



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

## **ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΣΕ Φ/Β ΠΑΡΚΟ 80KW<sub>p</sub>**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ηλίας Ε. Κουτελιδάκης**  
Αρ.Μητρώου:03106404

Επιβλέπων: κ. Κωνσταντίνος Θ. Δέρβος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2012



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ  
ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ ΣΕ Φ/Β  
ΠΑΡΚΟ 80KW<sub>p</sub>**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ηλίας Ε. Κουτελιδάκης**  
Αρ.Μητρώου:03106404

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ...../...../2012

.....

.....

.....

Κων/νος Θ. Δέρβος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κων/νος Καραγιαννόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Παναγιώτα Βασιλείου  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2012

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

Copyright © Ηλίας Ε. Κουτελιδάκης, 2012  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

- Τον κ. Δέρβο, Καθηγητή Ε.Μ.Π. στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ για τη θετική ανταπόκριση ανάληψης διπλωματικής εργασίας και την πολύτιμη βοήθεια του σε απορίες και ερωτηματικά, όπως και όλη την επιστημονική του ομάδα
- Τον κ. Σπύρο Καλησπεράκη, Διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π, για τη βοήθεια εύρεσης της εργασίας, συμβουλών κατά την εκπόνησή της, καθώς και εξοπλισμού ή πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία
- Την εταιρεία ACE Ηλεκτρονικά Ισχύος (και συγκεκριμένα τους κ. Χ. Σεϊτανίδη, Κ. Ραφτόπουλο, Δ. Βλάχο και Γ. Αγγέλου) στην οποία εργάστηκα κατά το χρονικό διάστημα εκπόνησης της εργασίας και απέκτησα σημαντικότερες γνώσεις και εμπειρία στον τομέα των Φ/Β πάρκων θεωρητικά και πρακτικά(κατασκευή πάρκου κεφαλαίου 3)
- Τους φοιτητές, Παντελή Παρασκευά για τη πολύτιμη βοήθεια του κατά τη συγγραφή της εργασίας και Ανδρέα Καραβίτη για το φωτογραφικό υλικό που μου εμπιστεύτηκε
- Και τέλος τους γονείς μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν και καθορίζουν την παραγόμενη ισχύ και ενέργεια σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο 80KWp αφού προηγουμένως παρουσιαστεί μία λεπτομερής ηλεκτροτεχνική μελέτη. Επίσης παρουσιάζεται μία ηλεκτροτεχνική μελέτη ενός Φ/Β πάρκου ίδιας ισχύος με εντελώς διαφορετικό τρόπο και προδιαγραφές κατασκευής ώστε να υπάρχει η δυνατότητα κάποιος να μελετήσει ένα εναλλακτικό τρόπο Φ/Β εγκατάστασης. Η μελέτη για τους παράγοντες καθορισμού της παραγόμενης ισχύος-ενέργειας επικεντρώνεται κυρίως στους όρους θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία καθώς αυτοί ευθύνονται για το 85-90% της ενεργειακής απόδοσης ενός Φ/Β πάρκου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση του φαινομένου της ηλιακής ακτινοβολίας, της μετατροπής σε ηλεκτρική καθώς και μία γενική περιγραφή των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των αναστροφών που αποτελούν το κύριο ηλεκτρικό κομμάτι μιας Φ/Β εγκατάστασης. Επιπλέον, περιγράφεται μία μεθοδολογία υπολογισμού του φαινομένου σκίασης από συστοιχία σε συστοιχία με παράδειγμα στο πάρκο που πρόκειται να μελετηθεί στην εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται εκτενώς η ηλεκτρομηχανολογική μελέτη του Φ/Β πάρκου, με την ονομασία 2km-ρν, όπως η κατασκευή για το DC και AC κομμάτι της εγκατάστασης, οι σύνδεση των αναστροφών και της εγκατάστασης στο δίκτυο όπως επίσης και το σύστημα γείωσης που έχει επιλεγεί δίνοντας έτσι έμφαση στη σημασία του για την ασφαλή λειτουργία του πάρκου.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μία ανάλογη διαδικασία με το δεύτερο κεφάλαιο για ένα Φ/Β πάρκο που κατασκευάστηκε σε άλλη περιοχή με εντελώς διαφορετικό τρόπο και στο οποίο διέθεσα στοιχεία και από την προσωπική μου εμπειρία συμμετέχοντας πρακτικά κατά τη διάρκεια κατασκευής του. Αρκετά συχνά αναφέρονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σ' αυτό το διαφορετικό τρόπο κατασκευής ενώ άλλα παραλείπονται ως δευτερεύοντα αφήνοντας τον οποιοδήποτε μελετητή να έχει την ευχέρεια να τα αποφασίσει.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ετήσιας λειτουργίας του Φ/Β πάρκου του δευτέρου κεφαλαίου όσον αφορά την παραγόμενη ισχύ-ενέργεια και τους παράγοντες που την επηρεάζουν διαθέτοντας πραγματικές μετρήσεις μέσω οργάνων που διαθέτει η εγκατάσταση και οι οποίες είναι διαθέσιμες διαδικτυακά. Επίσης γίνεται μία περιληπτική περιγραφή όλων των παραγόντων που είναι ικανοί να καθορίσουν την εξέλιξη της παραγόμενης ισχύος και η εξάρτηση των ηλεκτρικών μεγεθών τάσης-ρεύμα από τη θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μία απλή παρουσίαση των ετήσιων αποτελεσμάτων από μετρήσεις ενός άλλου Φ/Β πάρκου σε περιοχή με το ίδιο γεωγραφικό πλάτος και παρόμοιες καιρικές συνθήκες και πιθανές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν στο πάρκο του δευτέρου κεφαλαίου ώστε η μελέτη που διεξάχθηκε να είναι περισσότερο ακριβής.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται κάποιες προδιαγραφές υλικών και εξαρτημάτων που θα ήταν θεμιτό κάποιος μελετητής ή κατασκευαστής να ακολουθήσει σε μια τέτοια κατασκευή ενώ ταυτόχρονα γίνεται μία συνολική αποτίμηση της εργασίας και προτάσεις για περαιτέρω εξέλιξη και έρευνα στον τομέα των φωτοβολταϊκών και της μελέτης των παραγόντων καθορισμού ισχύος, με τη μορφή συμπερασμάτων.

## ABSTRACT

The scope of the present thesis is the analysis of the factors which affect and determine the produced electrical power and energy in a photovoltaic park 80KWp after a detailed electro study is presented. It is also presented an electro study of a photovoltaic park of the same power with a completely different way and construction specifications that someone could have the possibility to study an alternative way of photovoltaic installation. As regards the determinants of produced power-energy, the analysis is focused , especially, on the terms temperature and solar radiation as they are blamed for the 85-90% of the energy efficiency in a photovoltaic park.

In the first chapter a presentation of the solar radiation is being, the conversion to electrical energy and also a general description of the photovoltaic modules and inverters which constitute the main electrical section of a photovoltaic installation.

In the second chapter it is described an electrical and mechanical study of the photovoltaic park which called 2km-pv as well as the construction for the DC and AC section of the installation. In addition, it is described a calculation methodology about the phenomenon of shade from PV array to array with an example to the park which is going to be analyzed in the thesis.

In the third chapter it is being an analogue procedure with the second chapter for a PV park which is constructed in another place with a different way and in which I provided data from my personal experience participating practically during its construction. A lot of times advantages and disadvantages are referred in this different way of construction although others are skipped as secondary.

In the fourth chapter the results of the annual operation of the PV park in second chapter are referred as regards the producing power-energy and the factors which affect them taking real measurements which are available in the internet through instruments. In addition, it is being a general description of all factors which are able to affect the producing power and also it is referred the addiction to the electrical measures(voltage and current) by the temperature and the solar radiation.

In the fifth chapter it is being a simple presentation of the annual measurements of another PV park in a region with the same latitude and similar weather conditions and also probable improvements which could be done in the PV park of the second chapter in order to be more accurate.

In the end, in the sixth chapter, some standards of materials and equipment are presented and simultaneously a total valuation of the thesis is being with a form of conclusions.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή.....	σελ.9
1.2 Η Ηλιακή ακτινοβολία.....	σελ.11
1.3 Η Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.....	σελ.14
1.4 Φωτοβολταϊκές κυψέλες.....	σελ.16
1.5 Είδη φωτοβολταϊκών κυψελών.....	σελ.18
1.6 Τα Φ/Β πλαίσια.....	σελ.19
1.7 Αναστροφείς(inverters).....	σελ.21
1.8 Υπολογισμός τοποθέτησης των Φ/Β πλαισίων με βάση τη σκίαση.....	σελ.29

## Κεφάλαιο 2

2.1 Εισαγωγή.....	σελ.35
2.2 Γενική περιγραφή τοπολογίας του Φ/Β πάρκου.....	σελ.35
2.3 DC καλωδίωση.....	σελ.40
2.4 Πτώση τάσης και απώλεια ισχύος στη DC.....	σελ.43
2.5 Προστασία στη DC πλευρά της εγκατάστασης.....	σελ.47
2.6 Αναστροφέας: Ασφάλεια δικτύου και απόδοση αναστροφέα.....	σελ.48
2.7 Σύνδεση αναστροφέων στο γενικό πίνακα Χ.Τ. και καλώδιο παροχής στο μετρητή.....	σελ.51
2.8 Προστασίες πινάκων από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα.....	σελ.57
2.9 Σύστημα γείωσης στη Φ/Β εγκατάσταση και αντικεραυνική προστασία.....	σελ.60

## Κεφάλαιο 3

3.1 Εισαγωγή.....	σελ.63
3.2 Εναλλακτικός τρόπος εγκατάστασης Φ/Β πάρκου ίδιας ισχύος.....	σελ.63
3.3 Γενική περιγραφή τοπολογίας του εναλλακτικού Φ/Β πάρκου.....	σελ.63
3.4 DC καλωδίωση.....	σελ.67
3.5 Προστασία στη DC πλευρά της εγκατάστασης.....	σελ.68
3.6 Αναστροφέας: Ασφάλεια δικτύου και απόδοση αναστροφέα.....	σελ.70
3.7 Σύνδεση αναστροφέων στο γενικό πίνακα Χ.Τ.....	σελ.75
3.8 Προστασίες πινάκων από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα.....	σελ.77
3.9 Σύστημα γείωσης στη Φ/Β εγκατάσταση και αντικεραυνική προστασία.....	σελ.82

## Κεφάλαιο 4

4.1 Εισαγωγή.....	σελ.87
4.2 Γενική περιγραφή παραγόντων που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ και ενέργεια.....	σελ.87
4.3 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγόμενη τάση-ρεύμα.....	σελ.90
4.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγόμενη τάση και το ρεύμα.....	σελ.91

4.5 Ειδικό λογισμικό για την απεικόνιση των παραγόντων και της παραγόμενης ισχύος στο διαδίκτυο.....	σελ.95
4.6 Μελέτη της παραγόμενης ενέργειας του Φ/Β πάρκου σε διάστημα ενός έτους σε σχέση με τους παράγοντες που την επηρεάζουν.....	σελ.97
4.7 Εκτίμηση των αποτελεσμάτων της μελέτης-Πιθανές Βελτιώσεις και συμπεράσματα.....	σελ.129

## **Κεφάλαιο 5**

5.1 Εισαγωγή.....	σελ.133
5.2 Μελέτη παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β πάρκο ίδιας ισχύος σε κοντινή περιοχή.....	σελ.133

## **Κεφάλαιο 6**

6.1 Προδιαγραφές υλικών και εξαρτημάτων σε μια Φ/Β εγκατάσταση.....	σελ.135
6.2 Συμπεράσματα.....	σελ.144

Βιβλιογραφία.....	σελ.146
-------------------	---------



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των κυρίαρχων παραμέτρων που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ και ενέργεια σε ένα ήδη εγκατεστημένο Φ/Β πάρκο 80KWp στην περιοχή Κάτω Πόρος του Δήμο Ρεθύμνης στην Κρήτη. Το παραπάνω πάρκο παραδόθηκε και συνδέθηκε στο δίκτυο ΧΤ της περιοχής το Δεκέμβριο του 2010 και έως σήμερα λειτουργεί κανονικά. Για τη μελέτη των παραπάνω παραμέτρων θα χρησιμοποιήσουμε χρονικό διάστημα 1 έτους(02/2011-02/2012) και αυτό γιατί αφενός θα έχουμε σύγκριση δεδομένων μεγάλου χρονικού διαστήματος και αφετέρου έχει παρατηρηθεί από άλλες τέτοιες μελέτες(μελετητών της εταιρείας SMA) ότι αυτό το διάστημα είναι ιδανικό για τη δημιουργία λογικών συμπερασμάτων που αφορούν το συντελεστή απόδοσης μιας Φ/Β εγκατάστασης και άρα το ποσοστό επιρροής κάθε ένα από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την παραγόμενη ενέργεια.

Η παρατήρηση των παραγόντων αυτών κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πάρκου είναι ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι όσον αφορά τις Φ/Β εγκαταστάσεις. Αυτό προκύπτει απ'το γεγονός ότι αφενός η παραγόμενη ενέργεια μεταφράζεται σε χρήματα για τον ιδιοκτήτη οπότε είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τους παράγοντες που μπορεί να την παρεκκλίνουν θετικά ή αρνητικά και αφετέρου διότι αυτό μας εφοδιάζει με εμπειρία και γνώση για εκτιμήσεις σε μελλοντικές εγκαταστάσεις.

Στην εγκατάσταση αυτή χρησιμοποιήθηκαν Φ/Β πλαίσια (Aleo S18/220Wp) συνολικού εμβαδού 548m<sup>2</sup> και 9 μονοφασικοί SMA αναστροφείς DC/AC. Επίσης κατά τη διάρκεια εγκατάστασης του πάρκου κατεβλήθη χρηματικό ποσό στη ΔΕΗ ώστε να εγκατασταθεί Μ/Σ υποβιβασμού 20KV/0,4KV καθώς το δίκτυο ΜΤ που έφθανε κοντά στο οικοπέδο έπρεπε να μετατραπεί τοπικά σε ΧΤ ώστε να συνδεθεί το πάρκο αυτό. Στη συνέχεια της παρούσας εργασίας θα γίνει προσπάθεια εκτενέστερης ανάλυσης όλων των παραπάνω με τη δημιουργία κεφαλαίων και παραγράφων ώστε σε κάθε ένα από αυτά να προσφέρονται γνώσεις και πληροφορίες για ένα ασφαλές και λειτουργικό Φ/Β πάρκο.

Τέλος, θα γίνει αναφορά σε μία άλλη Φ/Β εγκατάσταση, που κατασκευάστηκε στην περιοχή Λευκόγεια του Δήμου Αγ.Βασιλείου στο νομό Ρεθύμνης, η οποία και παρουσιάζει ένα εναλλακτικό τρόπο εγκατάστασης ενός Φ/Β πάρκου ίδιας ισχύος με το κύριο πάρκο που μελετάται στην εργασία.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 Εισαγωγή

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της σημερινής εποχής είναι η έντονη περιβαλλοντική και ενεργειακή κρίση. Η μείωση των φυσικών καυσίμων εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης τους, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η καταστροφή του οικοσυστήματος και του περιβάλλοντος είναι μερικά από τα προβλήματα των τελευταίων δεκαετιών. Επιτακτική, λοιπόν, προβάλλει η ανάγκη για την ανάπτυξη εναλλακτικών τρόπων παραγωγής ενέργειας με υψηλή αποδοτικότητα και χαμηλή εκπομπή ρύπων.

Μια λύση για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων αποτελούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η γεωθερμία, η ενέργεια των ανέμων και των ωκεανών, η καύση φυτικών προϊόντων (βιομάζα) ή οργανικών αποβλήτων.

Μια άλλη πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις παραπάνω απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις, και που η ενδεχόμενη αξιοποίηση της βρήκε ανεπιφύλακτη αποδοχή στη διεθνή κοινή γνώμη, είναι η ηλιακή ακτινοβολία, που μετατρέπεται αφενός σε θερμότητα και αφετέρου σε ηλεκτρισμό βάσει του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σχ.1.1). Τα συστήματα αυτού του είδους έχουν την δυνατότητα να παράγουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα όταν εκτεθούν σε ηλιακή ακτινοβολία.

Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη Γη. Το ετήσιο συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της γης είναι περίπου ίσο με 10.000 φορές την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Η ηλιακή ακτινοβολία, έξω από την γήινη ατμόσφαιρα είναι  $1,4 \text{ KW} / \text{m}^2$ , εκφρασμένη σε μονάδες  $Q$  (όπου  $Q = 1018 \text{ BTU}$ ). Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσβάλλει τη γη σε ένα χρόνο είναι  $5000Q$ . Περισσότερο από το μισό αυτής της ποσότητας φθάνει στην επιφάνεια της γης, όπου  $900Q$  ανά έτος απορροφώνται από το έδαφος και το υπόλοιπο από τα ύδατα. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας όπου απορροφάται κάθε χρόνο με τη μέθοδο της φωτοσύνθεσης στη βλάστηση γενικά εκτιμάται σε  $0,15Q$ . Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή με ικανοποιητική απόδοση μετατροπής.

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άλλα άχρηστα προϊόντα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών με κριτήριο την απαίτηση ισχύος, από πολύ μικρές τιμές έως πολύ μεγάλες. Υπάρχει αφθονία πρώτων υλών για την κατασκευή των ηλιακών κυψελών. Επίσης, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και πολύ μικρό κόστος συντήρησης.

Ωστόσο, αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας έχει και κάποια μειονεκτήματα όπως είναι το υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών κυψελών και η απαίτηση χρησιμοποίησης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Αν γίνει αναφορά στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών διατάξεων προκύπτουν τα παρακάτω:

Σε σχέση με τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

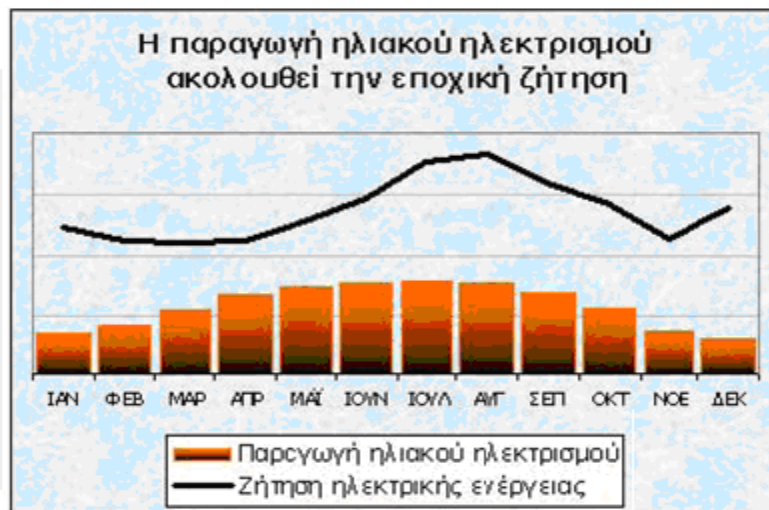
- Παρουσιάζει μηδενική ρύπανση και επιβάρυνση του περιβάλλοντος
- Δεν χρησιμοποιούνται διατάξεις με περιστρεφόμενα μέρη κάτι που συνεπάγεται την αθόρυβη λειτουργία, την αξιοπιστία και ελάχιστες ανάγκες συντήρησης
- Η διάρκεια ζωής των Φ/Β στοιχείων είναι μεγάλη (20 με 25 χρόνια)
- Υπάρχει δυνατότητα τόσο για αυτόνομη όσο και για διασυνδεδεμένη λειτουργία των Φ/Β σταθμών
- Τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, από μερικά Watt έως και δεκάδες MW

Παρόλα αυτά παρουσιάζουν και μειονεκτήματα όπως:

- Χαμηλή απόδοση μετατροπής για κοινά Φ/Β πλαίσια κάτι που σημαίνει ότι απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις για την τοποθέτησή τους
- Ακριβός εξοπλισμός με αποτέλεσμα υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης
- Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με μεγάλους συντελεστές απωλειών κάνοντάς την όχι τόσο αποδοτική. Επιπλέον, οι συσσωρευτές αποθήκευσης έχουν μεγάλο κόστος.
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι άμεση συνδεδεμένη με τις παρούσες καιρικές συνθήκες, παράγοντας ο οποίος δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια.



