσταση από το δίκτυο Μέσης τάσης της ΔΕΗ ήταν 202 m και απαιτήθηκε επιπλέον η τοποθέτηση μετασχηματιστή από την ΔΕΗ 20 KV/400 V 160 KVA.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ

	ΑΞΙΑ - Value
ΜΕΓΕΘΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (KWp) - Investment's Cost (KWp)	100
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΝΑ KWp - Construction' s Cost per KWp	3.900,0 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ - Total Investment Cost	390.000 €
ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΔΕΗ -Grid Connection	12.000 €
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ - Engineer's Work	0 €
ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΟΔΩΝ) - Work of Infrastructure (Improvement of the existing rural roads)	0 €
ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ - Various unexpected expenses	0 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ - Total Investment's Cost	402.000 €
ΠΟΣΟ ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗΣ - Subsidy's Sum	0 €
ΔΑΝΕΙΟ – LOAN	301.500 €
ΙΔΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ - Proper Funds	100.500 €

Πίνακας 2

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι προβλεπόμενες πωλήσεις ενέργειας λαμβάνοντας υπ' όψιν μείωση της απόδοσης σε ποσοστό περίπου 0,7%/έτος.

Επίσης λαμβάνεται υπ' όψιν αύξηση της τιμής πώλησης της KWh σε ποσοστό 25% του πληθωρισμού (3%).

ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - ΠΩΛΗΣΕΩΝ - Elements on future Productivity & Sales

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ - Quantity of Production	ΜΟΝ. ΑΔΑ ΜΕΤΡ. ΗΣΗΣ - Unit of Measur- ement	1ο	2ο	3ο	4ο	5ο	6ο	7ο	8ο	9ο	10ο	11ο	12ο	13ο	14ο	15ο	16ο	17ο	18ο	19ο	20ο
Ηλεκτρικό ρεύμα από ΦΒ - Photovoltaic's Electricity	KWh	151.049	149.991	148.942	147.899	146.864	145.836	144.815	143.801	142.794	141.795	140.802	139.817	138.838	137.866	136.901	135.943	134.991	134.046	133.108	132.176
ΑΞΙΑ ΠΩΛΗΣΕΩΝ - Value of Sales																					
ΤΙΜΗ/ KWh		0,4500	0,4530	0,4560	0,4590	0,4620	0,4650	0,4680	0,4710	0,4740	0,4770	0,4800	0,4830	0,4860	0,4890	0,4920	0,4950	0,4980	0,5010	0,5040	0,5070
Έσοδα από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - Income of the Electricity's Production		67.972	67.946	67.917	67.886	67.851	67.814	67.773	67.730	67.685	67.636	67.585	67.531	67.475	67.417	67.355	67.292	67.226	67.157	67.086	67.013
ΣΥΝΟΛΟ - TOTAL		67.972	67.946	67.917	67.886	67.851	67.814	67.773	67.730	67.685	67.636	67.585	67.531	67.475	67.417	67.355	67.292	67.226	67.157	67.086	67.013

* μείωση απόδοσης 0,7% ανά έτος

Πίνακας 3

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΩΛΗΘΕΝΤΩΝ - Future Sellings Total Cost
Ποσά σε €

Ανάλυση Κόστους - Cost's Analysis	1ο έτος	2ο έτος	3ο έτος	4ο έτος	5ο έτος	6ο έτος	7ο έτος	8ο έτος	9ο έτος	10ο έτος	11ο έτος	12ο έτος	13ο έτος	14ο έτος	15ο έτος	16ο έτος	17ο έτος	18ο έτος	19ο έτος	20ο έτος
Έξοδα συντήρησης - Expenses of Maintenance	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780
Δαπάνες φύλαξης (security) - Security's Expenses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Κόστος Ενοικίου	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ασφάλιστρα παγίων - premiums constant	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560	1.560
ΣΥΝΟΛΟ ΚΟΣΤΟΥΣ ΠΩΛΗΘΕΝΤΩΝ - Sellings Total Cost	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340	2.340

Πίνακας 4

ΠΟΣΟ ΤΡΑΠΕΖΙΚΟΥ ΔΑΝΕΙΟΥ- Loan's Amount	301.500,00
ΕΠΙΤΟΚΙΟ - Interest	4,50%
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ (ΣΕ ΕΤΗ) - Settlement's Period	10
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΤΟΚΙΟ	4,50%
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΤΟΚΙΟ	4,50%
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΟΣΗΣ	0,12637882
ΤΟΚΟΧΡΕΟΛΥΣΙΟ	38103,2148

ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ - Analytic Presentation

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ- Settlement's Period	ΧΡΕΟΛΥΣΙΟ - Installment for paying off a dept	ΤΟΚΟΣ - Interest	ΤΟΚΟΧΡΕΟΛΥΣΙΟ - Installment for paying off a dept	ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΑΝΕΞΟΦΛΗΤΟ - no paid off amount
1	24.536	13.568	38.103	276.964
2	25.640	12.463	38.103	251.324
3	26.794	11.310	38.103	224.531
4	27.999	10.104	38.103	196.532
5	29.259	8.844	38.103	167.272
6	30.576	7.527	38.103	136.696
7	31.952	6.151	38.103	104.744
8	33.390	4.713	38.103	71.355
9	34.892	3.211	38.103	36.462
10	36.462	1.641	38.103	0
ΣΥΝΟΛΑ:	301.500	79.532	381.032	-

Πίνακας 5

Στον πίνακα 4 περιλαμβάνουμε το πάγιο ετήσιο κόστος το οποίο αποτελείται από το κόστος συντήρησης και το κόστος ασφάλισης του πάρκου.

Στον πίνακα 5 παρουσιάζουμε την ανάλυση του δανείου διάρκειας 10 ετών. Έτσι παρουσιάζουμε τον τόκο και το χρεολύσιο για κάθε έτος. Αξίζει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι το επιτόκιο δύναται να μεταβληθεί ανάλογα με την χρονική συγκυρία και την τράπεζα που θα εκταμιεύσει το δάνειο. Έτσι το τοκοχρεολύσιο θα μεταβληθεί ανάλογα.

ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗ (ΣΕ €) - Annual Redemption (euros)													
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - Category	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ - redemption's percentage	ΑΞΙΑ ΠΡΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ - Redemption's Value	1ο έτος/ year	2ο έτος/ year	3ο έτος/ year	4ο έτος/ year	5ο έτος/ year	6ο έτος/ year	7ο έτος/ year	8ο έτος/ year	9ο έτος/ year	10ο έτος/ year	
Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ & ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ- Equipment	7%	402.000,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	
ΣΥΝΟΛΟ - TOTAL		402.000,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ - Category	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ - redemption's percentage	11ο έτος/ year	12ο έτος/ year	13ο έτος/ year	14ο έτος/ year	15ο έτος/ year	16ο έτος/ year	17ο έτος/ year	18ο έτος/ year	19ο έτος/ year	20ο έτος/ year	
Η/Μ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ & ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ- Equipment	7%	28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	8.040,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ΣΥΝΟΛΟ - TOTAL		28.140,0	28.140,0	28.140,0	28.140,0	8.040,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Πίνακας 6

Στον πίνακα 6 παρουσιάζεται ο πίνακας λογιστικής απόσβεσης της επένδυσης όπου με ποσοστό ετήσιας απόσβεσης 7%, επένδυση αποσβένεται το 15^ο έτος λειτουργίας της.

ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΙ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΗΣΕΩΝ - Table of profit and loss account

Years	1ο ΕΤΟΣ	2ο ΕΤΟΣ	3ο ΕΤΟΣ	4ο ΕΤΟΣ	5ο ΕΤΟΣ	6ο ΕΤΟΣ	7ο ΕΤΟΣ	8ο ΕΤΟΣ	9ο ΕΤΟΣ	10ο ΕΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - profit and loss account	67.972	67.946	67.917	67.886	67.851	67.814	67.773	67.730	67.685	67.636
Μείον : Κόστος πωληθέντων - selling cost	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340
ΜΙΚΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ - gross profit	65.632	65.606	65.577	65.546	65.511	65.474	65.433	65.390	65.345	65.296
Μείον : Έξοδα Διοίκησης - minus adinistration's expenses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μείον : Έξοδα διάθεσης - minus disposal's expenses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ, ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ - account before interests, redemptions & taxes	65.632	65.606	65.577	65.546	65.511	65.474	65.433	65.390	65.345	65.296
Μείον : τόκοι μακροπρόθεσμων δανείων επένδυσης - minus longterm investment's loans interest	13.568 ⁻	-12.463	11.310 ⁻	10.104 ⁻	-8.844	-7.527	-6.151	-4.713	-3.211	-1.641
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ - before redemption & interest	52.064	53.143	54.268	55.442	56.667	57.946	59.282	60.677	62.134	63.655
Μείον : Αποσβέσεις - minus redemption	28.140 ⁻	-28.140	28.140 ⁻	28.140 ⁻	-28.140	28.140 ⁻	28.140 ⁻	28.140 ⁻	28.140 ⁻	28.140 ⁻
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ - account before interest	23.924	25.003	26.128	27.302	28.527	29.806	31.142	32.537	33.994	35.515
Μείον: Φόρος εισοδήματος - minus income tax	-4.785	-5.001	-5.226	-5.460	-5.705	-5.961	-6.228	-6.507	-6.799	-7.103
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ - net profit and loss account	19.140	20.002	20.902	21.841	22.822	23.845	24.914	26.029	27.195	28.412

Πίνακας 7

Years	11ο ΕΤΟΣ	12ο ΕΤΟΣ	13ο ΕΤΟΣ	14ο ΕΤΟΣ	15ο ΕΤΟΣ	16ο ΕΤΟΣ	17ο ΕΤΟΣ	18ο ΕΤΟΣ	19ο ΕΤΟΣ	20ο ΕΤΟΣ
ΣΥΝΟΛΟ ΚΥΚΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - profit and loss account	67.585	67.531	67.475	67.417	67.355	67.292	67.226	67.157	67.086	67.013
Μείον : Κόστος πωληθέντων - selling cost	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340	-2.340
ΜΙΚΤΟ ΚΕΡΔΟΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ - gross profit	65.245	65.191	65.135	65.077	65.015	64.952	64.886	64.817	64.746	64.673
Μείον : Έξοδα Διοίκησης - minus adistration's expenses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μείον : Έξοδα διάθεσης - minus disposal's expenses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΤΟΚΩΝ, ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ - account before interests, redemptions & taxes	65.245	65.191	65.135	65.077	65.015	64.952	64.886	64.817	64.746	64.673
Μείον : τόκοι μακροπρόθεσμων δανείων επένδυσης - minus longterm investment's loans interest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟ ΑΠΟΣΒΕΣΕΩΝ & ΦΟΡΩΝ - before redemption & interest	65.245	65.191	65.135	65.077	65.015	64.952	64.886	64.817	64.746	64.673
Μείον : Αποσβέσεις - minus redemption	-28.140	28.140 ⁻	28.140 ⁻	-28.140	-8.040	0	0	0	0	0
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΠΡΟ ΦΟΡΩΝ - account before interest	37.105	37.051	36.995	36.937	56.975	64.952	64.886	64.817	64.746	64.673
Μείον: Φόρος εισοδήματος - minus income tax	-7.421	-7.410	-7.399	-7.387	11.395 ⁻	-12.990	12.977 ⁻	12.963 ⁻	12.949 ⁻	-12.935
ΚΑΘΑΡΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ - net profit and loss account	29.684	29.641	29.596	29.549	45.580	51.961	51.908	51.854	51.797	51.739

Πίνακας 7

	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - Construction Period	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ - Investment' s Cash flow									
		1ο	2ο	3ο	4ο	5ο	6°	7ο	8ο	9ο	10ο
ΕΙΣΡΟΕΣ (A) - influx											
Αποτελέσματα προ Τόκων, Αποσβέσεων και Φόρων - Account before interests, redemptions and taxes	0	65.632	65.606	65.577	65.546	65.511	65.474	65.433	65.390	65.345	65.296
Μείον: Φόροι - Minus Taxes	0	-4.785	-5.001	-5.226	-5.460	-5.705	-5.961	-6.228	-6.507	-6.799	-7.103
Μείον: Τοκοχρεολύσια - minus sinking fund	0	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103	-38.103
Σύνολο (A) - total (A)	0	22.744	22.502	22.249	21.982	21.702	21.409	21.102	20.780	20.443	20.090
ΕΚΡΟΕΣ (B) flow out											
Δαπάνες επένδυσης - Investement s Expenses	390.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μείον: Τραπεζικό Δάνειο - Minus Banking Loan	-301.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο (B) Total (B)	88.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAMEIAΚΕΣ ΡΟΕΣ (Γ=A-B)- Cash Flow (Γ=A-B)	-88.500	22.744	22.502	22.249	21.982	21.702	21.409	21.102	20.780	20.443	20.090