**Σχ.1.1** Παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ανά έτος



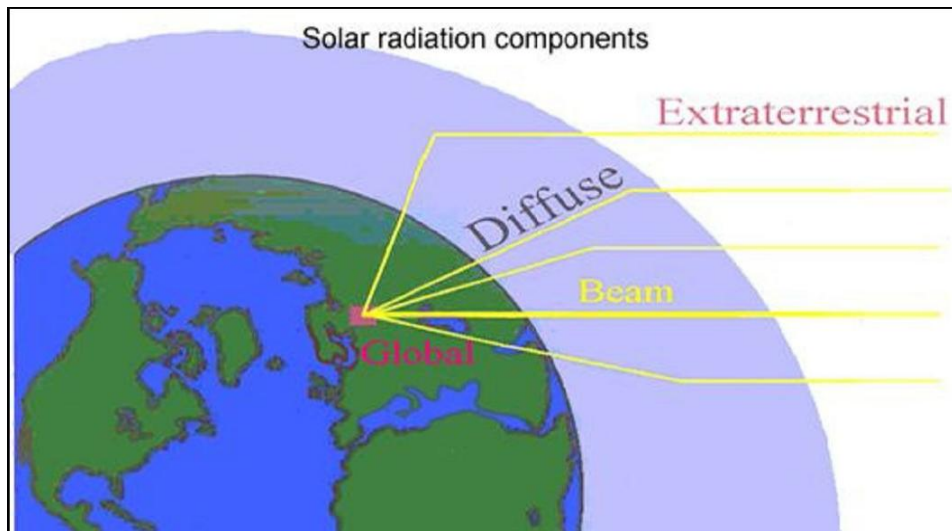
**Σχ.1.2** Σχέση ηλιακού ηλεκτρισμού και ζήτησης

## 1.2 Η Ηλιακή ακτινοβολία

Για την παραγωγή ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας, την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται από τον πυρήνα του Ήλιου, όπου γίνεται η πυρηνική σύντηξη ατόμων υδρογόνου και ατόμων ηλίου. Κάθε δευτερόλεπτο αυτής της διεργασίας, 700 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται σε 695 εκατομμύρια τόνους ηλίου. Οι υπόλοιποι 5 εκατομμύρια τόνοι μετατρέπονται σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η οποία εκλύεται από την επιφάνεια του Ήλιου στο διάστημα.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέλθει στην ατμόσφαιρα, ένα μέρος της σκεδάζεται (από μόρια αέρα, νερού και σκόνης) και ένα μέρος απορροφάται (από  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ). Μόνο, λοιπόν, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στο έδαφος χωρίς να έχει υποστεί κάποια επίδραση. Αυτή η συνιστώσα ακτινοβολία ονομάζεται ακτινική ή άμεση ακτινοβολία.

Ένα μέρος της σκεδασμένης ηλιακής ακτινοβολίας επιστρέφει στο διάστημα, όμως το υπόλοιπο μέρος της σκεδασμένης ηλιακής ακτινοβολίας καταφέρνει να φτάσει στο έδαφος. Η ηλιακή αυτή ακτινοβολία, της οποίας η κατεύθυνση έχει αλλάξει λόγω της σκέδασης στην ατμόσφαιρα, ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 1.3.



Σχ.1.3 Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Τιμή μάζας αέρα	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς (W/m <sup>2</sup> )	Μέση ενέργεια των φωτονίων (eV)
AM0	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα	1350	1,48
AM1	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	1060	1,38
AM2	Απόσταση του ήλιου 60 <sup>0</sup> από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	880	1,32
AM3	Απόσταση του ήλιου 70,5 <sup>0</sup> από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα	750	1,21

Πίνακας 1.1: Οι πρότυπες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίμακα μάζας αέρα (Air Mass)

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα οριζόντιο επίπεδο είναι το άθροισμα της ακτινικής και της διάχυτης ακτινοβολίας:

$$I = I_b + I_d$$

όπου:

$I$  είναι η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης,  
 $I_b$  είναι η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο,  
 $I_d$  είναι η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.

Εάν η υπό εξέταση επιφάνεια είναι κεκλιμένη, τότε στον προηγούμενο ορισμό πρέπει να προστεθεί η ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από το έδαφος (ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία).

$$I_t = I_{b,t} + I_{d,t} + I_{ref,t}$$

όπου:

$I_t$  η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο στην επιφάνεια της Γης,  
 $I_{b,t}$  η ακτινική συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο,  
 $I_{d,t}$  η διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο και  
 $I_{ref,t}$  η ανακλώμενη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης, δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού. Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόριο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες της τιμές είναι +23,45ο στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και -23,45ο στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Όσον αφορά τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα [kwh/m <sup>2</sup> ]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m <sup>2</sup> ]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m <sup>2</sup> ]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m <sup>2</sup> ]
Ιανουάριος	91.99	85.180	92.59	91.53
Φεβρουάριος	103.74	94.492	107.72	105.99
Μάρτιος	138.94	128.34	146.85	144.58
Απρίλιος	156.97	144.38	171.17	168.03
Μάιος	179.01	166.69	197.67	194.27
Ιούνιος	176.60	166.03	195.51	192.45
Ιούλιος	184.75	176.44	200.81	198.52
Αύγουστος	184.19	176.86	195.57	193.84
Σεπτέμβριος	166.22	157.38	173.61	171.81
Οκτώβριος	139.06	131.02	141.68	140.32
Νοέμβριος	107.64	95.92	111.38	109.30
Δεκέμβριος	88.51	80.42	89.71	88.40
Μέση ετήσια	143.13	133.59	152.02	149.92

Πίνακας 1.2: Διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες ελληνικές περιοχές

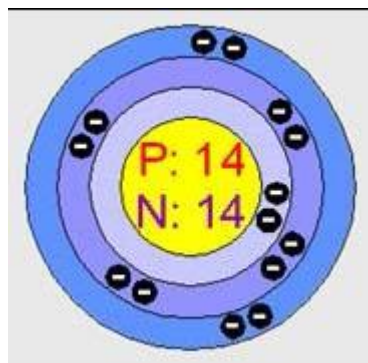
### 1.3 Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική

Η πρώτη παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου έγινε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Henri Becquerel. Ο Becquerel ανακάλυψε πως είναι δυνατόν να εμφανισθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν μια φωτεινή πηγή εφαρμοσθεί σε ορισμένα χημικά διαλύματα. Το 1883, η πρώτη ηλιακή κυψέλη κατασκευάστηκε από τον Charles Fritts, ο οποίος χρησιμοποίησε το σελήνιο με ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα χρυσού για την κατασκευή των ενώσεων. Η συσκευή ήταν περίπου 1% αποτελεσματική. Στη συνέχεια, ο Ρώσος φυσικός Aleksandr Stoletov κατασκεύασε την πρώτη ηλιακή κυψέλη με βάση το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (το ανακάλυψε ο Heinrich Hertz νωρίτερα το 1887). Ενώ, το 1946 ο Russell Ohl κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας την κατασκευή ενώσεων ηλιακών κυψελών. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο άρχισε να γίνεται παγκοσμίως γνωστή κυρίως με την ανακοίνωση της πρώτης κατασκευής ηλιακής κυψέλης πυριτίου από τους Fuller, Pearson και Chappin το 1954.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπίπτοντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων του ατόμου στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερος γνωστός ημιαγωγός και το πιο σύνηθες υλικό κατασκευής των ηλιακών κυψελών είναι το πυρίτιο (Si).



Σχ.1.4 Το άτομο πυριτίου

Το πυρίτιο έχει κάποιες ιδιαίτερες χημικές ιδιότητες στην κρυσταλλική του δομή. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4, ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανομημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι πρώτες δύο στοιβάδες, αυτές που είναι πιο κοντά στο κέντρο, είναι συμπληρωμένες (2 και 8 ηλεκτρόνια αντίστοιχα). Η εξωτερική στοιβάδα όμως έχει μόνο 4 ηλεκτρόνια ενώ θα έπρεπε να έχει 8. Γι' αυτό μοιράζεται ηλεκτρόνια με

τα γειτονικά του άτομα. Έτσι, τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν την κρυσταλλική δομή του πυριτίου, που είναι πολύ σημαντική για τις ηλιακές κυψέλες.

Αυτό είναι το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο. Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού αφού κανένα ηλεκτρόνιο του δεν είναι ελεύθερο να μετακινηθεί όπως τα ηλεκτρόνια στους καλούς αγωγούς, σαν το χαλκό. Αντίθετα τα ηλεκτρόνια του είναι «κλειδωμένα» στην κρυσταλλική δομή του. Το πυρίτιο σε μια ηλιακή κυψέλη τροποποιείται ελαφρά έτσι ώστε να μπορέσει να λειτουργήσει σαν ηλιακή κυψέλη. Το κρυσταλλικό πυρίτιο αναμιγνύεται με άτομα φωσφόρου. Ο φώσφορος έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα και όχι 4 όπως το πυρίτιο.

Πάλι συνδέεται με τα γειτονικά του άτομα πυριτίου αλλά ο φώσφορος έχει ένα ηλεκτρόνιο που δεν συνδέεται με κάποιο άλλο. Δεν σχηματίζει δεσμό, αλλά υπάρχει ένα θετικό πρωτόνιο στον πυρήνα του φωσφόρου που το συγκρατεί.

Όταν διοχετεύεται ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, για παράδειγμα με τη μορφή θερμότητας, μερικά ηλεκτρόνια σπάζουν τους δεσμούς τους και φεύγουν από τα άτομα τους. Τότε δημιουργείται μια κενή θέση στο άτομο. Αυτά τα ηλεκτρόνια περιφέρονται τυχαία μέσα στο κρυσταλλικό πυρίτιο αναζητώντας μια άλλη θέση. Έτσι μεταφέρουν την ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα). Είναι τόσο λίγα που δεν είναι πολύ χρήσιμα. Το πυρίτιο, όμως, με άτομα φωσφόρου είναι κάτι διαφορετικό. Χρειάζεται λιγότερη ενέργεια για να ελευθερωθεί το επιπλέον ηλεκτρόνιο του φωσφόρου, αφού αυτό δεν σχηματίζει δεσμό με άλλο (τα γειτονικά ηλεκτρόνια δεν το συγκρατούν).

Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος, που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου. Η διαδικασία μίξης ατόμων κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί πυρίτιο που ονομάζεται πυρίτιο τύπου N (Negative, Αρνητικό) εξαιτίας της υπεροχής του αριθμού των ηλεκτρονίων και είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

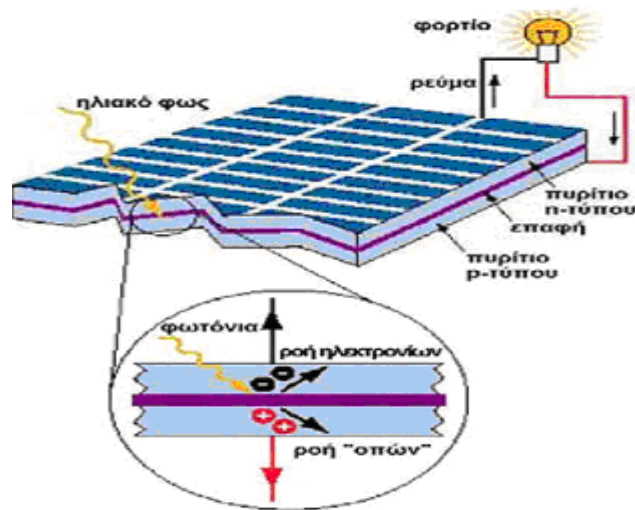
Στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος της ηλιακής κυψέλης είναι πυρίτιο τύπου N. Το άλλο μέρος είναι ανάμειξη κρυσταλλικού πυριτίου με βόριο, το οποίο έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα αντί για 4, και μετατρέπεται σε πυρίτιο τύπου P. Αντί να έχει ελεύθερα ηλεκτρόνια, το πυρίτιο τύπου P (Positive, θετικό) έχει ελεύθερες θέσεις. Οι θέσεις αυτές είναι ουσιαστικά απουσία ηλεκτρονίων, και έτσι μεταφέρουν αντίθετο φορτίο (θετικό) και περιφέρονται όπως και τα ηλεκτρόνια.

Όταν τοποθετηθούν μαζί πυρίτιο τύπου P και N, η ηλιακή κυψέλη έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρικό πεδίο. Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο, η κυψέλη δεν θα λειτουργούσε. Ξαφνικά τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου N ψάχνουν για ελεύθερες θέσεις και προσπαθούν να καλύψουν τις κενές θέσεις στο πυρίτιο τύπου P. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο P στο N αλλά όχι αντίστροφα. Έτσι, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο που λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, στο οποίο τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν σε μια μόνο κατεύθυνση.

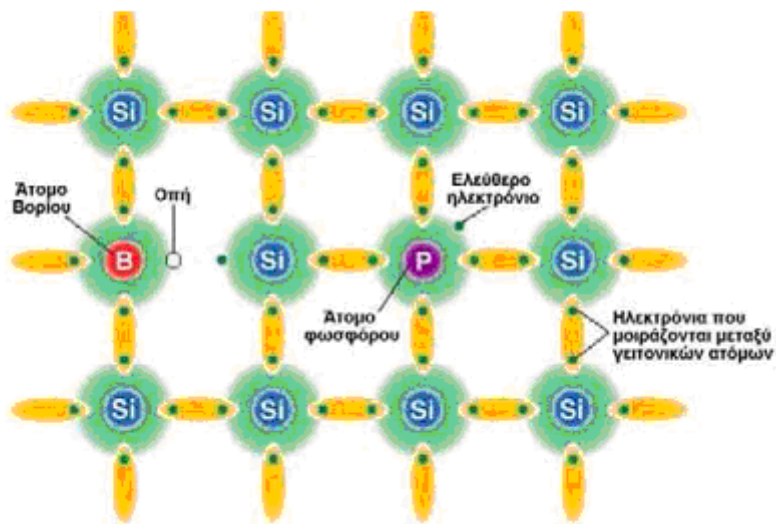
Άρα λοιπόν, η λειτουργία των ηλιακών κυψελών βασίζεται στην δημιουργία ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού. Όσο διαρκεί η ακτινοβολή της κυψέλης, δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη φορέων. Αν οι ελεύθεροι αυτοί φορείς δεν επανασυνδυαστούν αλλά βρεθούν στην περιοχή της ένωσης P-N, θα δεχτούν το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο της διόδου και θα διαχωριστούν. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου N και οι οπές μεταφέρονται προς το τμήμα τύπου P, με αποτέλεσμα η συσσώρευση αυτή του φορτίου στα δυο τμήματα να δημιουργεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες της διόδου. Η διάταξη, δηλαδή, λειτουργεί ως ορθά πολωμένη δίοδος και ως πηγή ηλεκτρικού ρεύματος για όσο διαρκεί η οπτική διέγερση.



Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δυο όψεις της ηλιακής κυψέλης σύμφωνα με την διαδικασία που προαναφέρθηκε ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Σχ.1.5 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

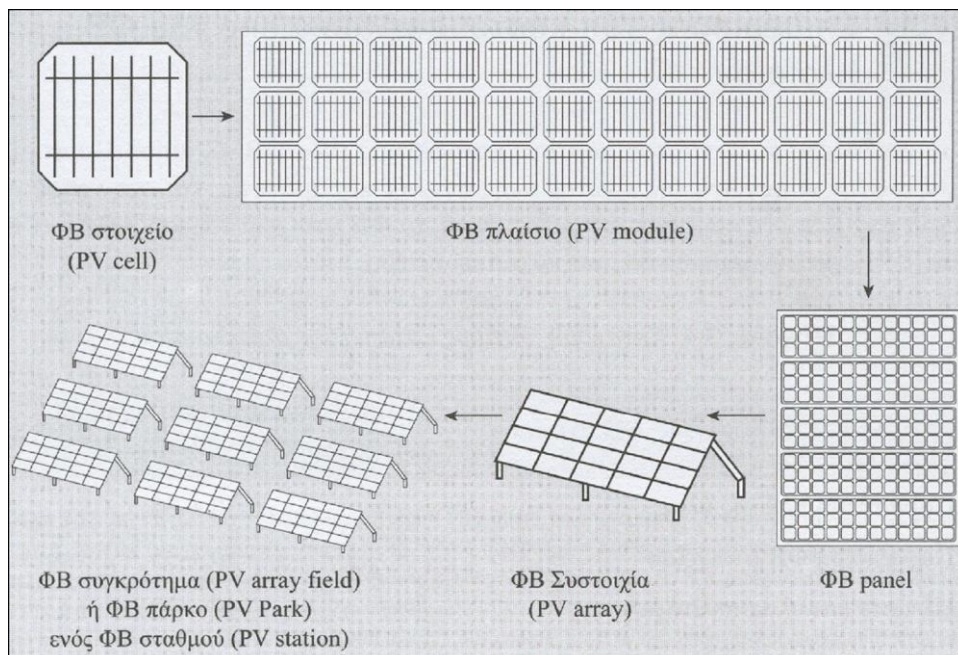


Σχ.1.6 Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης.

## 1.4 Φωτοβολταϊκές κυψέλες

Επειδή η ενέργεια που παράγεται από μια ηλιακή κυψέλη είναι περιορισμένη και προκειμένου να παραχθεί μια σημαντική ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος, πολλές ηλιακές κυψέλες συνδέονται μεταξύ τους ηλεκτρονικά, σχηματίζοντας έτσι ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις, στις οποίες γίνεται παραγωγή μέσης ή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ισχύος, απαιτείται η ύπαρξη πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα οποία συνδέονται και σχηματίζουν ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Τα

φωτοβολταϊκά πλαίσια διατάσσονται με τέτοιο τρόπο, στο διαθέσιμο χώρο, ώστε να μην προκαλούνται προβλήματα σκίασης μεταξύ των διαφορετικών σειρών των πλαισίων.

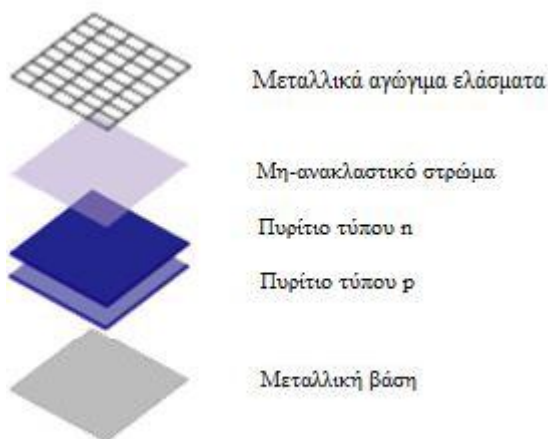


**Σχ.1.7** Σύνθεση ηλιακών κυψελών και πλαισίων

Για λόγους μηχανικής αντοχής και ευχρηστίας, οι ηλιακές κυψέλες έχουν ενσωματωμένα στο περίγραμμα τους μεταλλικά ελάσματα ανοδιωμένου αλουμινίου και για λόγους προστασίας είναι αεροστεγώς και υδατοστεγώς κλεισμένα μέσα σε ειδικό γυαλί και ειδικό μονωτικό πλαστικό(σχ. 1.8).

Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από:

- Μεταλλική βάση
- Πυρίτιο τύπου P
- Πυρίτιο τύπου N
- Μη-ανακλαστικό στρώμα επικάλυψης
- Μεταλλικά αγωγίμα ελάσματα



Σχ.1.8 Δομή ηλιακής κυψέλης

## 1.5 Είδη Φ/Β κυψελών

Πολύ επιγραμματικά γίνεται αναφορά ότι στην παγκόσμια αγορά εμφανίζονται 3 κύριοι τύποι Φ/Β κυψελών ανάλογα με την καθαρότητα του κρυστάλλου Si. Τα άμορφα, τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά. Τα τελευταία είναι τα πιο διαδεδομένα καθότι έχουν μικρές αποκλίσεις απόδοσης από τα υπόλοιπα δύο και συμφέρουν στην τιμή αγοράς τους. Όσον αφορά τις αποδόσεις των 3 τύπων ακολουθεί ο παρακάτω πίνακας:

Υλικό της ηλιακής κυψέλης	Απόδοση ηλιακής κυψέλης
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	14-17%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	13-15%
Άμορφο πυρίτιο	8-10%

Πίνακας 1.3: Αποδόσεις ηλιακών κυψελών ανάλογα το υλικό τους

## 1.6 Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

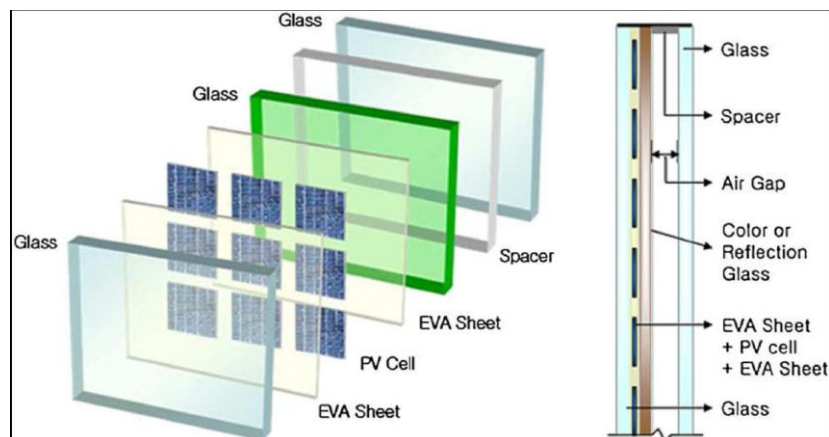
Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από έναν αριθμό ηλιακών κυψελών. Για να γίνει εφικτή η λειτουργία του πλαισίου, είναι σημαντικό να προστατεύονται οι ηλιακές κυψέλες από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για παράδειγμα, οι ηλιακές κυψέλες είναι πολύ λεπτές και άρα επιρρεπείς σε μηχανικές βλάβες. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων και η δομή τους συχνά είναι διαφορετική για τα διάφορα είδη ηλιακών κυψελών ή για τις ποικίλες εφαρμογές τους.

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία είναι:

- Ειδικό γυαλί
- Συμπυκνωμένο υλικό (Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Sheet) για την ενθυλάκωση των κυψελών
- Ηλιακές κυψέλες
- Συμπυκνωμένο υλικό (EVA)
- Ειδικό γυαλί
- Κενό αέρος
- Ειδικό γυαλί

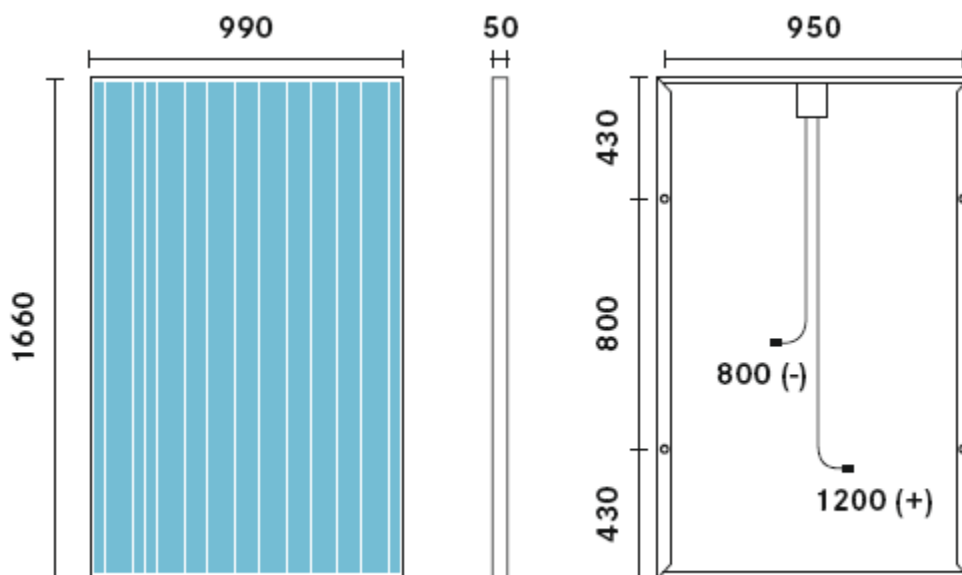
Οι ηλιακές κυψέλες περικλείονται συνήθως από δυο κομμάτια γυαλιού ή ένα φύλλο γυαλιού και ένα πλαστικού, ενώ μερικές φορές εξ ολοκλήρου από πλαστικό.

Τα είδη των γυαλιών που χρησιμοποιούνται είναι διαφανή, χρωματισμένα και αντανακλούν την θερμότητα. Το συμπυκνωμένο υλικό είναι συνήθως EVA, υλικό που εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη διαπερατότητα στο φως. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 1.9.



Σχ.1.9 Δομή Φ/Β πλαισίου

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η όψη και η καλωδίωση(μαζί με το κουτί σύνδεσης των ακροδεκτών) ενός Φ/Β πλαισίου της γερμανικής εταιρείας ALEO(Aleo S\_18 220W). Τα πλαίσια αυτά εγκαταστάθηκαν στο πάρκο που μελετάται.



Αντίστοιχα στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του.

Electrical data(STC)			Aleo S_18 220Wp
Rated power	$P_{mpp}$	[W]	220
Rated voltage	$V_{mpp}$	[V]	28.7
Rated current	$I_{mpp}$	[A]	7.65
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	[V]	36.3
Short-circuit current	$I_{sc}$	[A]	8.24
Efficiency	$n$	[%]	12.72
Area-to-power ratio	$A_p$	[m <sup>2</sup> /KWp]	6.85

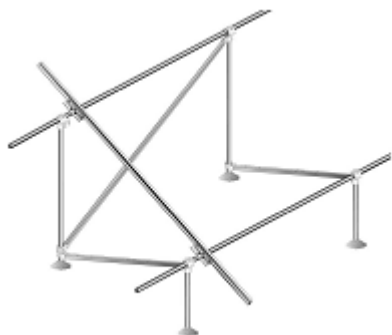
**STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25 °C, 1.5 AM**

Electrical data(NOCT)			Aleo S_18 220Wp
Power	$P_{mpp}$	[W]	173
Voltage	$V_{mpp}$	[V]	27.7
Current	$I_{mpp}$	[A]	6.24
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	[V]	34.0
Short-circuit current	$I_{sc}$	[A]	6.72
Efficiency	$n$	[%]	11.4

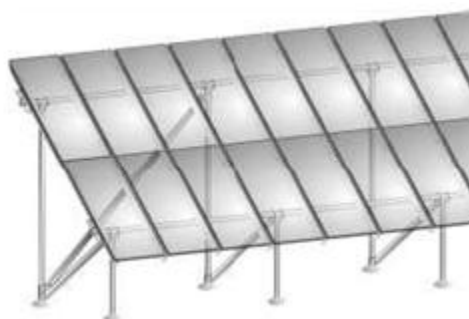
**NOCT: 48<sup>o</sup> C (nominal operating cell temperature) at ambient conditions (20 °C, 800W/m<sup>2</sup>, 1.5AM, wind speed 1m/s)**

Temperature coefficients			
1 <sup>st</sup> temperature coefficient	$I_{sc}$	(%/ °C)	+0.04
2 <sup>nd</sup> temperature coefficient	$V_{oc}$	(%/ °C)	-0.34
3 <sup>rd</sup> temperature coefficient	$P_{mpp}$	(%/ °C)	-0.46

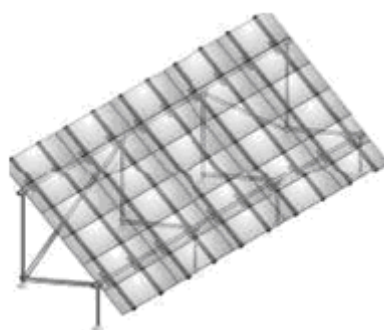
Όσον αφορά την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων στην εγκατάσταση, σαν αρχική προϋπόθεση είναι ο τρόπος διάταξης τους πάνω στις βάσεις στήριξης που είναι καρφωμένες μέσα στο έδαφος μετά από μια σειρά χωματουργικών εργασιών. Η διάταξη των πλαισίων μπορεί να είναι είτε οριζόντια (landscape), δηλ. με τη μεγάλη τους πλευρά παράλληλα στο έδαφος, είτε κατακόρυφα (portrait) με τη μεγάλη πλευρά κάθετα στο επίπεδο του εδάφους(σχ.1.10).



Τοποθέτηση πλαισίου στην βάση



Διάταξη portrait



Διάταξη landscape

**Σχ.1.10** Διατάξεις πλαισίων στις βάσεις

## 1.7 Αναστροφείς (Inverters)

Οι αναστροφείς (inverters) είναι συσκευές που έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν τα DC ηλεκτρικά μεγέθη(τάση και ρεύμα) σε AC. Αυτή η μετατροπή είναι απαραίτητη στις Φ/Β εγκαταστάσεις καθότι τα Φ/Β πλαίσια παράγουν μέσω της φωτεινής ακτινοβολίας, DC μεγέθη. Επομένως για να συνδεθούμε στο δίκτυο της ΔΕΗ που περιέχει AC μεγέθη, θα πρέπει να γίνει η παραπάνω μετατροπή, γεγονός που καθιστά τους αναστροφείς αναπόσπαστο και βασικό κομμάτι της εγκατάστασης.

Συγκεκριμένα, στο πάρκο που μελετάται, τοποθετήθηκαν συνολικά εννέα μονοφασικοί αναστροφείς της αναγνωρισμένης διεθνώς γερμανικής εταιρείας SMA( 3 αναστροφείς **SB 4000TL-20** και 6 αναστροφείς **SMC 11000TL**). Τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά, όπως φαίνονται στο πρόγραμμα Sunny Design της SMA, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

## **SB 4000TL-20**

### **General data**

Protection type	IP 65
Width	18.5 in
Height	17.52 in
Depth	7.09 in
Weight	25 kg

### **Input data**

Max. DC power	4.20 KW
Max. DC voltage	550 V
DC nominal voltage	400 V
PV voltage rate, MPPT	125-440 V
Max. input DC current	15.0 A

### **Output data**

Max. AC power	4.00 KW
Nominal AC power	4.00 KW
Grid voltage	180-280 V
Grid frequency	47.5-50.5 Hz
Efficiency	96.4 %

## **SMC 11000TL**

### **General data**

Protection type	IP 65
Width	18.43 in
Height	24.13 in
Depth	9.53 in
Weight	40 kg

### **Input data**

Max. DC power	11.40 KW
Max. DC voltage	700 V
DC nominal voltage	350 V
PV voltage rate, MPPT	333-500 V
Max. input DC current	34 A

### Output data


Max. AC power	11 KW
Nominal AC power	11 KW
Grid voltage	180-262 V
Grid frequency	47.5-50.5 Hz
Efficiency	97.7%

Το πρόγραμμα Sunny Design διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο από την εταιρεία SMA και έχει εφαρμογή μόνο όταν εγκαθίστανται SMA inverters σε μία φωτοβολταϊκή μονάδα. Καθορίζοντας τη συνολική ισχύ του πάρκου και τον τύπο Φ/Β πλαισίων και αναστροφών, έχει τη δυνατότητα αυτόματα να υπολογίζει τον αριθμό των πλαισίων και των strings ανά inverter καθώς και τον συνολικό αριθμό των inverter που απαιτούνται.

Το πιο σημαντικό, όμως, κομμάτι αυτού του προγράμματος είναι ο αυτόματος υπολογισμός της συμβατότητας των συστοιχιών με τους αναστροφείς (αν δηλαδή οι ακραίες τιμές των ηλεκτρικών μεγεθών των πλαισίων βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια του αναστροφέα δίδοντας τις ακραίες ετήσιες τιμές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και κυψελών που επικρατούν). Αν κάποιο όριο βρίσκεται εκτός ορίου απαιτείται διόρθωση αυτού του στοιχείου με αυξομείωση του αριθμού των Φ/Β πλαισίων ανά συστοιχία. Για το συγκεκριμένο πάρκο που μελετάται εξήχθησαν τα παρακάτω αποτελέσματα:



**PV-array 1** +



Name:

Manufacturer:  🔍

PV module:  i

Number of PV modules:


Setpoint:  PV Peak power  kWp

Cell temperature: -6 ... 66 °C

Orientation: Azimuth angle: 0°; Inclination: tracked

Mounting type: Free installation 🔄 Change 📄 Design suggestions ...

**6 x SMC 11000TL** **Strings** + Add inverter



Inverter:  ▼

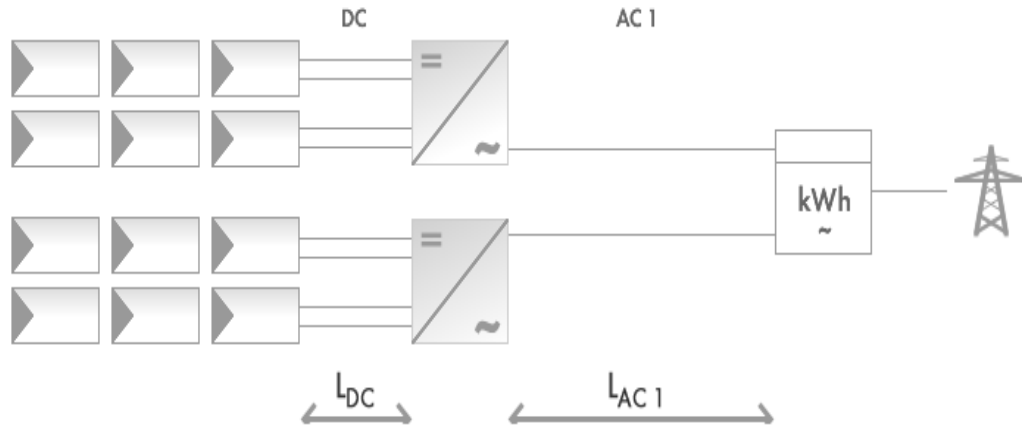
Number of inverters:  i

Max. DC power:	<b>11.40 kW</b>
Max. AC power:	<b>11.00 kW</b>
AC connection:	<b>Single-phase</b>
Max. efficiency:	<b>98.1 %</b>
Grid voltage:	<b>230V (230V / 400V)</b>

Overview of inverters

✓ **PV/Inverter compatible**

Configuration	Input A	
Inverter:	<b>SMC 11000TL</b>	PV-array: PV-array 1
Independent inputs:	<b>1</b>	Number of PV modules (input): 51
Max. DC power:	<b>11.40 kW</b>	Peak power (input): 11.22 kWp
Min. DC voltage:	<b>333 V</b>	Typical PV voltage: 423 V <span>✓</span>
(Grid voltage 230 V)		Min. PV voltage: 402 V <span>✓</span>
Max. DC voltage (Inverter):	<b>700 V</b>	Max. PV voltage: 683 V <span>✓</span>
Max. DC current:	<b>34 A</b>	Max. current of PV array: 23.0 A <span>✓</span>



Project DC cables AC1 cables AC2 cables

DC cables from PV module to inverter:

	Cable material	Single cable length per string	Cross section per string	Current	Voltage	Voltage drop
Part project 1						
6 x SMC 11000TL	Cu	160.0 ft.	6 mm <sup>2</sup>	22.95 A	488 V	2.14 V
3 x SB 4000TL-20	A	50.0 ft.	4 mm <sup>2</sup>	7.65 A	287 V	1.00 V
	B	108.0 ft.	4 mm <sup>2</sup>	7.65 A	258 V	2.17 V

Project DC cables AC1 cables AC2 cables

Inverter AC cables to feed-in point:

	Cable material	Single length	Cross section	Current	Voltage	Voltage drop
Part project 1						
6 x SMC 11000TL	Cu	65.0 ft.	10 mm <sup>2</sup>	47.56 A	1~230 V	0.54 V
3 x SB 4000TL-20	Cu	92.0 ft.	4 mm <sup>2</sup>	17.39 A	1~230 V	0.70 V

	ed load	Phases			Annual energy yield (approx.)	Spec. energy yield (approx.)	Inverter efficiency	Performance ratio (approx.)
		L1	L2	L3				
✓ New project	VA	26.00 kW	26.00 kW	26.00 kW	119.30 MWh	1494 kWh/kWp	96.5 %	85 %
✓ Part project 1	VA	26.00 kW	26.00 kW	26.00 kW	119.30 MWh	1494 kWh/kWp	96.5 %	85 %
✓ 6 x SMC 11000TL	VA	2	2	2	100.74 MWh	1496 kWh/kWp	96.7 %	85.4 %
✓ 3 x SB 4000TL-20	VA	1	1	1	18563.70 kWh	1480 kWh/kWp	95.7 %	84.5 %

**PV-array 1** +

Name:

Manufacturer:

PV module:

Cell temperature: -6 ... 66 °C

Setpoint:  Number of PV modules:

PV Peak power:  kWp

Orientation: Azimuth angle: 0°; Inclination: tracked

Mounting type: Free installation

**3 x SB 4000TL-20** **Strings** + Add inverter

Inverter:

Number of inverters:

Input	PV-array	Strings	PV modules
A	<input type="text" value="PV-array 1"/>	<input type="text" value="1"/> X <input type="text" value="10"/>	1 .. 1 6 .. 13
B	<input type="text" value="PV-array 1"/>	<input type="text" value="1"/> X <input type="text" value="9"/>	1 .. 1 6 .. 13

**Overview of inverters**

	<b>PV-array 1</b> 363 / 363	PV Peak power	Nominal power ratio	Energy usability factor	
<input checked="" type="checkbox"/>	6 x SMC 11000TL	3 x 17 (A)	67.32 kWp	102 %	100 %
<input checked="" type="checkbox"/>	3 x SB 4000TL-20	1 x 10 (A) 1 x 9 (B)	12.54 kWp	100 %	100 %

**Project data**

Project name:\*  Customer:

Project number:

**Location**

Region:\*

Country:\*

City:\*

**Temperatures**

Cell temperature  Ambient temperature

Record Low Temperature:  °C

Average High Temperature:  °C

Record High Temperature:  °C

**Inverter grid connection**

Low voltage  Medium voltage

Grid voltage:\*

Voltage tolerance: ±  %

Three-phase feed-in

Consider max. unbalanced load:  kVA

Specification for displacement power fa...

The set grid voltage affects the range of inverters available for selection!

**Comment**

### **363 x Aleo S\_18 solrif (220W) (PV-array 1)**

**Azimuth angle:** 0°, **Inclination:** tilted tracked, **Mounting type:** Free installation, **PV Peak power:** 79.86 kW

**6 x SMC 11000TL 3 x SB 4000TL-20**

**Total number of PV modules:** 363

**PV Peak power:** 79.86 kWp

**Number of inverters:** 9

**Nominal AC power:** 78.00 kW

**Annual energy yield (approx.):\*** 119.30 MWh

**Energy usability factor:** 100 %

**Performance ratio (approx.):\*** 85 %

**Spec. energy yield (approx.):\*** 1494 kWh/kWp

**Line losses (in % of PV energy):** ---

**Unbalanced load:** 0.00 VA

**Self-consumption:** ---

**Self-consumption quota:** ---

### Evaluation of design

**Project name:** 2 km-PV

**Project number:** 1

**Project file:** Parko 80KW.sdp2

**Location:** Greece / Crete

**Ambient temperature:**

**Record Low Temperature:** -6.00 °C

**Average High Temperature:** 40.00 °C

**Record High Temperature:** 46.00 °C

**PV Peak power:** 67.32 kWp

**Total number of PV modules:** 306

**Number of inverters:** 6

**Max. DC power:** 11.40 kW

**Max. AC power:** 11.00 kW

**Grid voltage:** 230 V

**Nominal power ratio:** 102 %

### **6 SMC 11000TL**

**Input A:** PV-array 1

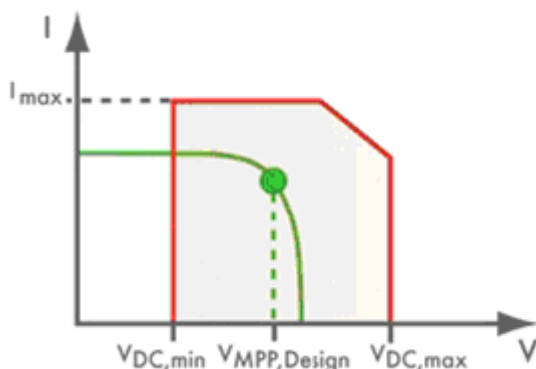
**51 x ALeo S\_18 solrif (220W), Azimuth angle:** 0°, **Inclination:** tilted tracked, **Mounting type:** Free installation

**Number of strings:** 3

**PV modules per string:** 17

**Peak power (input):** 11.22 KW

**Typical PV voltage:** 423 V  
**Min. PV voltage:** 402 V  
**Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):** 333 V  
**Max. PV voltage:** 683 V  
**Max. DC voltage (Inverter):** 700 V  
**Max. current of PV array:** 23.0 A  
**Max. DC current:** 34.0 A



Σχ.1.11 Περιοχής συμβατότητας αναστροφέα SMC 11000TL-ορίων τάσης συστοιχιών

### 3 x SB 4000TL-20

**PV Peak power:** 12.54 kWp  
**Total number of PV modules:** 57  
**Number of inverters:** 3  
**Max. DC power:** 4.20 kW  
**Max. AC power:** 4.00 kW  
**Grid voltage:** 230 V  
**Nominal power ratio:** 100 %

#### Input A: PV-array 1

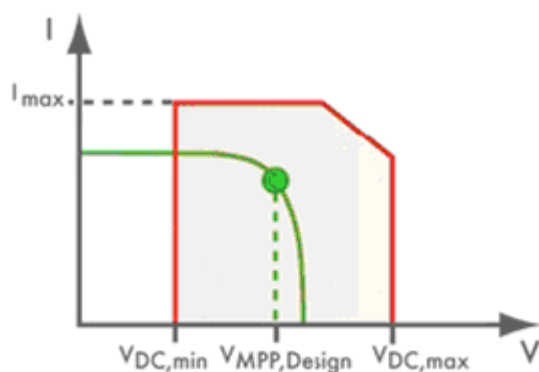
**10 x ALeo S\_18 solrif (220W), Azimuth angle:** 0°, **Inclination:** tilted tracked, **Mounting type:** Free installation

#### Input B: PV-array 1

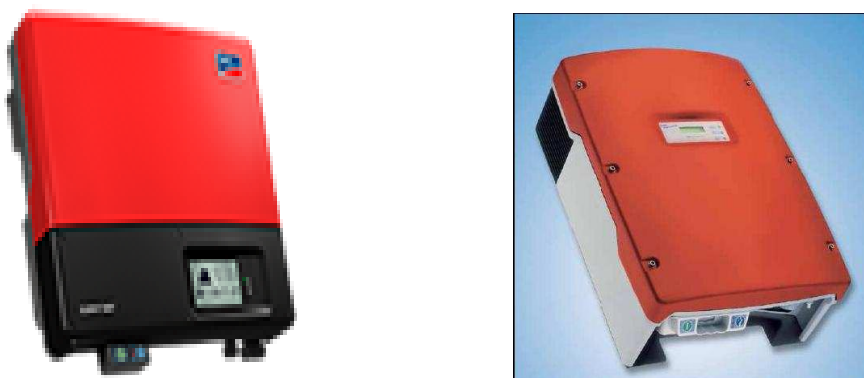
**9 x ALeo S\_18 solrif (220W), Azimuth angle:** 0°, **Inclination:** tilted tracked, **Mounting type:** Free installation

	Input A	Input B:
Number of strings:	1	1
PV modules per string:	10	9
Peak power (input):	2.20 kWp	1.98 kWp

Typical PV voltage:	249 V	224 V
Min. PV voltage:	236 V	213 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	125 V	125 V
Max. PV voltage:	402 V	362 V
Max. DC voltage (Inverter):	550 V	550 V
Max. current of PV array:	7.7 A	7.7 A
Max. DC current:	15.0 A	15.0 A



Σχ.1.12 Περιοχής συμβατότητας αναστροφέα SB 4000TL-20-ορίων τάσης συστοιχιών

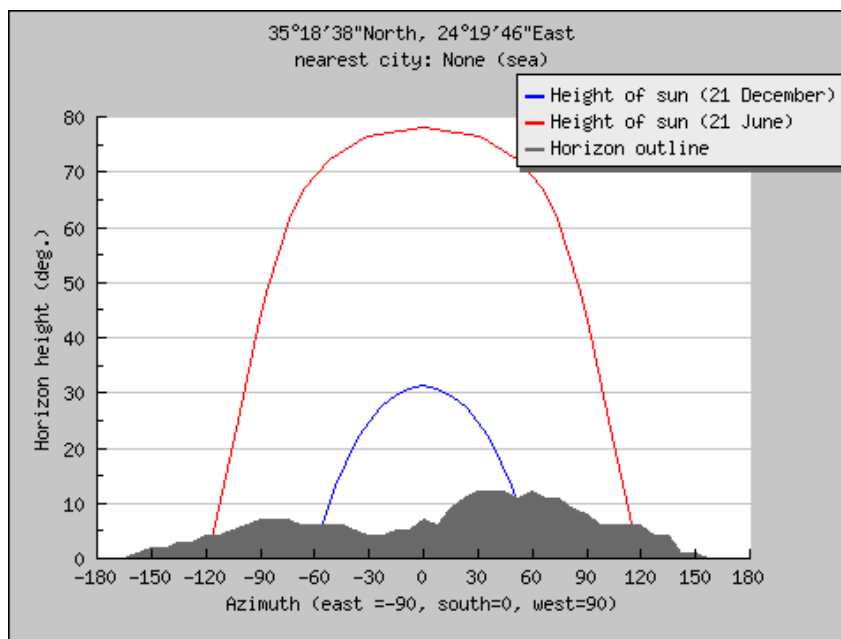


Σχ.1.13 Αναστροφείς SB 4000TL-20 και SMC 11000TL αντίστοιχα

## 1.8 Υπολογισμός τοποθέτησης Φ/Β πλαισίων με βάση τη σκίαση

Ένας απ' τις πιο σημαντικές παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη σε μια μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών είναι η σκίαση. Συγκεκριμένα σε τοποθεσίες που σκιάζονται από παρακείμενα εμπόδια όπως ψηλά κτίρια, δέντρα ή που μελλοντικά έχει προβλεφθεί ότι θα σκιάζονται έντονα, μπορεί η εγκατάσταση να αποφασιστεί απαγορευτική. Στο συγκεκριμένο Φ/Β της εργασίας έχουν προβλεφθεί και διεξαχθεί όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις της γύρω περιοχής ώστε η σκίαση από γειτονικά αντικείμενα να είναι αδύνατη. Αυτό δημιουργεί άμεσα τη δυνατότητα υπολογισμού του φαινομένου

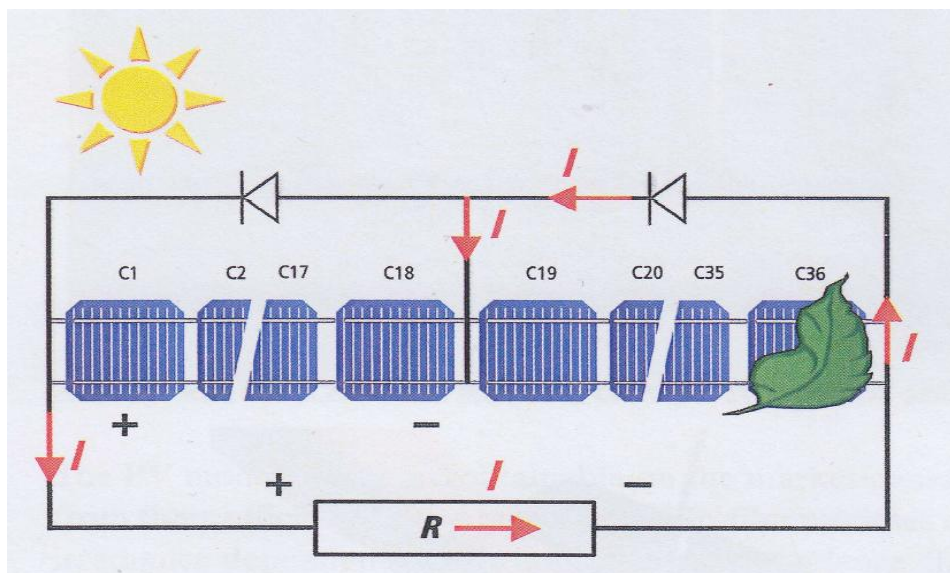
σκίασης μόνο μεταξύ των Φ/Β πλαισίων του πάρκου. Η σκίαση μεταβάλλεται ανάλογα την εποχή και είναι μεγαλύτερη στο χειμερινό ηλιοστάσιο(21 Δεκεμβρίου) όπου ο ήλιος έχει τη μικρότερη γωνία(σχ.1.14) ως προς το επίπεδο όπου τοποθετούνται τα πλαίσια. Γίνεται, μέσω του ευρωπαϊκού σταθμού PVGIS, ότι η γωνία του ήλιου την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου είναι 31°. Αντίθετα, στο θερινό ηλιοστάσιο(21<sup>η</sup> Ιουνίου) είναι η μεγαλύτερη(78°).



**Σχ.1.14** Ύψος Ήλιου ως προς τον ορίζοντα σε μοίρες(πηγή:PVGIS)

Όσον αφορά τη σκίαση που μπορεί να δημιουργηθεί σ'ένα πλαίσιο από το αμέσως γειτονικό του σε επόμενη συστοιχία, οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για το πλαίσιο αυτό. Η σκίαση ή η βλάβη μιας και μόνο ηλιακής κυψέλης, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Μια σκιασμένη κυψέλη, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η δίοδος, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις υπόλοιπες κυψέλες, οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν αστοχίες, μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν οι υπόλοιπες ηλιακές κυψέλες του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της.

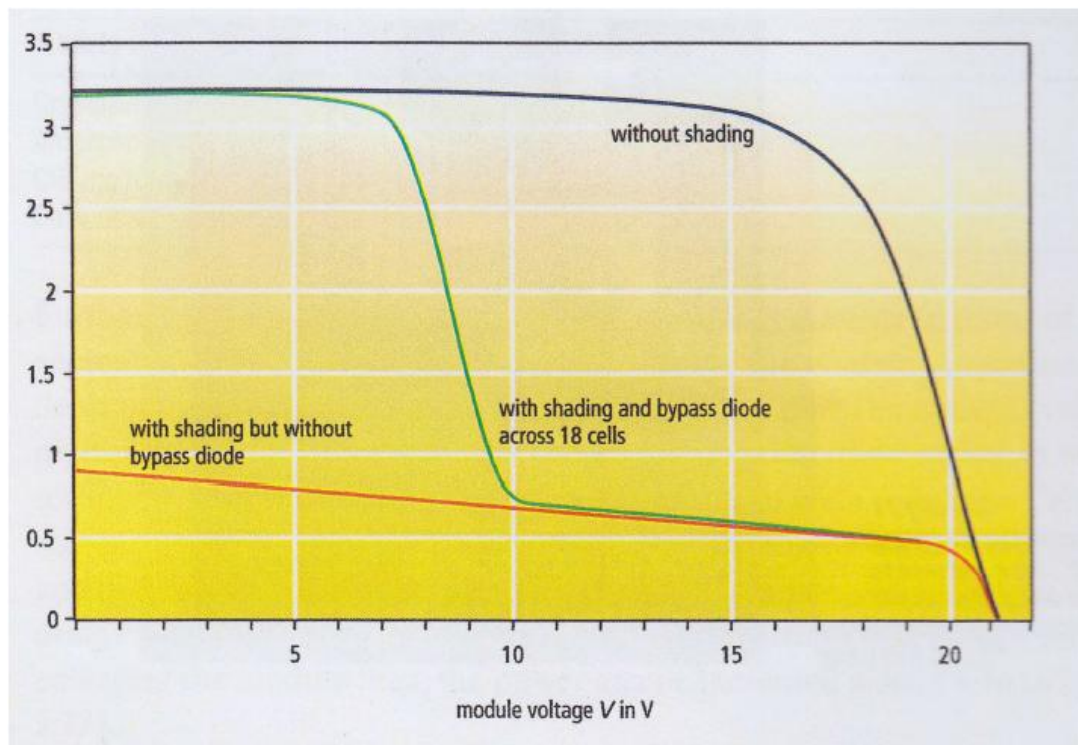
Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, η σκιασμένη κυψέλη λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός μιας κυψέλης σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της κυψέλης αυτής και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης μιας «κατεστραμμένης» κυψέλης. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο «hot spot» (φαινόμενο θερμής κηλίδας). Η δημιουργία μιας θερμής κηλίδας μειώνει ελάχιστα την ισχύ αιχμής του Φ/Β στοιχείου, αυξάνει όμως την πιθανότητα καταστροφής του κάθε φορά που το στοιχείο σκιάζεται. Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (διόδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυψελών που είναι συνδεδεμένες σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποια ηλιακή κυψέλη του υστερεί ή καταστραφεί(σχ.1.15).



**Σχ.1.15** Χρήση διόδου παράκαμψης για αποφυγή δημιουργίας θερμής κηλίδας

Η μεταβολή της τάσης και του ρεύματος σ'ένα πλαίσιο(άρα και της αποδιδόμενης ισχύς) φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα σε 3 περιπτώσεις(χωρίς δίοδο παράκαμψης, με δίοδο παράκαμψης και τέλος χωρίς σκίαση). Αυτό ισχύει σε πλαίσιο με 36 κυψέλες σε σειρά όπου η δίοδος είναι συνδεδεμένη μεταξύ της 19<sup>ης</sup> και της 36<sup>ης</sup>. Από το διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σημαντικό αντίκτυπο προκύπτει, από τη λειτουργία της δίοδου σε περίπτωση σκίασης, στο σημείο μέγιστης παραγόμενης ισχύος του πλαισίου που ανιχνεύεται από το MMPT στοιχείο του αναστροφέα. Για παράδειγμα φαίνεται δραματική μείωση της τιμής του ρεύματος στα 15V τάσης του πλαισίου από 3.4 A(χωρίς σκίαση) σε 0.6 A με χρήση της δίοδου στη σκίαση. Ωστόσο υπάρχει σημαντική ωφέλεια από τη χρήση της δίοδου παράκαμψης στην περιοχή τάσης 5-10 V.





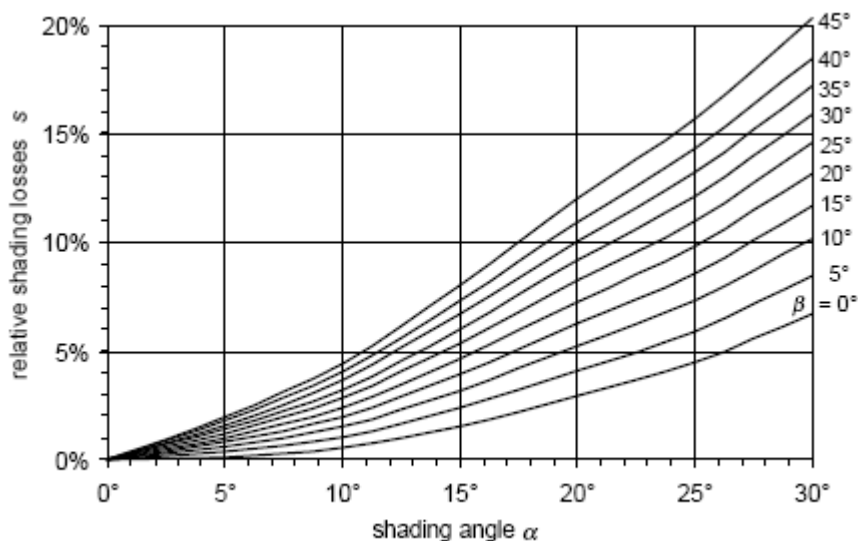
**Σχ.1.16** Επίδραση σκίασης σε πλαίσιο με 36 κυψέλες σε σειρά σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις

Για τη μελέτη οριζόντιας απόστασης των γειτονικών συστοιχιών χρησιμοποιούνται τόσο κάποιες μαθηματικές σχέσεις όσο και διαγράμματα ώστε ορίζοντας το επιθυμητό ποσοστό απωλειών που είναι επιθυμητό να προκύψει από τη σκίαση, να μπορεί να υπολογίσει η ασφαλή απόσταση που πρέπει να έχουν δύο διαδοχικές συστοιχίες.

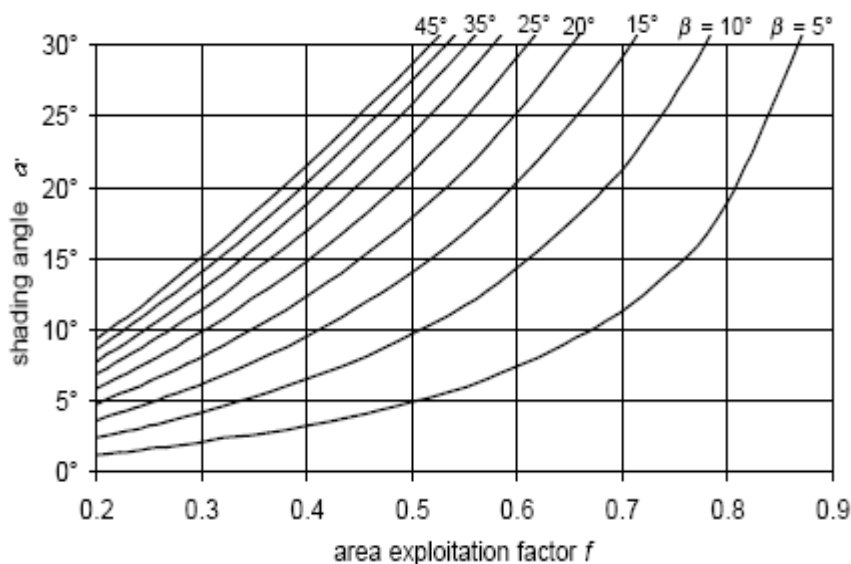
Η ιδέα να τοποθετηθούν σε απόσταση ίση με το μήκος της μακρύτερης μεσημεριανής σκιάς μέσα στο έτος (21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου) δεν είναι σωστή καθώς η ενέργεια εκείνη τη μέρα παίρνει την ελάχιστη τιμή της και σταδιακά αυξάνεται ενώ για κάποιες μέρες πριν και μετά την 21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου η σκιά καλύπτει μέρος της επόμενης συστοιχίας μειώνοντας σημαντικά την απόδοσή της.

Αρχικά χρησιμοποιείται ο συντελεστής χρησιμοποίησης επιφάνειας( $f$ ) που ορίζεται ως ο λόγος  $b/d$  όπου  $b$  το πλάτος της συστοιχίας(1.66m ανά πάνελ) και  $d$  η απόσταση της μίας συστοιχίας από τη γειτονική της. Η απόσταση  $d$  είναι αρχικά άγνωστη οπότε γνωρίζοντας εξ αρχής το  $b$ , αν προσδιοριστεί το επιθυμητό  $f$ , θα γίνει εφικτό να βρεθεί και η απόσταση  $d$  που είναι το ζητούμενο.

Για να βρεθεί ο συντελεστής  $f$  θα πρέπει να αποφασιστεί ποιο ποσοστό απωλειών είναι επιθυμητό στην εγκατάσταση από τη σκίαση. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί από το ακόλουθο διάγραμμα(σχ.1.17). Έχοντας σαν μέγιστο επιθυμητό ποσοστό απωλειών το 10% προκύπτει γωνία σκίασης  $\alpha=20^\circ$  με το οριζόντιο επίπεδο.