Πίνακας 8

ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ - Investment's Cash flow										
	11ο	12ο	13ο	14ο	15ο	16ο	17ο	18ο	19ο	20
ΕΙΣΡΟΕΣ (Α) - influx										
Αποτελέσματα προ Τόκων, Αποσβέσεων και Φόρων - Account before interests, redemptions and taxes	65.245	65.191	65.135	65.077	65.015	64.952	64.886	64.817	64.746	64.673
Μείον: Φόροι - Minus Taxes	-7.421	-7.410	-7.399	-7.387	-11.395	-12.990	-12.977	-12.963	-12.949	-12.935
Μείον: Τοκοχρεολύσια - minus sinking fund	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο (Α) - total (A)	57.824	57.781	57.736	57.689	53.620	51.961	51.908	51.854	51.797	51.739
ΕΚΡΟΕΣ (Β) flow out										
Δαπάνες επένδυσης - Investment s Expenses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Μείον: Τραπεζικό Δάνειο - Minus Banking Loan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο (Β) Total (B)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΤΑΜΕΙΑΚΕΣ ΡΟΕΣ (Γ=Α-Β) - Cash Flow (Γ=Α-Β)	57.824	57.781	57.736	57.689	53.620	51.961	51.908	51.854	51.797	51.739

IRR: Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (Internal Rate of Return). Εκφράζει τη μέση ετήσια απόδοση ενός επενδυτικού σχεδίου. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης αποτελεί το προεξοφλητικό επιτόκιο που εξισώνει την παρούσα αξία των εισροών και των εκροών. Με άλλα λόγια, είναι εκείνο το προεξοφλητικό επιτόκιο, που συνεπάγεται καθαρή παρούσα αξία ίση με το μηδέν.	27,64%
NPV: Η καθαρή παρούσα αξία μιας σειράς μελλοντικών πληρωμών (αρνητικές τιμές) και εισπραξιών (θετικές τιμές).	325.151 €

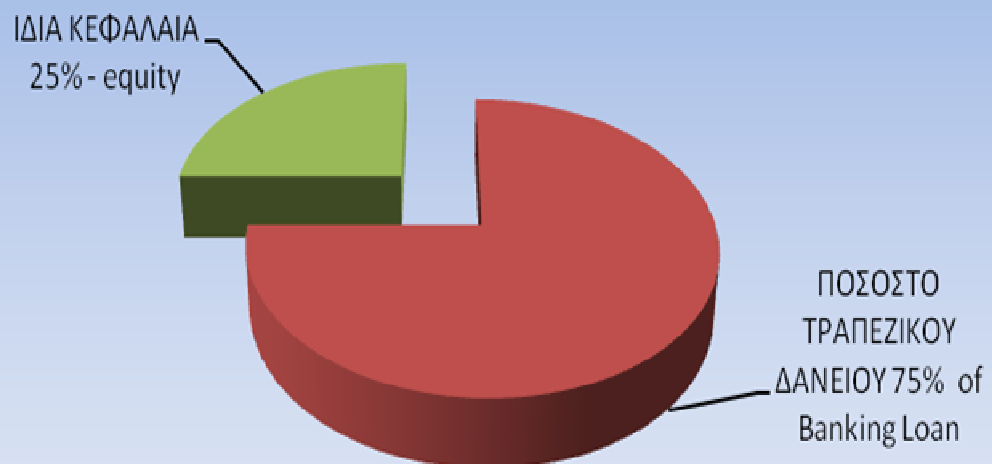
Πίνακας 8

Στους πίνακες 7 και 8 παρουσιάζονται τα προβλεπόμενα αποτελέσματα χρήσης της επένδυσης, όπως επίσης και τις ταμειακές ροές. Από τα παραπάνω αποτελέσματα και τις αθροιστικές ταμειακές ροές συμπεραίνουμε ότι η πραγματική απόσβεση του κόστους της επένδυσης επέρχεται στο τέλος του 4^{ου} έτους, ο δε εσωτερικός βαθμός απόδοσης ανέρχεται σε 27,64%.

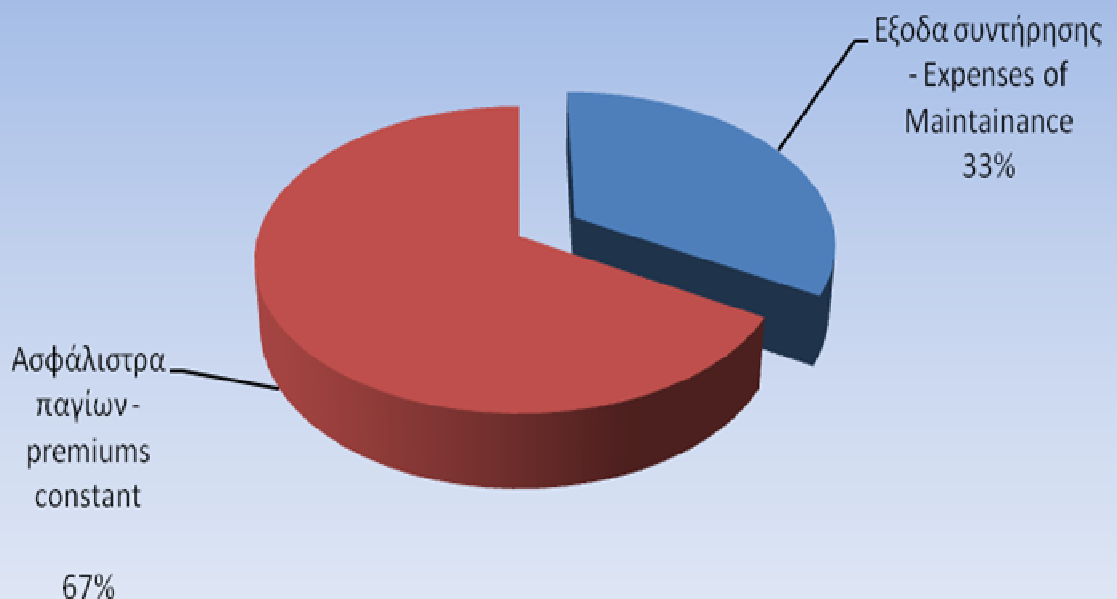
Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι τα αποτελέσματα μας δίνουν μια ισχυρά συμφέρουσα επένδυση.