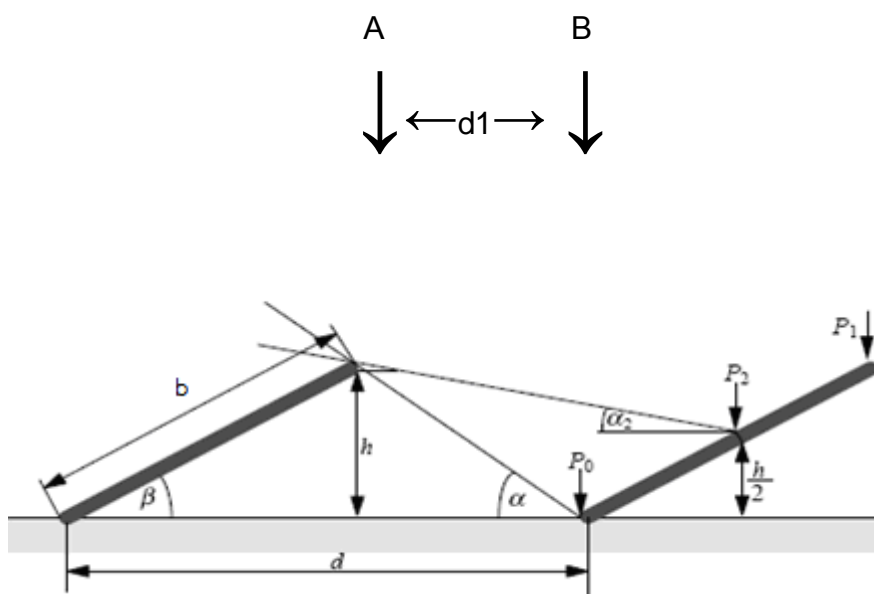
**Σχ.1.17** Διάγραμμα συσχέτισης γωνίας κλίσης  $\beta(^{\circ})$  των πλαισίων, γωνίας κλίσης του ήλιου  $\alpha(^{\circ})$  και του ποσοστού των απωλειών  $s(\%)$



**Σχ.1.18** Γωνία σκίασης  $\alpha$  συναρτήσει του συντελεστή  $f$  και της γωνίας κλίσης  $\beta$

Από το διάγραμμα του σχ.1.18 μπορεί να βρεθεί ο συντελεστής  $f$  ο οποίος στην περίπτωση μας για  $\beta=28^{\circ}$  και  $\alpha=20^{\circ}$  προκύπτει ίσος με  $f=45\%$  περίπου. Επομένως έχουμε  $f=\frac{b}{d} \Rightarrow d=\frac{b}{f}=\frac{3.5}{0.45}=7.77\text{m}$ . Η απόσταση  $d_1$  (η απόσταση AB) από  $\theta$  θα ισούται με

$d_1=d \cdot \cos(\beta)=7.77\text{m} \cdot 0.883=4.68\text{m}$ . Στην πραγματικότητα η απόσταση είναι τελικά 4.5m. Προφανώς αυτή η απόσταση μας καλύπτει σαν χειρότερη περίπτωση απώλειες 10% από σκίαση κάποιες μέρες του Δεκεμβρίου ενώ τον υπόλοιπο χρόνο το ποσοστό μειώνεται αισθητά.



**Σχ.1.19** Σύμβολα μήκους επιφανειών που σχετίζονται με τη σκίαση και γωνίες κλίσης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 Εισαγωγή

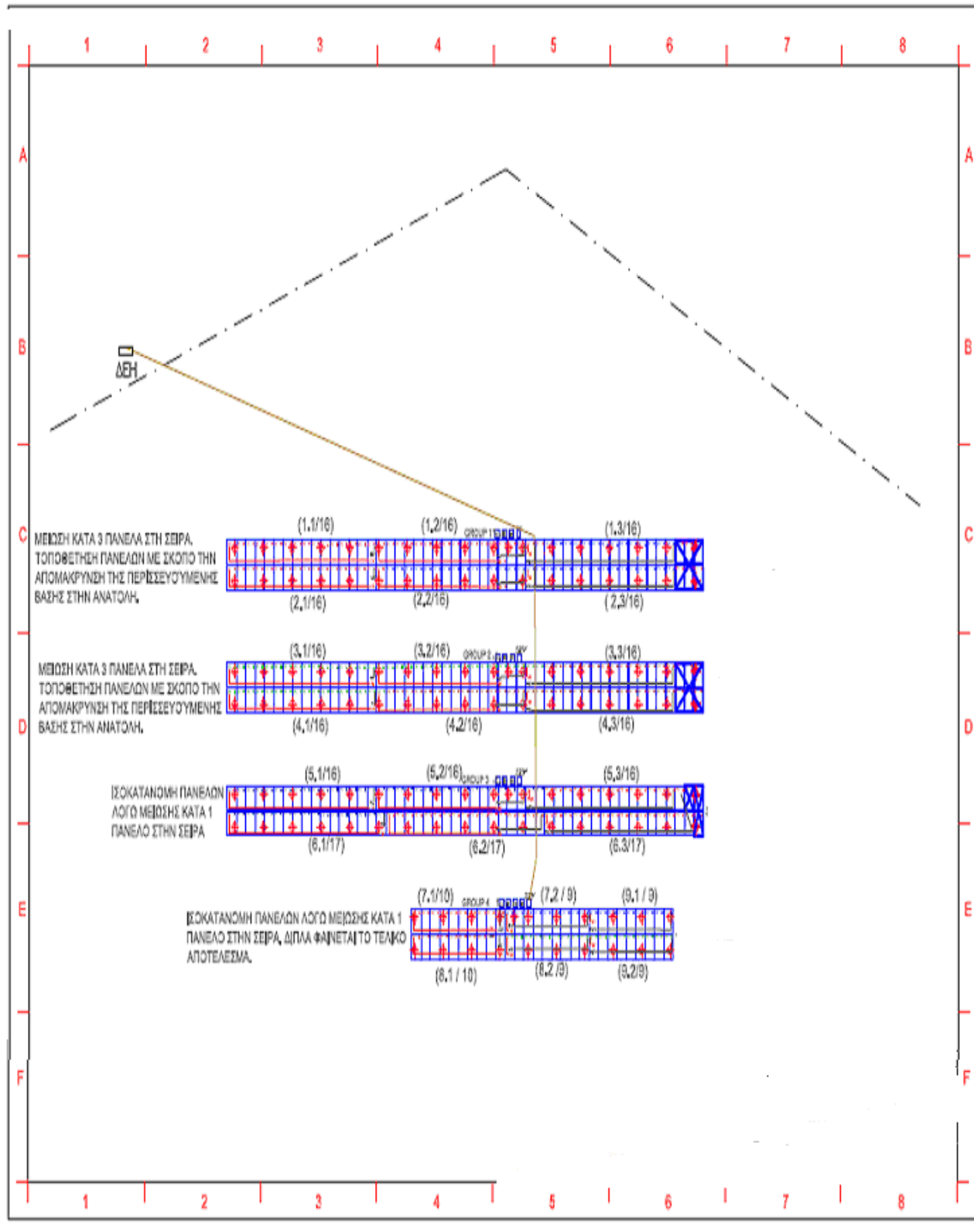
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής περιγραφή διασύνδεσης των διαφόρων τμημάτων του Φ/Β πάρκου(2km-pv) με τη χρήση τοπογραφικού και ηλεκτρολογικού σχεδίου. Επίσης γίνεται αναφορά στα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στο DC τμήμα της εγκατάστασης όσο και στην AC, τον τύπο τους, τον τρόπο υπολογισμού των διατομών τους και στις προκύπτουσες απώλειες Joule κατά τη διάρκεια φόρτισής τους. Τέλος, με την απεικόνιση του μονογραμμικού ηλεκτρολογικού σχεδίου του πάρκου γίνεται φανερή η χρήση του απαιτούμενου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού όπως διακοπών, ασφαλειών, ασφαλειοαποζευκτών, αντικεραυνικών κ.ά.

### 2.2 Γενική περιγραφή τοπολογίας πάρκου

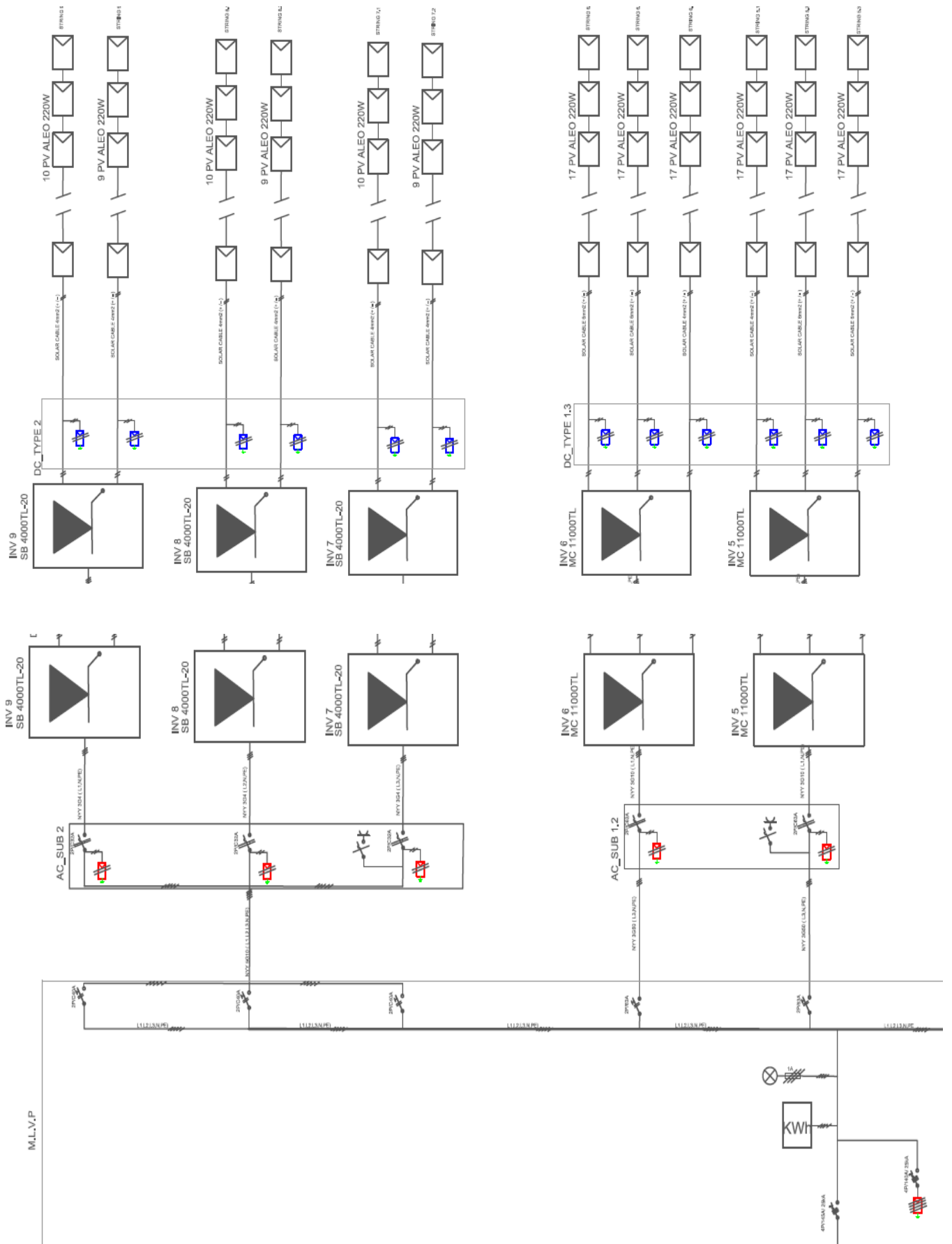
Όπως φαίνεται από το παρακάτω τοπογραφικό σχέδιο με την εμφάνιση των συστοιχιών, των πινάκων και την παροχική γραμμή προς το μετρητή της ΔΕΗ, υπάρχουν τέσσερις σειρές συστοιχιών όπου σε κάθε μία τοποθετούνται οι αντίστοιχοι DC πίνακες, οι αναστροφείς και οι υποπίνακες AC που θα συνδεθούν στο γενικό πίνακα.

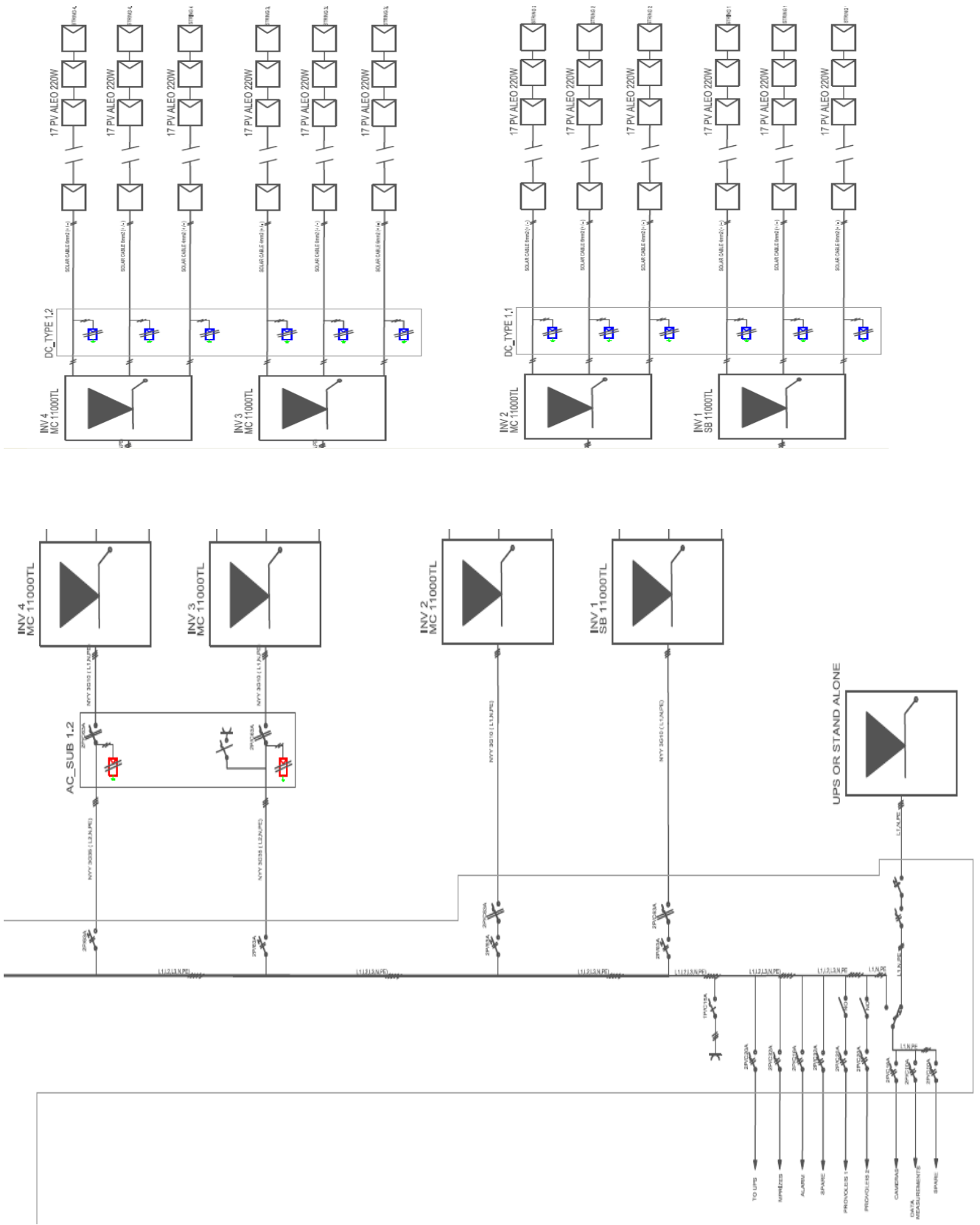
Στην πρώτη σειρά(στον γενικό πίνακα Χ.Τ. MLVP) υπάρχουν έξι συστοιχίες των 17 πλαισίων η κάθε μία ,όπου ανά τρεις, δημιουργούν μία υποσειρά για να αποτελέσουν την πηγή τροφοδότησης ενός inverter SMC 11000TL. Κατ'αυτόν τον τρόπο και για να'ναι ευανάγνωστο από τον κάθε ενδιαφερόμενο, ονομάζονται οι συστοιχίες με αρίθμηση. Έτσι για την πρώτη συστοιχία του αναστροφέα 1 υπάρχει η αρίθμηση (1.1/17) που παραπέμπει στον αναστροφέα και στην συστοιχία 1 και απαριθμεί συνολικά 17 πλαίσια. Αντιστοίχως, η δεύτερη συστοιχία του 1<sup>ου</sup> αναστροφέα θα ναι 1.2/17 κ.ο.κ. Αυτό ισχύει για τις πρώτες 3 σειρές που αποτελούνται από 102 πλαίσια η κάθε μία. Σε κάθε μία από αυτές τις σειρές προκύπτει 1 DC πίνακας που τροφοδοτεί τους δύο αντίστοιχους αναστροφείς και ένας υποπίνακας AC για τις σειρές 2,3 για την προστασία των αναστροφένων και για σύνδεση στον γενικό πίνακα που βρίσκεται στη σειρά 1 ώστε να ναι κοντά στο χώρο τοποθέτησης του μετρητή.

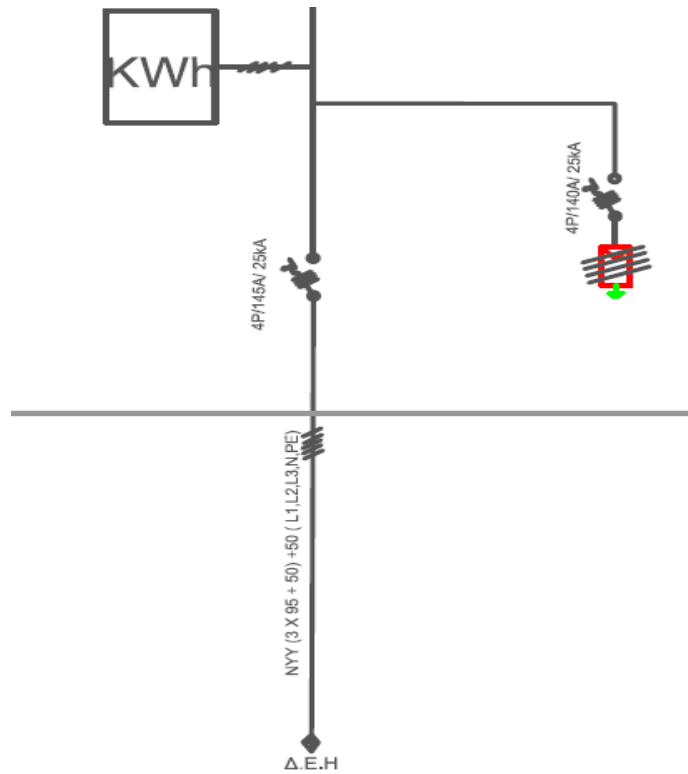
Στην τελευταία σειρά, όπου βρίσκονται οι αναστροφείς SB 4000TL-20 (7,8 και 9), δημιουργούνται δύο υποσειρές των 28 πλαισίων η κάθε μία. Οι στοιχειοσειρές 7.1/10 και 7.2/9 αντιστοιχούν στον αναστροφέα 7, οι 8.1/10 και 8.2/9 στον αναστροφέα 8 και οι 9.1/10 και 9.2/9 στον αναστροφέα 9. Σ'αυτή τη σειρά υπάρχουν 1 DC πίνακας, 3 αναστροφείς και 1 AC υποπίνακας.



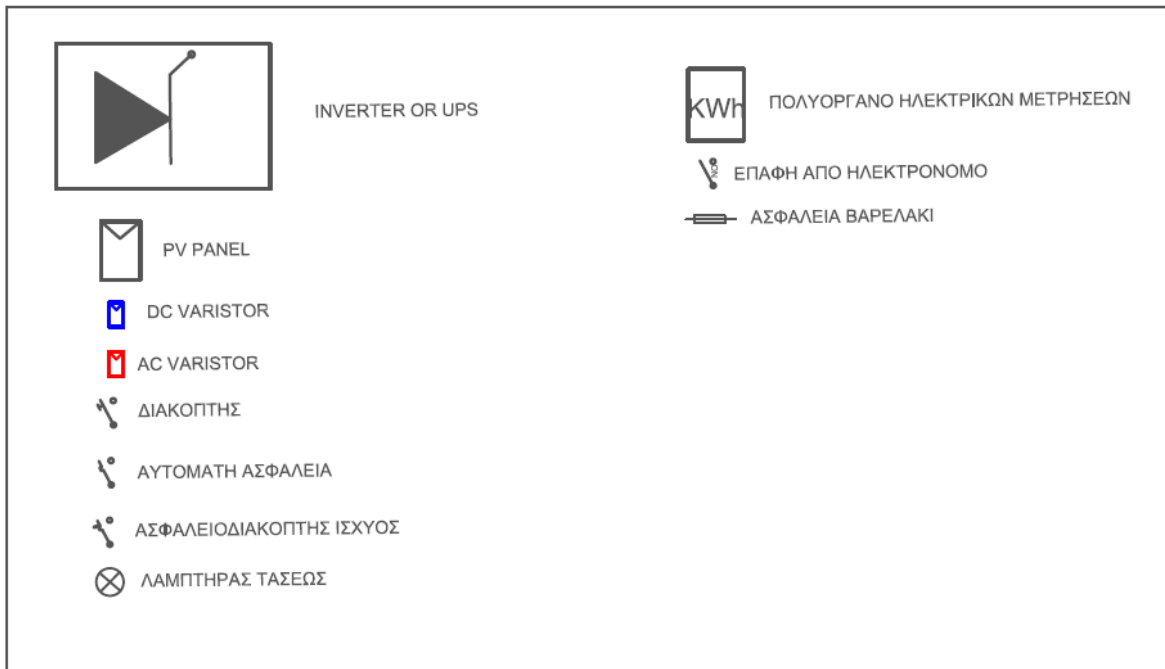
**Σχ.2.1** Τοπογραφικό σχέδιο τοποθέτησης των συστοιχιών, αναστροφέων, καλωδίου παροχής έως το μετρητή και πινάκων AC,DC







## ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Σχ.2.2 Μονογραμμικό σχέδιο Φ/Β πάρκου ισχύος 80KWp



## 2.3 DC Καλωδίωση

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω μονογραμμικό σχέδιο χρησιμοποιείται καλώδιο solar cable για την καλωδίωση από τα Φ/Β πλαίσια μέχρι τους αναστροφείς διατομής  $4\text{mm}^2$  και  $6\text{mm}^2$  σε κάποιες στοιχειοσειρές. Τα καλώδια αυτά έχουν την ονομασία PV-1F της εταιρείας Tecsun(σχ.2.3) και έχουν το χαρακτηριστικό να ναι κατάλληλα για Φ/Β εγκαταστάσεις.

Συγκεκριμένα, έχουν μόνωση από HEPR(Hard Grade Ethylene Propylene Rubber) και εξωτερικό μανδύα από EVA(Ethylene Vinyl Acetate) που είναι ανθεκτικό στην έκθεση στον ήλιο(αντέχει άριστα στην UV ακτινοβολία). Επίσης εμφανίζουν υψηλή ανθεκτικότητα στην φλόγα, στην τριβή και στο όζον. Ο αγωγός είναι λεπτοπολύκλωνος γεγονός που μετατρέπει το καλώδιο εύκαμπτο και εύχρηστο κατά το χειρισμό του ενώ η μόνωση του αντέχει σε τάση μέχρι και  $900\text{-}1800\text{V DC}$  και  $700\text{-}1200\text{V AC}$ (πολική). Έχει μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία κατά τη φόρτιση  $90^\circ\text{C}$ (εγγύηση 30 έτη) ή  $120^\circ\text{C}$ (εγγύηση 2.3 έτη) και ονομαστικό ρεύμα **55A**( $4\text{mm}^2$ ) και **70A** ( $6\text{mm}^2$ ). Συνοπτικά εφαρμόζονται οι κανονισμοί IEC 61215 και 61646, IEC 64/1123/CD και DIN VDE 0100 part 520. Η αντίστασή του φθάνει τα **4.97Ω/Km**( $4\text{mm}^2$ ) και **3.52Ω/Km**( $6\text{mm}^2$ ).



Σχ 2.3 Καλώδια PV-1F για τη DC καλωδίωση

<b>Θερμικές παράμετροι</b>	Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία περιβάλλοντος	+120°C (στατικά και σε κίνηση). Ερμηνεία σύμφωνα με το IEC 60216: μόνιμη θερμοκρασία 120°C για 20.000 ώρες (=2,3 έτη), σε μέγιστη 90°C μόνιμη θερμοκρασία (=30 έτη)
	Ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία	-40°C (στατικά και σε κίνηση)
	Μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία λειτουργίας του αγωγού	+120°C
	Θερμοκρασία βραχυκυκλώματος	+250°C (στον αγωγό max. 5 sec.)
	Αντίσταση εν ψυχρώ	Δοκιμή κάψης σε χαμηλή θερμοκρασία σύμφωνα με το DIN EN 60811-1-4 Δοκιμή πρόσκρουσης όμοια με το DIN EN 50305
	Δοκιμή υγρασίας - θερμότητας	Σύμφωνα με το EN 60068-2-78 1.000 ώρες στους 90°C και 85% υγρασία

<b>Χημικές παράμετροι</b>	Ανθεκτικότητα σε ορυκτέλαια	24 h, 100°C σύμφωνα με το DIN VDE 0473-811-2-1, DIN EN 60811-2-1
	Ανθεκτικότητα σε οξέα και αλκάλια	Σύμφωνα με το EN 60811-2-1 7 ημέρες, 23°C (N - Οξαλικό οξύ, N – Υδροξείδιο του νατρίου)
	Ανθεκτικότητα σε αμμωνία	30 ημέρες σε κορεσμένη ατμοσφαιρική αμμωνία (εσωτερικό τεστ)
	Ανθεκτικότητα σε καιρικές συνθήκες	Αντίσταση στο όζον σύμφωνα με το DIN EN 50396 δοκιμή τύπου B, HD 22.2 δοκιμή τύπου B Ανθεκτικότητα στο υπεριώδες (UV) σύμφωνα με το UL 1581 (Xeno – Test), ISO 4892-2 (Μέθοδος A) και HD506/A1-2.4.20 Απορρόφηση νερού (gravimetric) σύμφωνα με το DIN VDE 0473-811-1-3, DIN EN 60811-1-3
	Συμπεριφορά σε περίπτωση φωτιάς	Δοκιμές μετάδοσης φλόγας: Μονό καλώδιο σύμφωνα με το DIN VDE 0482 Part 332-1-2, DIN EN 60332-1-2 Πολλαπλά καλώδια σύμφωνα με το DIN VDE 0482 Part 266-2-5, DIN EN 50305-9 Χαμηλές εκπομπές καπνού σύμφωνα με DIN VDE 0482 Part 268-2, DIN EN 50268-2 (διασπορά φωτός > 70%) Διαβρωτικότητα σύμφωνα με το DIN EN 50264-1 Τοξικότητα σύμφωνα με το DIN EN 50305, ITC-index < 3
	Οικολογικά αβλαβή	Όσον αφορά όρους ανακύκλωσης, διάθεσης και εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων κατά την παραγωγική διαδικασία (ελεύθερα μολυσματικών ουσιών και αλογόνων)

<b>Σήμανση τύπου</b>	TECSUN (PV) PV1-F
<b>Αγωγός</b>	Ηλεκτρολυτικός χαλκός, επικασσιτερωμένος, Κλάσης 5 σύμφωνα με το IEC 60228 (DIN VDE 0295)
<b>Μόνωση</b>	HERP 120°C όμοια με το IEC 60502-1 (μείγμα τύπου EI6/EI8)
<b>Διάκριση πυρήνα</b>	Φυσικό χρώμα – φωτεινό
<b>Μανδύας</b>	EVA 120°C που βασίζεται στο DIN VDE 0282 part 1, HD 22.1 (μείγμα τύπου EM4/EM8) Μόνωση και μανδύας συνδέονται στερεά (μόνωση δύο στρώσεων)
<b>Χρώματα μανδύα</b>	Μαύρο, μπλε, κόκκινο
<b>Σήμανση</b>	(ρόμβος) PRYSMIAN TECSUN (PV) PV1-F (διατομή) 0.6/1 KV (VDE-REG./TÜV)

Selection and ordering data									
Nominal cross-section and colour	Order No.	Conductor diameter	Overall diameter of cable		Approx. net weight	Minimum bending radius	Maximum permissible tensile load	Current carrying capacity at 60°C ambient temperature (free in air)	Permissible short circuit current (1s)
			Min. value	Max. value					
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg/km]	[mm]	[N]	[A]	[kA]
TECSUN (PV) PV1-F									
1,5mm <sup>2</sup> black	5DH93011	1,6	4,4	4,8	29	14,4	23	29	0,19
1,5mm <sup>2</sup> blue	5DH93012	1,6	4,4	4,8	29	14,4	23	29	0,19
1,5mm <sup>2</sup> red	5DH93013	1,6	4,4	4,8	29	14,4	23	29	0,19
2,5mm <sup>2</sup> black	5DH93012	1,9	4,7	5,1	43	15,3	38	41	0,32
2,5mm <sup>2</sup> blue	5DH93022	1,9	4,7	5,1	43	15,3	38	41	0,32
2,5mm <sup>2</sup> red	5DH93023	1,9	4,7	5,1	43	15,3	38	41	0,32
4,0mm <sup>2</sup> black	5DH93031	2,4	5,2	5,6	58	16,8	60	55	0,50
4,0mm <sup>2</sup> blue	5DH93032	2,4	5,2	5,6	58	16,8	60	55	0,50
4,0mm <sup>2</sup> red	5DH93033	2,4	5,2	5,6	58	16,8	60	55	0,50
6,0mm <sup>2</sup> black	5DH93041	2,9	5,7	6,1	76	18,3	90	70	0,76
6,0mm <sup>2</sup> blue	5DH93042	2,9	5,7	6,1	76	18,3	90	70	0,76
6,0mm <sup>2</sup> red	5DH93043	2,9	5,7	6,1	76	18,3	90	70	0,76
10mm <sup>2</sup> black	5DH93051	4,0	6,8	7,2	120	21,6	150	98	1,26
16mm <sup>2</sup> black	5DH93061	5,5	8,3	9,0	178	36	240	132	2,01
25mm <sup>2</sup> black	5DH93071	6,4	10,0	10,7	273	43	375	176	3,15
35mm <sup>2</sup> black	5DH93081	7,5	11,1	11,8	364	47	525	218	4,41
50mm <sup>2</sup> black	5DH93091	9,0	12,6	13,3	500	53	750	276	6,30
70mm <sup>2</sup> black	5DH93101	10,8	14,4	15,2	686	61	1.050	347	8,82
95mm <sup>2</sup> black	5DH93111	12,6	16,2	17,0	899	68	1.425	416	12,0
120mm <sup>2</sup> black	5DH93121	14,3	17,7	18,7	1.131	75	1.800	488	15,1
150mm <sup>2</sup> black	5DH93131	15,9	19,7	20,7	1.382	83	2.250	566	18,9
185mm <sup>2</sup> black	5DH93141	17,5	21,3	22,3	1.669	89	2.775	644	23,3
240mm <sup>2</sup> black	5DH93151	20,5	24,2	25,5	2.208	102	3.600	775	30,4

**Σχ.2.4** Τεχνικό φυλλάδιο κατασκευαστή για τα καλώδια TECSUN PV-1F

Τα καλώδια αυτά από τα πάνελ μέχρι τους DC πίνακες τοποθετούνται στις βάσεις όπου στηρίζονται τα πάνελ. Η χρησιμοποίηση σχάρας δεν είναι αναγκαστική δεδομένου ότι υπάρχει μικρός αριθμός καλωδίων εφόσον σε κάθε σειρά υπάρχει ένας DC πίνακας. Σε άλλη εγκατάσταση, όπως θα φανεί σε παρακάτω κεφάλαιο όπου όλοι οι DC πίνακες βρίσκονται σε μία σειρά με μεγάλο αριθμό καλωδίων, τότε είναι προτιμητέο η χρήση σχάρας. Προκειμένου να ελεχθεί η διατομή που επιλέχθηκε από το μηχανικό που έκανε τη μελέτη και οι ηλεκτρικές απώλειες θα πρέπει να προσδιοριστεί πρώτα το μήκος που διανύει το καλώδιο σε κάθε στοιχειοσειρά από τα πλαίσια μέχρι τον αντίστοιχο DC πίνακα.

Ο υπολογισμός των αποστάσεων έγινε με τη βοήθεια του Autocad. Μετά από επεξεργασία της διαδρομής των καλωδίων στο AutoCAD, παρατίθενται με κάποιο αποδεκτό σφάλμα τα αποτελέσματα στον παρακάτω πίνακα:

Επιμέτρηση DC καλωδίων		
Συστοιχία	Στοιχειοσειρά	Μήκος
1	1.1/17	47m(4mm <sup>2</sup> )
	1.2/17	21m(6mm <sup>2</sup> )
	1.3/17	30m(6mm <sup>2</sup> )
2	2.1/17	49m(6mm <sup>2</sup> )
	2.2/17	23m(6mm <sup>2</sup> )
	2.3/17	32m(4mm <sup>2</sup> )
3	3.1/17	47m(4mm <sup>2</sup> )
	3.2/17	21m(6mm <sup>2</sup> )
	3.3/17	30m(6mm <sup>2</sup> )
4	4.1/17	49m(6mm <sup>2</sup> )
	4.2/17	23m(6mm <sup>2</sup> )
	4.3/17	32m(4mm <sup>2</sup> )
5	5.1/17	47m(4mm <sup>2</sup> )
	5.2/17	21m(6mm <sup>2</sup> )
	5.3/17	30m(6mm <sup>2</sup> )
6	6.1/17	49m(6mm <sup>2</sup> )
	6.2/17	23m(6mm <sup>2</sup> )
	6.3/17	32m(4mm <sup>2</sup> )
7	7.1/10	13m(4mm <sup>2</sup> )
	7.2/9	11m(4mm <sup>2</sup> )
8	8.1/10	15m(4mm <sup>2</sup> )
	8.2/9	13m(4mm <sup>2</sup> )
9	9.1/10	30m(4mm <sup>2</sup> )
	9.2/9	33m(4mm <sup>2</sup> )
Σύνολο		721m (352m 4mm <sup>2</sup> και 369m 6mm <sup>2</sup> )

Πίνακας 2.1: Επιμέτρηση DC καλωδίων

## 2.4 Πτώση τάσης και απώλεια ισχύος στη DC πλευρά

Η επιλογή της διατομής(4mm<sup>2</sup> και 6mm<sup>2</sup>) του καλωδίου PV-1F που χρησιμοποιείται στη DC πλευρά της εγκατάστασης γίνεται με βάση το ρεύμα που το διαπερνά, τα όρια της πτώσης τάσης που επιτρέπονται και κατ'επέκταση τα όρια της επιτρεπτής απώλειας ισχύος σε κάθε στοιχειοσειρά. Όπως είναι γνωστό, το όριο της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος σε μία οποιαδήποτε Φ/Β εγκατάσταση θα πρέπει να είναι 1% της συνολικής τάσης και ισχύος κάθε στοιχειοσειράς σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Καταρχήν, είναι γνωστό από τον κατασκευαστή των πλαισίων ότι το μέγιστο ρεύμα προκύπτει ως το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος του πλαισίου στις πρότυπες συνθήκες δηλ. στην περίπτωση μας  $I_{mpp}=7.65A$ . Αυτή είναι η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αναμενόμενης πτώσης τάσης και ισχύος. Επιπλέον από τον κατασκευαστή του καλωδίου PV-1F δίνεται ότι η αντίσταση του καλωδίου ανά μονάδα μήκους είναι 4.97Ω/km για το 4mm<sup>2</sup> και 3.52Ω/Km για το 6mm<sup>2</sup> στους 20° C. Επειδή όμως

η πραγματική θερμοκρασία μπορεί να φθάσει τους 70° C στον αγωγό τους καλοκαιρινούς μήνες, προκύπτει μία διόρθωση της αντίστασης σύμφωνα με τη σχέση:

$$R_{70^{\circ}C} = R_{20^{\circ}C} \cdot [ 1 + \alpha_{20^{\circ}C} \cdot (\theta_{\lambda\epsilon\iota\tau} - 20) ] \quad (1)$$

όπου  $\alpha_{20^{\circ}C} = 0.00393$  για χαλκό και  $0.00403$  για αλουμίνιο

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αντίσταση για το 4mm<sup>2</sup> καλώδιο τροποποιείται σε **5.95Ω/km** ενώ για το 6mm<sup>2</sup> σε **4.21Ω/km** και παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα:

<b>Αντίσταση καλωδίου R στους 70° C (Ω/km)</b>	
4mm <sup>2</sup>	<b>5.95Ω/km</b>
6mm <sup>2</sup>	<b>4.21Ω/km</b>

Πίνακας 2.2: Αντίσταση καλωδίου R στους 70° C (Ω/km)

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης πτώσης τάσης για τις δύο διατομές του καλωδίου θα χρησιμοποιηθεί ο γνωστός τύπος:

$$V_{\text{πτ.τάσης}} = I_{\text{mpp}} \cdot R_{70^{\circ}C}(\Omega/\text{km}) \cdot L(\text{km}) \quad (2)$$

όπου  $V_{\text{πτ.τάσης}}$  η πτώση τάσης,  $I_{\text{mpp}}$  το ρεύμα μίας στοιχειοσειράς,  $R_{70^{\circ}C}(\Omega/\text{km})$  η αντίσταση του αγωγού στους 70° C ανά km και L το μήκος του καλωδίου στην αντίστοιχη στοιχειοσειρά που μελετάται. Για να εξαχθεί το συμπέρασμα αν γίνεται υπέρβαση του ορίου του 1%, αρκεί να μελετηθεί η στοιχειοσειρά στην οποία εμφανίζεται το μεγαλύτερο μήκος καλωδίου L αφού στις υπόλοιπες, όπως είναι προφανές από τον παραπάνω τύπο, θα δημιουργείται, σίγουρα, μικρότερη πτώση τάσης.

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτουν ως μέγιστο μήκος καλωδίου για τη διατομή 4mm<sup>2</sup> τα 2x47m=**94m**(στοιχειοσειρά 1.1/17) ενώ για τη διατομή 6mm<sup>2</sup> (στοιχειοσειρά 2.1/17) τα 2x49m=**98m** ενώ η μέγιστη τάση σε μία στοιχειοσειρά είναι 28.7Vx17πλαίσια=488V. Μετά από υπολογισμούς με βάση τον παραπάνω τύπο, εξάγονται τα τελικά αποτελέσματα για την πτώση τάσης στον παρακάτω πίνακα:

<b>Διατομή</b>	<b>Πτώση Τάσης(V)</b>	<b>Πτώση τάσης(%)</b>
<b>4mm<sup>2</sup></b>	<b>4.28</b>	<b>0.88</b>
<b>6mm<sup>2</sup></b>	<b>3.16</b>	<b>0.66</b>

Πίνακας 2.3: Υπολογισμός πτώσης τάσης για τις διαφορετικές διατομές

Όπως γίνεται εμφανές, προκύπτει ένα πολύ καλό ποσοστό πτώσης τάσης καθώς 0.88% ή 0.66%<1%.

Αντίστοιχα, για τις απώλειες ισχύος σε μια στοιχειοσειρά(με μέγιστη ισχύ 220W · 17=3740W) χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$P_{\text{απωλ.}} = I_{\text{mpp}}^2 \cdot R_{70^{\circ}C}(\Omega/\text{km}) \cdot L(\text{km}) \quad (3)$$

και τα αποτελέσματα για τις στοιχειοσειρές που μελετήθηκαν για τις απώλειες ισχύος παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Διατομή	Απώλειες(W)	Απώλειες(%)
4mm <sup>2</sup>	32.72	0.88<1%
6mm <sup>2</sup>	24.14	0.64<1%

Πίνακας 2.4: Υπολογισμός απωλειών ισχύος για τις διαφορετικές διατομές

Με αφορμή το γεγονός ότι ο παραγωγός της ενέργειας(ιδιοκτήτης πάρκου) πληρώνεται με βάση την παραγόμενη ενέργεια και όχι την παραγόμενη ισχύ, είναι ουσιώδες και απαραίτητο να γίνει μία αναφορά και μία εκτίμηση στις απώλειες ενέργειας.