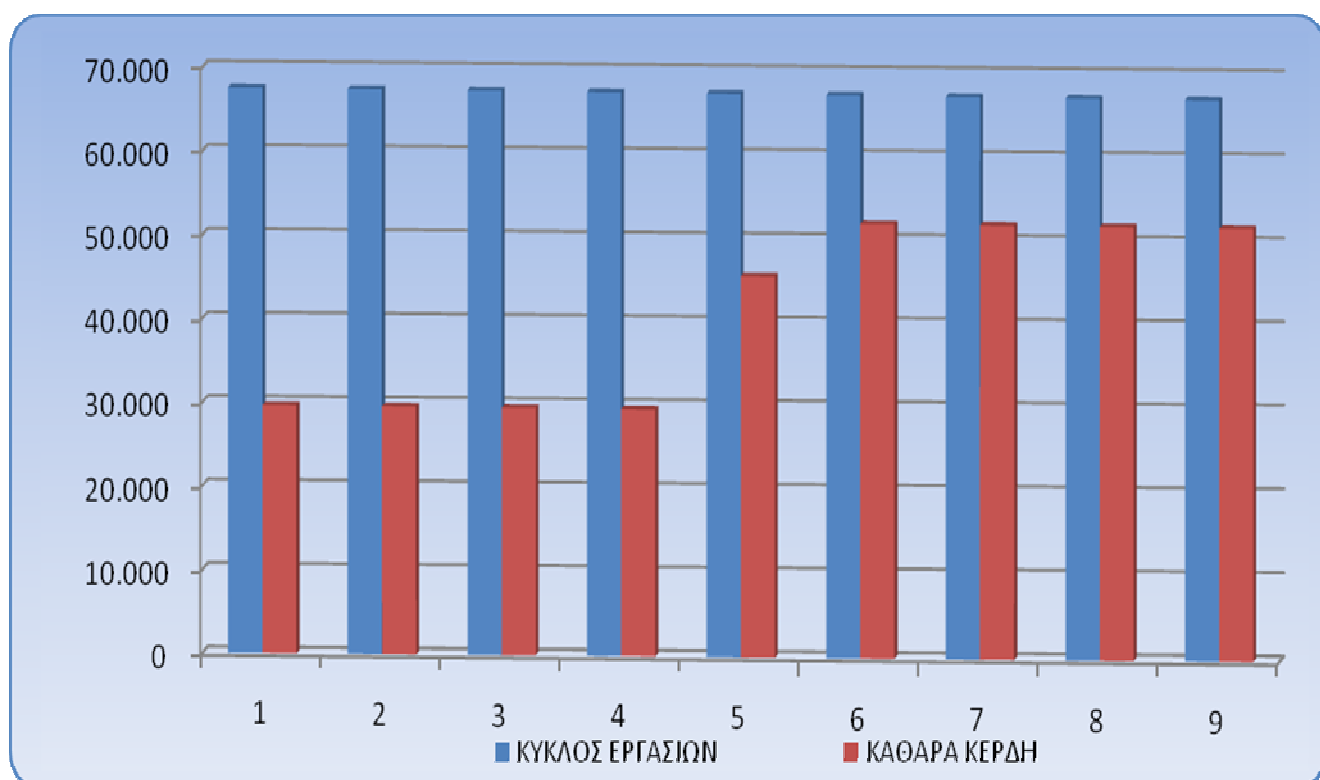
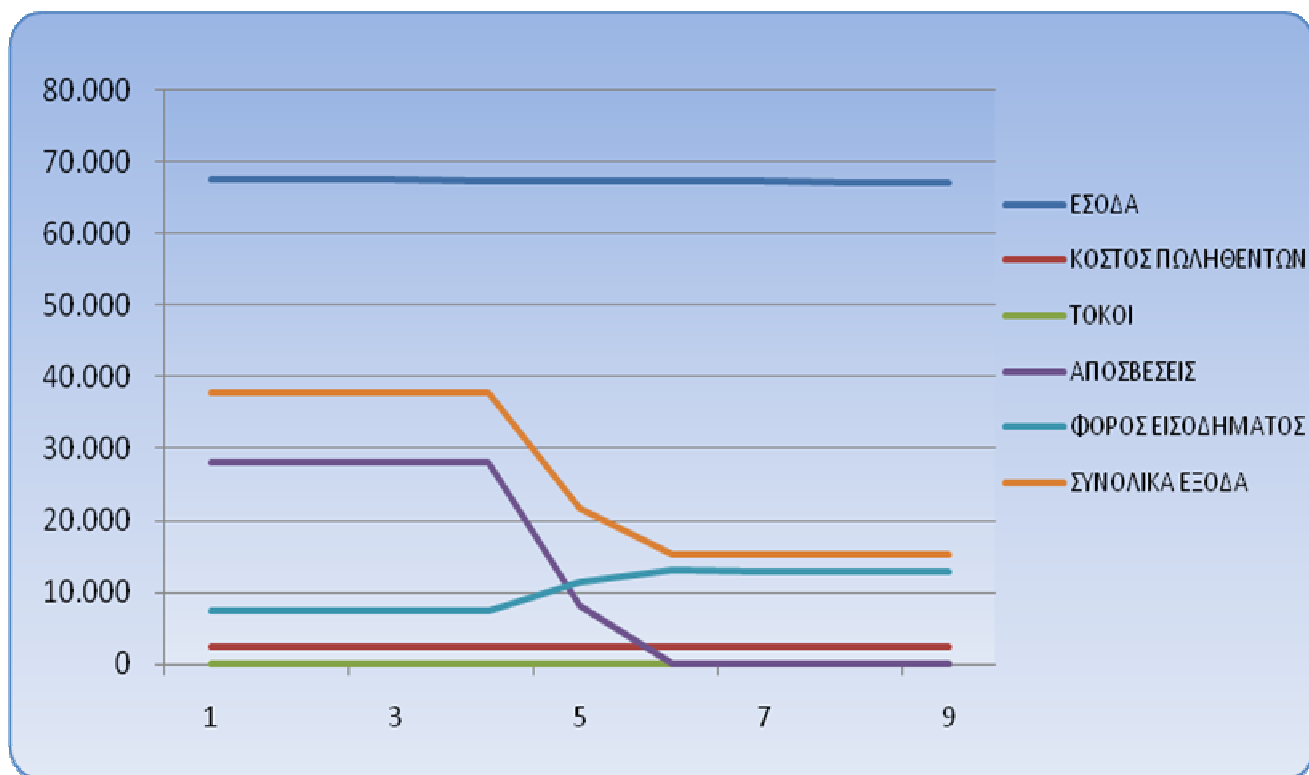
Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προηγούμενων πινάκων.

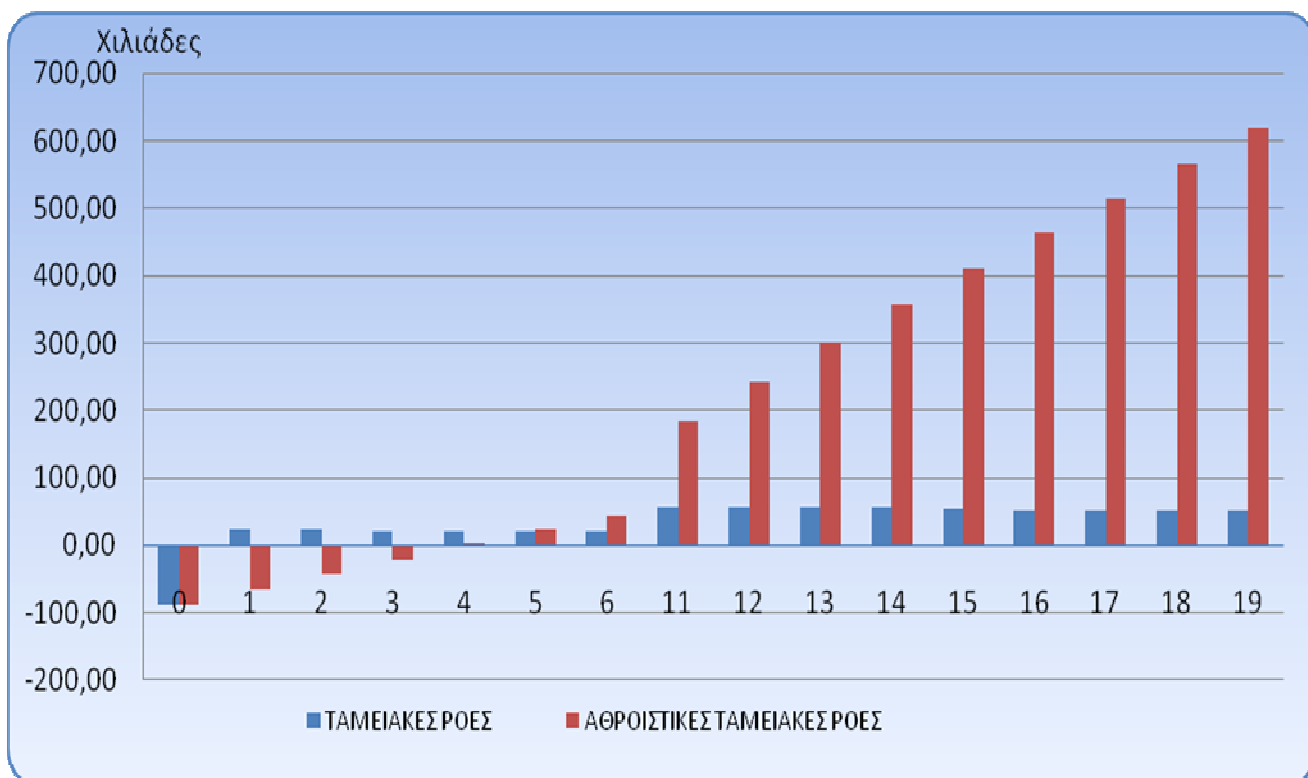
ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟ ΣΧΗΜΑ - Financial Plan



ΔΑΠΑΝΕΣ - Expenses







8. Φωτογραφικό υλικό















ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΕΜΠΤΗ

Βασική Σχεδίαση Σταθμού Ισχύος 1 MWp

Επιμέλεια Φώτης Στεργιόπουλος
Καθηγητής Εφαρμογών, Τμήμα Αυτοματισμού ΑΤΕΙ Θεσ/νίκης

ΒΑΣΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 1 MW_p

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία ενός σταθμού ισχύος 1 MW_p, ως ένα παράδειγμα σχεδιαστικής προσέγγισης για Φωτοβολταϊκά πάρκα σημαντικής ισχύος.

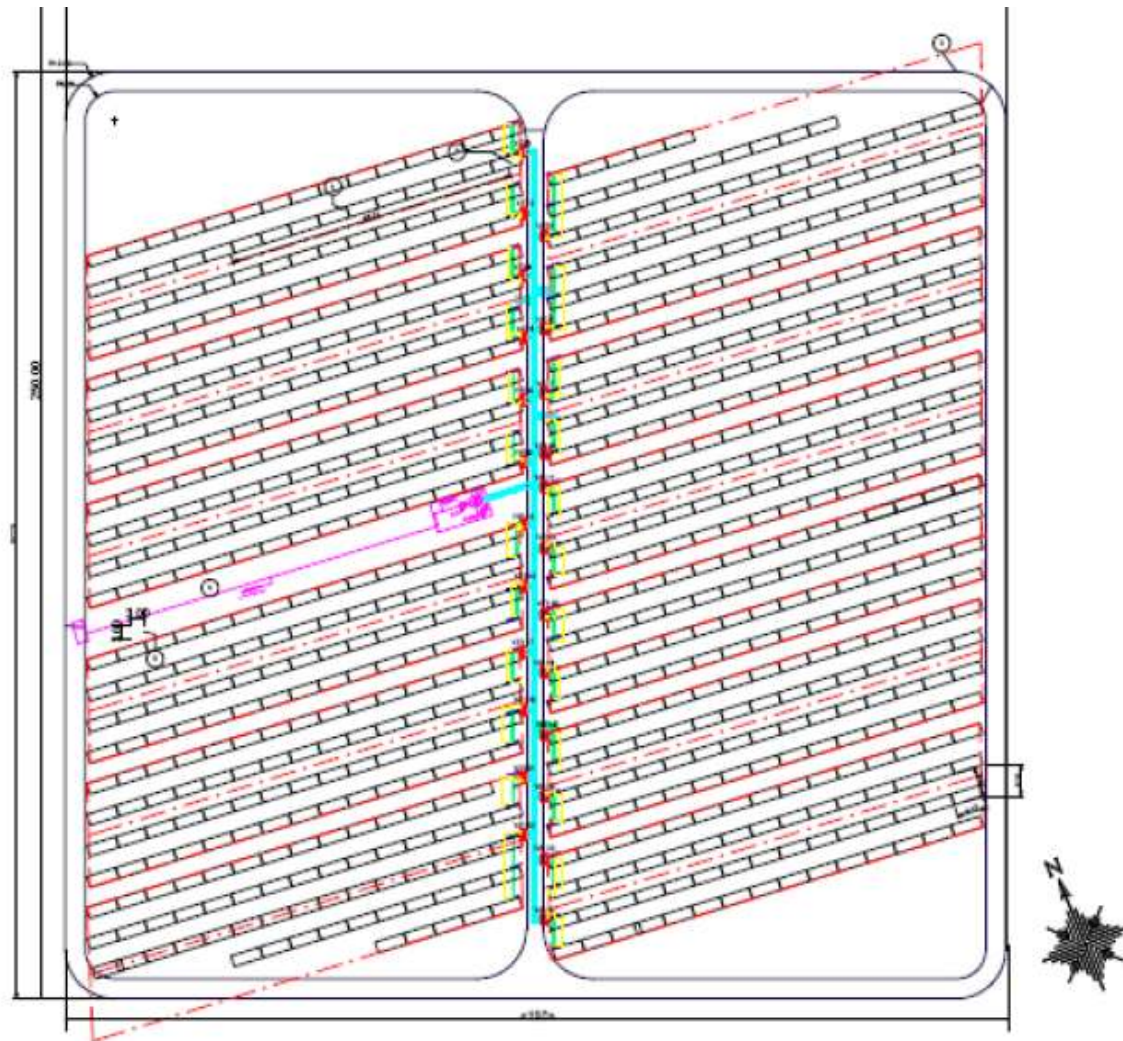
Τονίζεται ότι η παρακάτω προσέγγιση είναι ενδεικτική, ωστόσο ρεαλιστική, καθώς τα δεδομένα αναφέρονται σε έναν πραγματικό σταθμό που λειτουργεί στο Νομό Καρδίτσας.