Ο υπολογισμός των απωλειών ενέργειας στο καλώδιο DC υπολογίζεται με τη βοήθεια του **σταθμισμένου συντελεστή απόδοσης** του αναστροφέα ο οποίος είναι ένας συντελεστής που δίνεται προσεγγιστικά από τη σχέση:

$$n = (0.03 \cdot n_{5\%}) + (0.06 \cdot n_{10\%}) + (0.13 \cdot n_{20\%}) + (0.10 \cdot n_{30\%}) + (0.48 \cdot n_{50\%}) + (0.2 \cdot n_{100\%}) \quad (4)$$

όπου οι συντελεστές  $n_i$  σχετίζονται με την απόδοση του αναστροφέα όταν λειτουργεί ποσοστό  $i$  της ονομαστικής ισχύος του ενώ τα υπόλοιπα βάρη ( $t_i$ ) σχετίζονται στο ποσοστό του χρόνου λειτουργίας του αναστροφέα μέσα σε ένα έτος στο οποίο αυτός λειτούργησε σε ποσοστό  $i$  της ονομαστικής του ισχύος.

Με τη χρήση τυπικών διαγραμμάτων της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να υπολογιστούν για μια τυπική ημέρα κάθε μήνα οι ώρες ηλιοφάνειας και κατά συνέπεια οι ώρες λειτουργίας του αναστροφέα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ώρες λειτουργίας αναστροφέα ανά μήνα					
Μήνας	Ώρες/ημέρα	Ώρες/μήνα	Μήνας	Ώρες/ημέρα	Ώρες/μήνα
Ιανουάριος	10	310	Ιούλιος	14	434
Φεβρουάριος	11	308	Αύγουστος	13	403
Μάρτιος	12	372	Σεπτέμβριος	12	360
Απρίλιος	13	390	Οκτώβριος	11	341
Μάιος	13	403	Νοέμβριος	10	300
Ιούνιος	14	420	Δεκέμβριος	10	310
				Σύνολο/έτος	4351 ώρες

Πίνακας 2.5: Μηνιαίες ώρες λειτουργίας των αναστροφέων

Απ' τη σχέση:

$$E = \sum_1^6 [(I_{mpp} \cdot n_i)^2 \cdot R_{700C} (\Omega / km) \cdot L(km) \cdot t_i \cdot 4351](Wh) \quad (5)$$

και απ'την υπόθεση ότι όταν ο αναστροφέας αποδίδει ποσοστό  $i$  της ισχύος του, το ρεύμα στη στοιχειοσειρά θα ναί  $I_{mpp} \cdot i$ , προκύπτει :

Διατομή	Απώλειες ενέργειας (KWh/έτος)
4mm <sup>2</sup>	670 KWh
6mm <sup>2</sup>	400 KWh

Πίνακας 2.6: Υπολογισμός απωλειών ενέργειας(KWh/year) για τις διαφορετικές διατομές

Απ'τους πίνακες που αφορούν την πτώση τάσης, τις απώλειες ισχύος αλλά και τις απώλειες ενέργειας γίνεται αντιληπτό ότι μπορεί άριστα να χρησιμοποιηθεί μόνο καλώδιο διατομής 4mm<sup>2</sup> καθώς βρίσκεται μέσα στα επιθυμητά όρια. Απ'τις απώλειες ενέργειας προκύπτει μία ετήσια διαφορά 670-400KWh=270KWh που μεταφράζεται σε 130 ευρώ το χρόνο.

Βέβαια αν υποθεθεί ότι χρησιμοποιείται μόνο 4mm<sup>2</sup> καλώδιο(0.44ευρώ/m) το κόστος του καλωδίου θα ναί: 0.44ευρώx721m=317ευρώ ενώ με 6mm<sup>2</sup> καλώδιο(0.60ευρώ/m) το κόστος του καλωδίου θα ναί: 0.60ευρώx721m=432ευρώ δηλ. έχουμε μία διαφορά 115 ευρώ. Απ'τις απώλειες ενέργειας εξάγεται ένα συνολικό κόστος 130x25=3250 ευρώ στα 25 χρόνια λειτουργίας ενώ με αλλαγή διατομής προκύπτει το κόστος αγοράς 115 ευρώ για μία φορά. Άρα θα μπορούσε κανείς να αποφασίσει είτε να

χρησιμοποιήσει μόνο  $6\text{mm}^2$  καλώδιο σ'όλη την εγκατάσταση είτε μερικώς (π.χ. σε 2 από τις 3 στοιχειοσειρές στους αναστροφείς των 11KW) όπως και έγινε στην πραγματικότητα.

## 2.5 Προστασία στην DC πλευρά της εγκατάστασης

Παρά το γεγονός ότι στην πλευρά AC της εγκατάστασης πρέπει να ακολουθηθούν οι κανονισμοί που απορρέουν από το πρότυπο HD384, στην DC πλευρά αντιθέτως η υλοποίηση της εγκατάστασης δεν καλύπτεται με την εφαρμογή του HD384. Ο λόγος είναι ότι τα φωτοβολταϊκά έχουν διαφορετικές ιδιότητες από τις συμβατικές πηγές. Οι ιδιαιτερότητες αυτές πηγάζουν από τη φύση των υλικών κατασκευής των Φ/Β στοιχείων και πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη προκειμένου να σχεδιασθεί και να υλοποιηθεί σωστά ένα Φ/Β σύστημα.

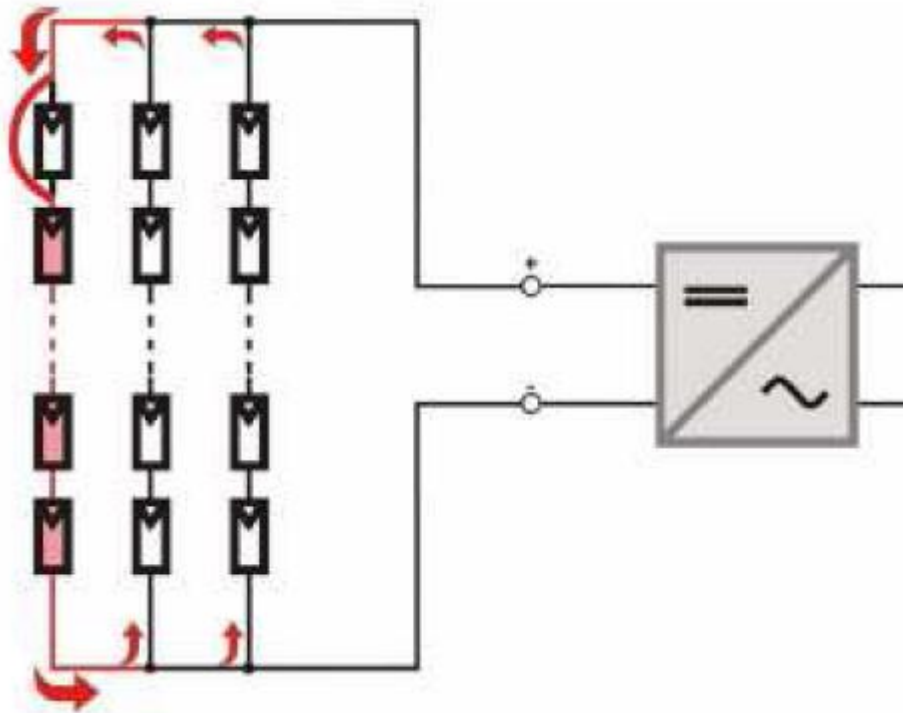
Αναλυτικότερα:

A) Λαμβάνοντας υπόψη τη φύση των Φ/Β στοιχείων, τα Φ/Β πλαίσια συμπεριφέρονται σαν πηγές ρεύματος ελεγχόμενες από τάση. Μάλιστα η μέγιστη τιμή του ρεύματος ενός Φ/Β πλαισίου είναι ελάχιστα μεγαλύτερη από την τιμή του ονομαστικού ρεύματος του πλαισίου. Συνεπώς **η χρήση ασφαλειών δεν εγγυάται τη διακοπή του συστήματος σε περίπτωση σφάλματος (βραχυκύκλωμα πλαισίου). Δηλαδή, ένα σφάλμα βραχυκύκλωσης στην πλευρά του Σ.Ρ. μπορεί να εξακολουθεί να υφίσταται, ανεξαρτήτως της χρήσης ασφαλειών εκτός από την περίπτωση που το Φ/Β σύστημα απαρτίζεται από περισσότερες από τρεις παράλληλες στοιχειοσειρές.** Σε μια τέτοια δομή Φ/Β συστήματος οι ασφάλειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία κάθε μιας ξεχωριστής στοιχειοσειράς και μπορεί να ναι είτε ασφάλειες τήξης σε ασφαλειοθήκες λειτουργώντας ως ασφαλειοαποζεύκτες είτε μικροαυτόματοι για DC προστασία.

B) Σε αντίθεση με τις περισσότερες ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες όπου η παραγωγή ηλεκτρισμού μπορεί να διακοπεί με τη βοήθεια ενός γενικού μέσου απόζευξης, τα Φ/Β πλαίσια παράγουν τάση στους ακροδέκτες τους μόλις εκτεθούν στο ηλιακό φως. Συνεπώς, η εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος πραγματοποιείται υπό συνθήκες τάσεως προς την πλευρά των πλαισίων.

Με βάση τα παραπάνω, όπως φαίνεται και στο μονογραμμικό σχέδιο, δεν τοποθετούνται ασφάλειες στις στοιχειοσειρές. Ο λόγος είναι ότι χρησιμοποιούνται μέχρι τρεις παράλληλες στοιχειοσειρές ανά αναστροφή και επίσης το καλώδιο αντέχει σε περιπτώσεις βραχυκλωμάτων και ανάστροφων ρευμάτων (σχ.2.5) με το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης σε μία στοιχειοσειρά να φτάνει τα  $(3-1) \times 8.25\text{A} = 16.5\text{A}$  (περίπτωση ανάστροφων ρευμάτων). Το καλώδιο PV-1F( $4\text{mm}^2$ ) με μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία τους  $90^\circ\text{C}$ , στους  $70^\circ\text{C}$  που μπορεί να φτάσει σε μία Φ/Β εγκατάσταση έχει ένα συντελεστή διόρθωσης 0.82, δηλ.  $55\text{A} \times 0.82 = 45\text{A}$ . Αντιστοίχως το PV-1F( $6\text{mm}^2$ ) μπορεί να δεχτεί στην ίδια θερμοκρασία μέχρι  $70\text{A} \times 0.82 = 57\text{A}$ . Όπως γίνεται φανερό, και οι δύο μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές ρεύματος που δέχονται τα καλώδια είναι πολύ μεγαλύτερες των 16.5 A που προκύπτουν στη δυσμενέστερη περίπτωση σφάλματος. Τέλος, για την απομόνωση των πλαισίων από τους αναστροφείς σε περίπτωση κάποιας επισκευής, υπάρχει αποζεύκτης στην είσοδο των αναστροφών.





Σχ.2.5 Δημιουργία ανάστροφων ρευμάτων

## 2.6 Αναστροφέας: Ασφάλεια δικτύου και απόδοση αναστροφέα

Για την ασφάλεια του δικτύου αλλά κυρίως του προσωπικού συντήρησης του δικτύου, κάθε αναστροφέας πρέπει να διαθέτει την ικανότητα να τίθεται εκτός λειτουργίας σε περίπτωση εμφάνισης νησιδοποίησης σύμφωνα με τον κανονισμό VDE 0126-1-1 ή ισοδύναμης μεθόδου κατά IEC 62116.

Με τον όρο “φαινόμενο νησίδας” ορίζεται μια μη επιθυμητή κατάσταση κατά την οποία ένα τμήμα του ηλεκτρικού δικτύου, όπου εμπεριέχονται τόσο ηλεκτρικά φορτία όσο και μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, παραμένει ηλεκτροδοτημένο, λόγω των παραπάνω μονάδων, παρότι το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο είναι ανενεργό. Αιτίες εμφάνισης αυτού του φαινομένου μπορεί να είναι η ηθελημένη αποσύνδεση ενός μέρους του δικτύου από τα μέσα προστασίας αυτού εξαιτίας της ανίχνευσης κάποιου σφάλματος, η προγραμματισμένη διακοπή του δικτύου για λόγους συντήρησης, η διακοπή της ηλεκτροδότησης λόγω εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, η πιθανή αστοχία ενός μέρους του εξοπλισμού του Σ.Η.Ε. αλλά και το ανθρώπινο λάθος. Η ανίχνευση του «φαινομένου νησίδας», αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση ενός Φ/Β συστήματος στο Ελληνικό ΣΗΕ, όπως εν γένει και των υπολοίπων διεσπαρμένων πηγών ενέργειας. Οι λόγοι που επιβάλλουν την ανίχνευση αυτών των καταστάσεων έγκειται στη διασφάλιση υψηλής ποιότητας παρεχόμενης ενέργειας στους καταναλωτές και κυρίως η ασφάλεια εγκαταστάσεων και

προσώπων. Αναλυτικότερα, σε περιπτώσεις προγραμματισμένης συντήρησης, ενώ οι Διαχειριστές Δικτύου θέτουν ηθελημένα εκτός λειτουργίας τμήματα του ηλεκτρικού συστήματος για να τελεστούν οι εργασίες συντήρησης, η ενδεχόμενη ηλεκτροδότηση αυτού του τμήματος από διεσπαρμένες πηγές ενέργειας (λόγω αδυναμίας ανίχνευσης της διακοπής), θέτει δε σε κίνδυνο το προσωπικό που διενεργεί τις απαραίτητες εργασίες. Επιπρόσθετα, εάν οι προστασίες ενός Σ.Η.Ε. ανοίξουν τους διακόπτες προστασίας μιας γραμμής (λόγω ανίχνευσης τυχαίων σφαλμάτων, πιθανής βλάβης του εξοπλισμού, εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, ανθρώπινων λαθών χειρισμού κ.λ.π.), και δεν καταστεί εφικτό οι διεσπαρμένες πηγές να εντοπίσουν τη διακοπή της ηλεκτροδότησης, θα συνεχίσουν να τροφοδοτούν τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στην ίδια με αυτές γραμμή. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιφέρει δύο πολύ σημαντικά προβλήματα:

α) Κατά το χρονικό διάστημα της διακοπής, στο κομμάτι της γραμμής που τέθηκε εκτός λειτουργίας δεν υφίσταται κάποιος κεντρικός έλεγχος της συχνότητας και της τάσης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στους υπόλοιπους συνδεδεμένους χρήστες σε περίπτωση που οι διεσπαρμένες πηγές δε μπορέσουν να τροφοδοτήσουν τα φορτία με τα απαραίτητα ποσά ενεργού και άεργου ισχύος.

β) Στην περίπτωση που οι διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής μπορέσουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των φορτίων, όταν οι διακόπτες των συστημάτων προστασίας επανασυνδέσουν την εν λόγω γραμμή στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ενδέχεται να υπάρξουν σημαντικές διαφορές μεταξύ της τάσης στους ακροδέκτες των διεσπαρμένων πηγών και αυτής του υπολοίπου Σ.Η.Ε. (διαφορά φάσης και πλάτους, απώλεια συγχρονισμού με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο) Οι διαφορές αυτές είναι δυνατό να έχουν καταστροφικές συνέπειες τόσο στην ίδια την εγκατάσταση όσο στους υπόλοιπους συνδεδεμένους καταναλωτές.

Οι αναστροφείς των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα πρέπει να διαθέτουν προστασία έναντι νησιδοποίησης κατά VDE 0126-1-1 ή ισοδύναμης μεθόδου κατά IEC 62116. Στην περίπτωση ανίχνευσης απομονωμένης λειτουργίας (ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης μεθόδου), η απόζευξη των Φ/Β μονάδων από το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να γίνεται σε χρονικό διάστημα μικρότερο του ενός δευτερολέπτου (απαιτούμενος χρόνος εκκαθάρισης τυχαίων μη σοβαρών σφαλμάτων), έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συνέπειες που μπορούν να προκληθούν από ενδεχόμενη ταχεία επαναφορά της τάσης του δικτύου.

Στη Γερμανία η Φ/Β γεννήτρια αποσυνδέεται από το δίκτυο αν παραβιαστούν τα όρια για την τάση και τη συχνότητα. Η προστασία αντινησιδοποίησης κατά VDE 0126-1-1 είναι υποχρεωτική για Φ/Β συστήματα ισχύος έως 30kVA μόνο όταν το σημείο σύνδεσης της πηγής με το δίκτυο δεν είναι προσβάσιμο από το διαχειριστή του δικτύου. Η συμμόρφωση με το πρότυπο VDE 0126-1-1 αποδεικνύεται με πιστοποιητικό τύπου από ανεξάρτητο εργαστήριο.

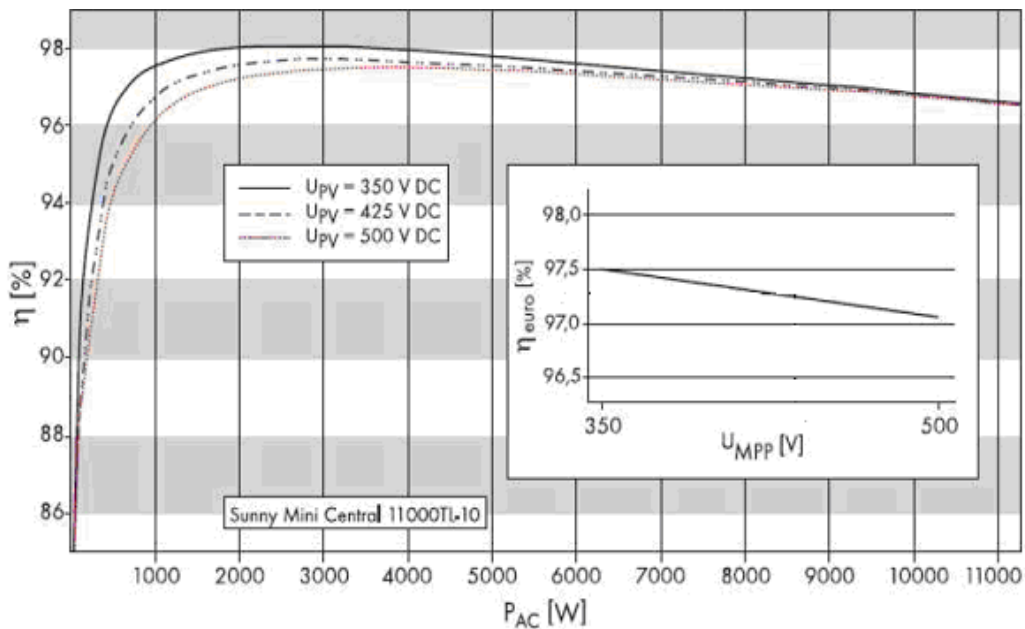
Οι απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να καλύπτονται για την διασύνδεση ενός Φ/Β συστήματος με το δίκτυο, σύμφωνα και με τις οδηγίες του Διαχειριστή Δικτύου, συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Παράμετρος	Απαιτήση
Τάση	Η τιμή της εναλλασσόμενης τάσης στα άκρα του ηλεκτρονικού αντιστροφέα δεν πρέπει να υπερβαίνει το -20% (184V) ή το +15% (264.5V) της ονομαστικής τιμής της τάσης του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0.5 s
Συχνότητα	Η συχνότητα των ηλεκτρικών μεγεθών εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να υπερβαίνει περισσότερο από $\pm 0.5\text{Hz}$ την ονομαστική τιμή της συχνότητας του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0.5 s.
Αυτόματη επανάζευξη	Η επανάζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται μετά από τουλάχιστον 3 λεπτά.
Αρμονικές	Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
Έγχυση συνεχούς ρεύματος	Η μέγιστη τιμή εγχεόμενου συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να είναι το πολύ ίση με το 0.5% του ονομαστικού ρεύματος της εγκατάστασης

Πίνακας 2.7: Απαιτήσεις διασύνδεσης σύμφωνα και με τις οδηγίες του Διαχειριστή Δικτύου

Όσον αφορά την απόδοση ενός αναστροφέα, η απόδοση του αναστροφέα είναι άμεσα εξαρτημένη από την DC ισχύ στην είσοδό του αλλά και από την τάση λειτουργίας της συστοιχίας. Μείωση της ισχύος εισόδου συνεπάγεται και μείωση της απόδοσης. Λόγω της συχνής μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας, ο αναστροφέας λειτουργεί διαρκώς υπό διαφορετικό φορτίο. Για το κλίμα της Κεντρικής Ευρώπης, το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας παράγεται για μέσες τιμές ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό οι κατασκευαστές βελτιστοποιούν τους αναστροφείς για μέγιστη απόδοση σε μερικό φορτίο.