Ο σταθμός αποτελείται από συνολικά 14.328 πλαίσια τεχνολογίας λεπτού υμενίου CdTe της εταιρείας First Solar, τύπου FS-270 ισχύος 70W_p έκαστο. Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά των πάνελ αυτών σε συνθήκες STC δίνονται παρακάτω:

- Μέγιστη Ισχύς: $P_{mpp}=70W$
- Τάση στη μέγιστη ισχύ: $V_{mpp} = 67,1V$
- Ένταση ρεύματος στη μέγιστη ισχύ: $I_{mpp} = 1,04A$.
- Τάση ανοικτού κυκλώματος: $V_{oc} = 89 V$
- Ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης: $I_{sc} = 1,19A$.
- Μέγιστη τάση συστήματος: $V_{dc}=1000V$
- Συντελεστής θερμοκρασίας μέγιστης ισχύος: $T_k(P_{mpp}) = -0,25\% /K$
- Συντελεστής θερμοκρασίας τάσης ανοικτού κυκλώματος: $T_k(V_{oc}) = -0,25\% /K$
- Συντελεστής θερμοκρασίας ρεύματος βραχυκύκλωσης: $T_k(I_{sc}) = 0,04\%/K$

Ο μεγάλος αριθμός των Φ/Β πλαισίων επιβάλλει την ομαδοποίηση τους. Η ομαδοποίηση έγινε σε 3 υποσυστήματα ώστε κάθε υποσύστημα να τροφοδοτεί στην ουσία μία φάση ενός τριφασικού συστήματος στο AC.

Κάθε υποσύστημα αποτελείται από 4.776 πάνελ ($4.776 \times 3 = 14.328$). Τα πάνελ συνδέονται σε συστοιχίες, ώστε κάθε συστοιχία να συνδέεται σε έναν αντιστροφέα. Δημιουργήθηκαν συνολικά 49 συστοιχίες από τις οποίες οι 48 αποτελούνται από 14 παράλληλους κλάδους των 7 εν σειρά πάνελ ο καθένας και 1 συστοιχία αποτελείται από 12 παράλληλους κλάδους των 6 εν σειρά πάνελ ($48 \times 14 \times 7 + 1 \times 12 \times 6 = 4.776$). Η σύνδεση κάθε συστοιχίας με τον αντίστοιχο αντιστροφέα γίνεται μέσω υποπίνακα DC με κατάλληλα μέσα απόζευξης και προστασίας. Έτσι τοποθετήθηκαν συνολικά 49 υποπίνακες DC. Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει το διάγραμμα χωροθέτησης των Φ/Β πάνελ του σταθμού:



Χωροθέτηση του Φ/Β σταθμού

Τα πλαίσια τοποθετήθηκαν επί σταθερών βάσεων κατασκευασμένες από αλουμίνιο και γαλβανισμένο χάλυβα με απόσταση του εδάφους από το κατώτερο σημείο της βάσης περί το 1 μέτρο ώστε ο εξοπλισμός να είναι προστατευμένος από ζώα και βαριές χιονοπτώσεις.

Αναφορικά με τους αντιστροφείς χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 147 αντιστροφείς, από τους οποίους οι 144 είναι τύπου SMC 7000HV και 3 τύπου SMC 5000A, όλοι κατασκευής της εταιρείας SMA, τα κυριότερα χαρακτηριστικά των οποίων δίνονται παρακάτω:

A) Αντιστροφέας τύπου SMC 7000HV:

- Ονομαστική ισχύς εξόδου: $P_{ac,nom} = 6,65kW$
- Μέγιστη ισχύς εξόδου: $P_{ac,max} = 7kW$
- Μέγιστη ισχύς εισόδου: $P_{dc,max} = 7,5kW$
- Μέγιστη DC τάση εισόδου: 800V
- Εύρος DC τάσης MPP: 335 – 560V
- Μέγιστος βαθμός απόδοσης: 96,2%
- Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης: 95,5%

B) Αντιστροφέας τύπου SMC 5000A:

- Ονομαστική ισχύς εξόδου: $P_{ac,nom} = 5kW$
- Μέγιστη ισχύς εξόδου: $P_{ac,max} = 5,5kW$
- Μέγιστη ισχύς εισόδου: $P_{dc,max} = 5,75kW$
- Μέγιστη DC τάση εισόδου: 600V
- Εύρος DC τάσης MPP: 246-480V
- Μέγιστος βαθμός απόδοσης: 96,1%
- Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης: 95,3%

Κάθε αντιστροφέας τύπου SMC 7000HV συνδέεται στην είσοδο του με 14 κλάδους των 7 πάνελ εν σειρά ($14 \times 7 \times 70Wp = 6,86kWp$). Οι 14 κλάδοι συνδέονται σε 2 εισόδους του αντιστροφέα (σε ομάδες των 7+7 κλάδων) διαμέσου πινάκων DC που περιέχουν διακόπτες και απαγωγείς υπερτάσεων. Πρόκειται να τοποθετηθούν 48 αντιστροφείς ανά φάση ($48 \times 3 = 144$) ώστε να προκύψει συμμετρικό σύστημα.

Επιπλέον κάθε αντιστροφέας τύπου SMC 5000A συνδέεται στην είσοδο του με 12 κλάδους των 6 πάνελ εν σειρά ($12 \times 6 \times 70Wp = 5,04kWp$). Οι 12 κλάδοι συνδέονται σε δύο εισόδους του αντιστροφέα (σε ομάδες των 6+6 κλάδων), διαμέσου πινάκων DC που περιέχουν διακόπτες και απαγωγείς υπερτάσεων. Πρόκειται να τοποθετηθεί 1 αντιστροφέας ανά φάση ($1 \times 3 = 3$) ώστε να προκύψει συμμετρικό σύστημα.

Οι έξοδοι των αντιστροφέων πρόκειται να συνδεθούν ηλεκτρικά σε συνολικά 24 AC υποπίνακες οι οποίοι και θα τροφοδοτούν την είσοδο ΧΤ του υποσταθμού. Συγκεκριμένα σε 23 από τους 24 υποπίνακες συνδέονται 6 αντιστροφείς τύπου SMC 7000HV και σε 1 υποπίνακα θα συνδέονται 6 αντιστροφείς τύπου SMC 7000HV και 3 αντιστροφείς τύπου SMC 5000A ($23 \times 6 + 1 \times (6+3) = 147$). Κάθε υποπίνακας περιέχει έναν αυτόματο διακόπτη για τη σύνδεση του αντιστροφέα, έναν γενικό διακόπτη και απαγωγή υπερτάσεων.

Συνοψίζοντας, σε κάθε μία φάση του τριφασικού συστήματος συνδέονται 48 αντιστροφείς τύπου SMC 7000HV και ένας αντιστροφέας τύπου SMC 5000A. Κάθε αντιστροφέας τύπου SMC 7000HV συνδέεται στην είσοδο του με 14 κλάδους των 7 εν σειρά πάνελ έκαστος, και κάθε αντιστροφέας τύπου SMC 5000A συνδέεται στην είσοδο του με 12 κλάδους των 6 εν σειρά πάνελ έκαστος. Έτσι σε κάθε φάση συνδέονται συνολικά $48 \times 14 \times 7 \times 70 + 1 \times 12 \times 6 \times 70 = 334,23kWp$ και η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού είναι 1.002,96kWp.

Τα παρακάτω σχέδια παρουσιάζουν τους πίνακες AC:







Ο ΓΠΧΤ περιέχει:

- Έναν (1) γενικό αυτόματο διακόπτη ισχύος, τετραπολικό, ονομαστικής έντασης 1600A ως γενικό διακόπτη ΧΤ.
- 24 αυτόματους διακόπτες ισχύος, τετραπολικούς 100A για την τροφοδοσία των υποπινάκων των αντιστροφών.
- Ψηφιακό πολυόργανο ένδειξης ηλεκτρικών μεγεθών (τάσης, ρεύματος, ισχύος, ενέργειας, κτλ).

Επίσης ο υποσταθμός περιλαμβάνει μονοφασικό πίνακα ΧΤ βοηθητικών φορτίων (π.χ. για την ηλεκτρική τροφοδότηση ανεμιστήρων αερισμού, για φωτισμό, ρευματοδότες κτλ.)

Το συγκρότημα πινάκων του Υ/Σ ΧΤ/ΜΤ αποτελείται από τους παρακάτω πίνακες:

- Πίνακας εισόδου υπογείου καλωδίου ΜΤ. Το πεδίο περιλαμβάνει διακόπτη φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α και ονομαστικής τάσης 24kV.
- Πίνακας σύνδεσης μετασχηματιστή. Ο πίνακας αυτός συνδέει την πλευρά ΜΤ του μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV με το ζυγό μέσης τάσης του Υ/Σ. Το πεδίο περιλαμβάνει διακόπτη φορτίου ονομαστικής έντασης 200Α, ονομαστικής τάσης 24kV και τρεις ασφάλειες ΜΤ 63Α.

Η ισχύς του Φ/Β σταθμού εγχέεται σε κέντρο ελέγχου ΜΤ και από εκεί με εναέριο δίκτυο ΜΤ έως το τοπικό δίκτυο ΜΤ της ΔΕΗ. Η σύνδεση του κέντρου ελέγχου του Φ/Β σταθμού με το εναέριο δίκτυο γίνεται με μονοπολικά καλώδια ΜΤ τύπου XLPE (δίκτυωμένου πολυαιθυλενίου) διατομής 1x50mm².

Το συγκρότημα πινάκων ΜΤ του οικίσκου ελέγχου του Φ/Β σταθμού περιλαμβάνει τα παρακάτω πεδία:

- Πεδίο αυτόματος διακόπτη διασύνδεσης
- Πεδίο μετασχηματιστών τάσης
- Πεδίο αντικεραυνικής προστασίας και αναχώρησης καλωδίων ΜΤ
- Πεδίο βοηθητικών καταναλώσεων

Το πεδίο αυτόματος διακόπτη διασύνδεσης περιλαμβάνει:

- Αυτόματο διακόπτη ισχύος SF6 24kV, 630Α, με ηλεκτροκίνητο μηχανισμό λειτουργίας. Ο διακόπτης είναι εξοπλισμένος με ηλεκτρονόμο ο οποίος περιλαμβάνει προστασίες υπερφόρτισης, υπερεντάσεως, διαρροής ως προς γη, πτώσης τάσης, υπέρτασης, υπερ/υποσυχνότητας και ομοπολικής συνιστώσας τάσης.
- Αποζεύκτη 24kV, 630Α
- Γειωτή, μηχανικά μανδαλωμένο με τον αποζεύκτη.
- Τρεις (3) Μετασχηματιστές εντάσεως.

Το πεδίο μετασχηματιστών τάσης περιλαμβάνει:

- Διακόπτη φορτίου SF6, 24kV, 630Α.
- Γειωτή.
- Τρεις (3) μετασχηματιστές τάσης
- Τρεις (3) ασφάλειες 6,3Α για την προστασία των μετασχηματιστών τάσης.

Το πεδίο αντικεραυνικής προστασίας και αναχώρησης καλωδίων ΜΤ προς τα δίκτυο της ΔΕΗ περιλαμβάνει τρεις (3) απαγωγείς υπερτάσεων 21kV/10kA.

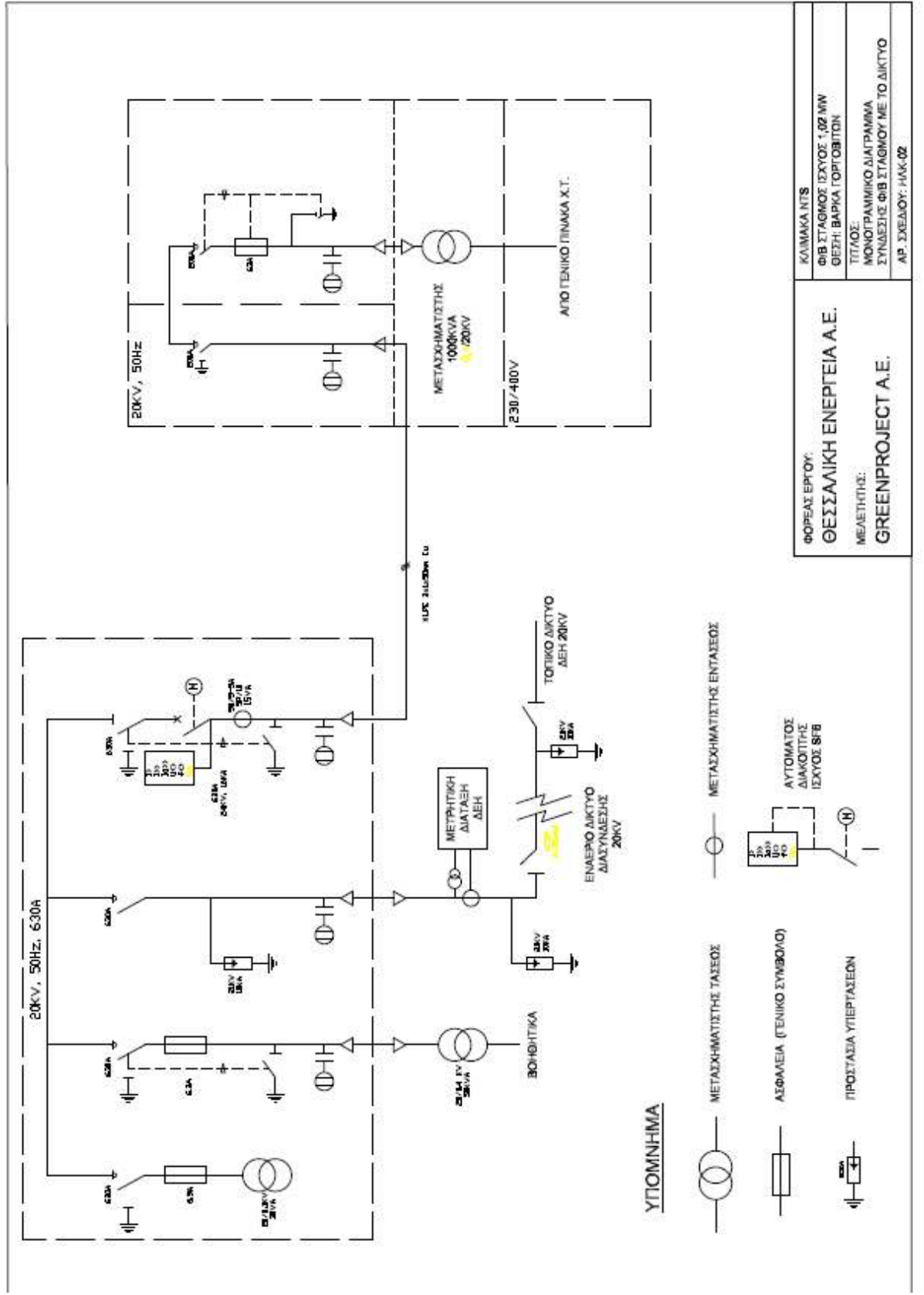
Το πεδίο βοηθητικών καταναλώσεων τροφοδοτεί μετασχηματιστή ξηρού τύπου 50kVA, 20kV/0,4kV χαμηλών απωλειών για την εξυπηρέτηση των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων του υποσταθμού (τροφοδοσία ηλεκτρονόμων, φωτιστικών, θερμαντικών σωμάτων, κλιματιστικής μονάδας, πριζών κτλ). Το πεδίο αυτό περιλαμβάνει:

- Διακόπτη φορτίου SF6 24kV, 630A
- Γειωτή και τρεις (3) ασφάλειες για την προστασία του μετασχηματιστή.

Ο εξοπλισμός του συγκροτήματος πινάκων MT περιλαμβάνει επίσης μονοπολικά ακροκιβώτια για τις συνδέσεις των καλωδίων στους πίνακες καθώς και μετασχηματιστές τάσης και έντασης, διάφορες μετρητικές διατάξεις, όργανα ενδείξεων, λυχνίες ένδειξης, μπουτόν κτλ.

Επιπλέον στον πίνακα ελέγχου, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός περιλαμβάνει και μονάδα UPS καθώς και αυτόματο σύστημα πυρανίχνευσης με ανιχνευτές ιονισμού.

Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει εποπτικά το συγκρότημα του υποσταθμού ΧΤ/ΜΤ του Φ/Β σταθμού:



Τα καλώδια του Φ/Β σταθμού τοποθετήθηκαν σε κανάλια όδευσης. Δημιουργήθηκαν οι παρακάτω τύποι καναλιών:

- Κανάλι όδευσης ενός τριφασικού κυκλώματος ΜΤ (4 μονοπολικά καλώδια με αγωγούς XLPE) και αγωγού γείωσης, διαστάσεων (ΒxΠ) 100 x 70 cm.
- Κανάλι όδευσης αγωγού γείωσης διαστάσεων (ΒxΠ) 100 x 50 cm.
- Κανάλι (τσιμεντένιο) όδευσης των καλωδίων ΧΤ, διαστάσεων (ΒxΠ) 100 x 70 cm.

Οι οδεύσεις των καλωδίων παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα:



Αναφορικά με τη γείωση του Φ/Β σταθμού δεν επιλέχθηκε η λύση της θεμελιακής γείωσης στο πλήρες σετ των βάσεων στήριξης λόγω του ότι οι βάσεις από σκυρόδεμα δεν έχουν τον απαιτούμενο όγκο για να θεωρηθεί ικανή η θεμελιακή γείωση. Έτσι ως λύση επιλέχθηκε αυτής της περιμετρικής γείωσης ανά βάση στήριξης.

Η περιμετρική γείωση κατασκευάστηκε με τη χρήση ταινίας 30 x 3,5 cm St/tZn, χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη. Στηρίγματα-ορθοστάτες ταινίας τοποθετήθηκαν ανά 2 μέτρα και στηρίζουν την ταινία κατά την επίχωση σε κάθετη θέση για την αποφυγή φουσαλίδων (εγκλωβισμό αέρα). Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν 4 ηλεκτρόδια γείωσης 1500mm στο μήκος των Φ/Β πλαισίων τα οποία συνδέονται με την ταινία με συνδέσμους για καλύτερη αντίσταση γείωσης. Η περιμετρική γείωση ενώνεται σε 2 σημεία με την αλουμινένια βάση των κυψελών με αγωγό Φ10.

Επιπλέον στον υποσταθμό ΜΤ πραγματοποιήθηκε θεμελιακή γείωση με ταινία γαλβανισμένου χάλυβα 40 x 4 mm και περιμετρική γείωση με αγωγό επικασσιτερωμένου χαλκού διατομής 50mm². Το σύστημα γείωσης του υποσταθμού ενώνεται σε αρκετά σημεία με το σύστημα γείωσης της υπόλοιπης εγκατάστασης. Το παρακάτω Σχήμα παρουσιάζει ένα γενικό διάγραμμα των γειώσεων του σταθμού.