Για την ποσοτικοποίηση του βαθμού απόδοσης του αναστροφέα χρησιμοποιείται ο συντελεστής **Euro efficiency n**. Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει υπ' όψιν τις διαφορετικές συνθήκες φορτίου και υπολογίζεται από τη σχέση (4) που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενη παράγραφο για την καταναλισκόμενη ενέργεια από τις στοιχειοσειρές.



**Σχ. 2.6** Καμπύλες απόδοσης αναστροφέα σε σχέση με την τάση  $V_{mpp}$  και της ισχύος εξόδου  $P_{AC}$

Απ' το παραπάνω διάγραμμα(σχ.2.6) με μέγιστη τάση στην είσοδο ίση με 488V για τα 17 πλαίσια, προκύπτει ότι η απόδοση του αναστροφέα Sunny Mini central 11000TL-10 που χρησιμοποιούμε φτάνει το **97,2%**.

## 2.7 Σύνδεση αναστροφένων στο γενικό πίνακα Χ.Τ.(MLVP) και καλώδιο παροχής στο μετρητή της

Αφού μελετήθηκε πλήρως η DC πλευρά της εγκατάστασης, στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει μελέτη για την AC πλευρά που ξεκινά από την έξοδο των αναστροφένων μέχρι τους AC υποπίνακες(SUB 1.2 και SUB 2) και απ'τους υποπίνακες στο γενικό πίνακα(MLPV) μέχρι το μετρητή της ΔΕΗ.

Όπως φαίνεται και απ'το μονογραμμικό σχέδιο(σχ.2.2), χρησιμοποιούνται διάφορες διατομές καλωδίων ισχύος ανάλογα την απόσταση απ'το γενικό πίνακα ώστε να καλύπτεται το ποσοστό της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος κατά VDE. Επίσης χρησιμοποιείται διαφορετική διατομή για τη σύνδεση από τον κάθε αναστροφέα μέχρι τον αντίστοιχο υποπίνακα.

Το καλώδιο ισχύος που τροφοδοτεί γενικά την AC πλευρά, είναι το γνωστό J1VV-R(ή NYG κατά VDE)(σχ.2.7), χαρακτηρίζεται από τα πρότυπα ΕΛΟΤ 843, ΕΛΟΤ 1099 και IEC 60502 και έχει τις εξής προδιαγραφές:

- **J**: το καλώδιο χαρακτηρίζεται κατά IEC (IEC 502)
- **1**: το καλώδιο είναι κατασκευασμένο για τάσεις λειτουργίας 600/1000V
- **V**: η μόνωση του αγωγού είναι από PVC

- **V:** ο εξωτερικός μανδύας είναι από PVC
- **F:** ο αγωγός είναι πολύκλωνος



**Σχ. 2.7** Τομή καλωδίου J1VV-R(NYY)

Για την τροφοδοσία των υποπινάκων(SUB 1.2) απ'τους αναστροφείς SMC 11000TL(όπου η μεγαλύτερη απόσταση είναι περίπου 2.5m), χρησιμοποιείται καλώδιο NYY(ή J1VV-R) **3x10mm<sup>2</sup> (L1,N,PE)**. Για να ελεγχθεί αν έχει τοποθετηθεί η κατάλληλη διατομή, αρκεί να γίνει ένας υπολογισμός για το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα καθότι η πτώση τάσης και οι απώλειες ισχύος είναι αμελητέες για τόσο μικρά μήκη(2.5m-3m). Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα για το 3x10 mm<sup>2</sup> είναι, σύμφωνα με τους πίνακες του HD 384,  $I_{max}=70A$  στους 30° C. Θέτοντας μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος τους 45° C και τοποθέτηση πάνω σε σχάρα με 2 πλήθη καλωδίων σε απόσταση μεταξύ τους, προκύπτει ένας συντελεστής διόρθωσης **0.79**. Άρα στην πραγματικότητα, το καλώδιο μπορεί να φορτιστεί μέχρι  $70A \times 0.79 = 55.3A$ . Το αναμενόμενο ρεύμα που θα διαρρέει το καλώδιο

για τους SMC 11000TL είναι:  $P_{AC} = V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{V \cdot \cos\phi} = \frac{11000W}{230V \cdot 1} = 47.83A < 55.3A$ .

Για την τροφοδοσία του υποπίνακα(SUB 2) απ'τους αναστροφείς SB 4000TL-20 (όπου η μεγαλύτερη απόσταση είναι περίπου 3-3.5m), χρησιμοποιείται καλώδιο NYY(ή J1VV-R) **3x4mm<sup>2</sup> (L1,N,PE)**. Για να ελεγχθεί αν έχει τοποθετηθεί η κατάλληλη διατομή, αρκεί να γίνει ένας υπολογισμός για το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα καθότι η πτώση τάσης και οι απώλειες ισχύος είναι αμελητέες για τόσο μικρά μήκη(3m-3.5m). Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα για το 3x4 mm<sup>2</sup> είναι, σύμφωνα με τους πίνακες του HD 384,  $I_{max}=40A$  στους 30° C. Θέτοντας μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος τους 45° C και τοποθέτηση πάνω σε σχάρα με 3 πλήθη καλωδίων σε απόσταση μεταξύ τους, προκύπτει ένας συντελεστής διόρθωσης **0.79**. Άρα στην πραγματικότητα, το καλώδιο μπορεί να φορτιστεί μέχρι  $40A \times 0.79 = 31.6A$ . Το αναμενόμενο ρεύμα που θα διαρρέει το καλώδιο

για τους SB 4000TL-20 είναι:  $P_{AC} = V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{V \cdot \cos\phi} = \frac{4000W}{230V \cdot 1} = 17.4 < 31.6A$ .

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αν και προτιμήθηκε η παραπάνω διατομή, ίσως θα μπορούσε να τοποθετηθεί και το 3x2.5 mm<sup>2</sup>(23.7A με συντελεστή διόρθωσης). Από κάθε αναστροφή SB 4000TL-20 στον υποπίνακα SUB 2, αναχωρεί ένα καλώδιο για κάθε φάση του γενικού πίνακα, δηλ. γίνεται (L1,N,PE) για τον αναστροφή 9, (L2,N,PE) για τον αναστροφή 8 και (L3,N,PE) για τον αναστροφή 7.

Για την τροφοδότηση του γενικού πίνακα(MLVP) απ'τους υποπίνακες, προκύπτουν διαφορετικές διατομές αναλόγως την απόσταση του γενικού πίνακα απ'τον κάθε υποπίνακα. Έτσι, για τον SUB 2(inverter 7,8,9) χρησιμοποιείται τριπολικό καλώδιο **5x10 mm<sup>2</sup>(L1,L2,L3,N,PE)** με μήκος **26m**. Για τον SUB 1.2(inverter 5,6) τοποθετείται διπολικό καλώδιο **3x50 mm<sup>2</sup>(L3,N,PE)** με μήκος **17m** ενώ στον SUB 1.2(inverter 3,4) διπολικό καλώδιο **3x35 mm<sup>2</sup>(L2,N,PE)** με μήκος **9m**. Για τους αναστροφείς 1,2 που βρίσκονται

δίπλα στο γενικό πίνακα και επομένως δε χρειάζεται να συνδεθούν σε υποπίνακα, τοποθετήθηκε διπολικό καλώδιο NYΥ 3x10 mm<sup>2</sup>(L1,N,PE) με μήκος μόλις 3m.

Όλα τα καλώδια διατρέχουν την απόσταση από τους υποπίνακες προς το γεν.πίνακα υπόγεια μέσα σε σωλήνες χρησιμοποιώντας χαντάκια.

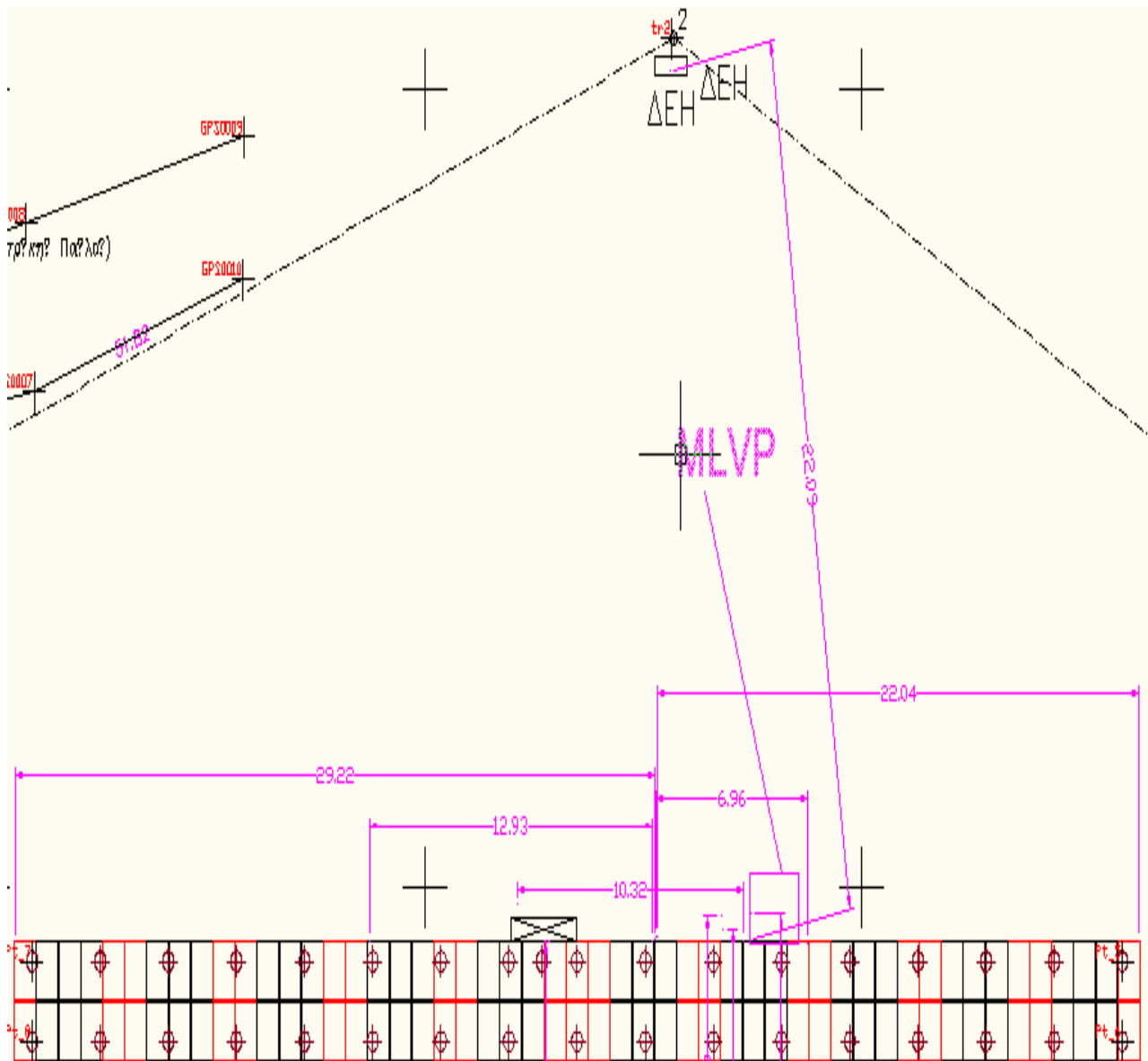
Συνοπτικά οι διατομές των καλωδίων από αναστροφείς προς υποπίνακες και από υποπίνακες προς γενικό πίνακα με τις αντίστοιχες αποστάσεις παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες(2.8,2.9):

<b>Inverter προς υποπίνακες</b>	<b>Διατομές καλωδίου NYΥ</b>	<b>Μήκος καλωδίου</b>	<b>Φάσεις</b>
3,4 προς SUB 1.2	3x10 mm <sup>2</sup>	2.5m	L1
5,6 προς SUB 1.2	3x10 mm <sup>2</sup>	2.5m	L1
7,8,9 προς SUB 2	3x4 mm <sup>2</sup>	3.5m	L1,L2,L3
<b>Inverter προς γενικό πίνακα</b>	<b>Διατομές καλωδίου NYΥ</b>	<b>Μήκος καλωδίου</b>	<b>Φάσεις</b>
Inverter 1,2	3x10 mm <sup>2</sup>	3m	L1

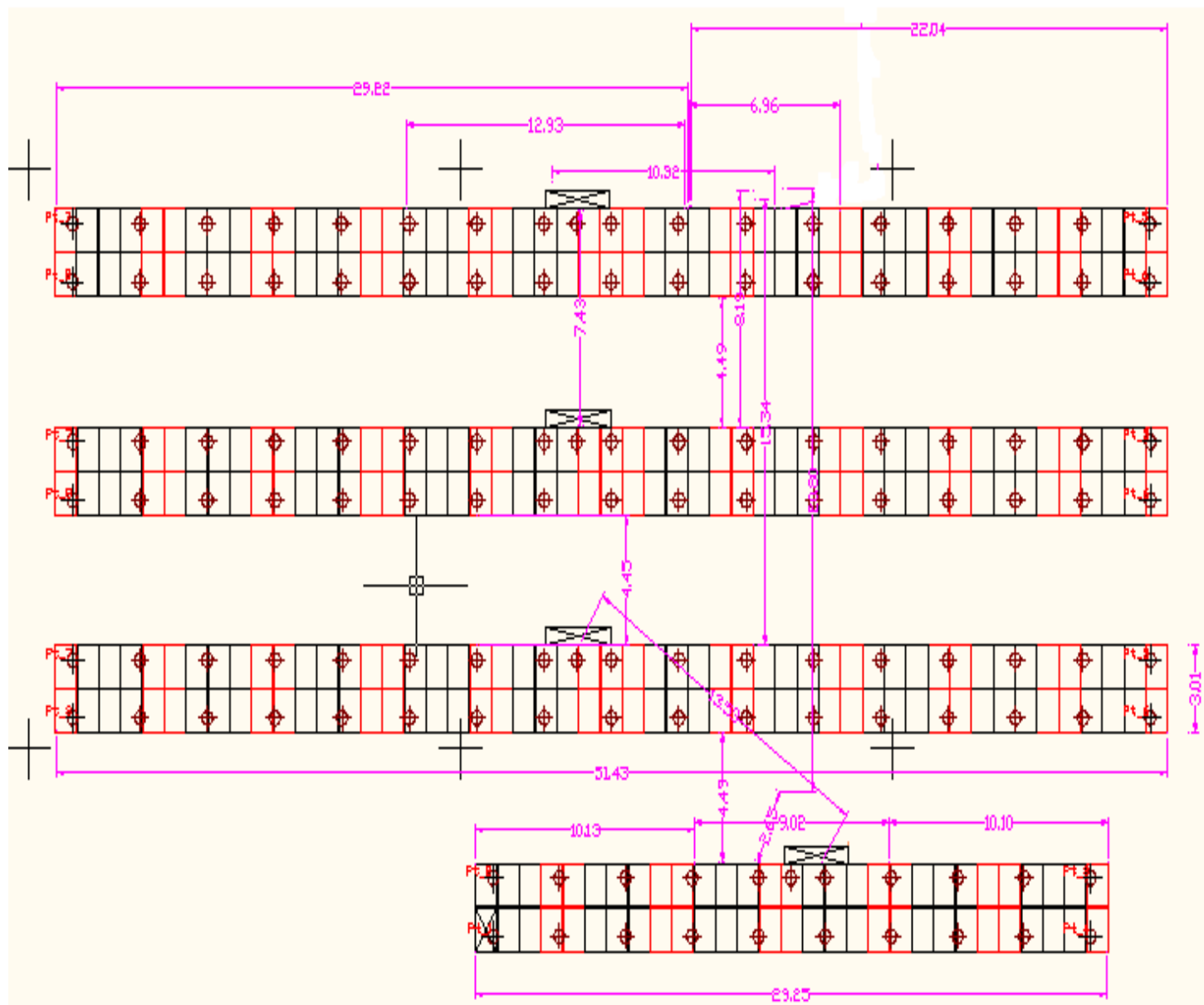
Πίνακας 2.8: AC καλωδίωση από αναστροφείς-υποπίνακες AC

<b>Υποπίνακες προς γενικό πίνακα MLVP</b>	<b>Διατομές καλωδίου NYΥ</b>	<b>Μήκος καλωδίου</b>	<b>Φάσεις</b>
SUB 1.2(inverter 3,4)	3x35 mm <sup>2</sup>	9m	L2
SUB 1.2(inverter 5,6)	3x50 mm <sup>2</sup>	17m	L3
SUB 2(inverter 7,8,9)	5x10 mm <sup>2</sup>	26m	L1,L2,L3

Πίνακας 2.9: AC καλωδίωση από υποπίνακες AC-MLVP



**Σχ.2.8** Διαδρομή καλωδίου παροχής(σε m) από γενικό πίνακα(MLVP) προς μετρητή ΔΕΗ



**Σχ.2.9** Τοπογραφικό σχέδιο με τις αποστάσεις και διαδρομές καλωδίων(σε m)

Εφόσον τα καλώδια διατρέχουν τη διαδρομή υποπίνακα-γεν.πίνακα μέσα στο έδαφος θα πρέπει να γίνει υπολογισμός για εγκατάσταση καλωδίου στο έδαφος μέσα σε οχετούς(σωλήνες). Κατά συνέπεια, για την διαδρομή SUB 2-MLVP προκύπτει

$$P_{AC} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{3 \cdot 4000W}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 1} = 17.32A \quad \text{ανά φάση. Αν}$$

χρησιμοποιηθεί καλώδιο  $5 \times 10 \text{mm}^2$  (52A στο έδαφος σε  $\theta=20^\circ \text{C}$ ) τότε προκύπτει:

- Συντελεστής διόρθωσης 0.95 για θερμοκρασία εδάφους  $25^\circ \text{C}$  (αυτή μπορεί να θεωρηθεί η θερμοκρασία εδάφους κατά IEC 60287 για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου σε βάθος 0.7m σε υποτροπικό κλίμα)
- Συντελεστής διόρθωσης 1.10 για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους  $1.5 \text{K} \cdot \text{m/W}$  (σπάνια έως κανονική βροχόπτωση στο μέρος εκείνο)



δηλαδή  $I_{\max}=52A \cdot 0.95 \cdot 1.10= 54.3A > 17.32A$ .

Για την πτώση τάσης του  $5 \times 10 \text{ mm}^2$  ( $R_{70^\circ \text{C}}=2.19\Omega/\text{km}$ ) ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{L(\text{Km}) \cdot R(\Omega/\text{km}) \cdot P}{U^2} = 0.0043 = 0.43\% < 1\% \text{ ενώ με } 5 \times 6 \text{ mm}^2 \text{ (} R_{70^\circ \text{C}}=3.69\Omega/\text{km)}$$

έχουμε πτώση τάσης 0.72%. Όμοιο ποσοστό ισχύει και για τις απώλειες ισχύος, δηλαδή για το  $5 \times 10 \text{ mm}^2$

έχουμε  $\Delta P/P=0.43\%$ .

Για το SUB 1.2(inv 5,6) θα ισχύει:

$$P_{AC} = V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{V \cdot \cos\phi} = \frac{11000W}{230V \cdot 1} = 47.83A. \text{ Αν χρησιμοποιηθεί καλώδιο}$$

$3 \times 50 \text{ mm}^2$  (148A στο έδαφος σε  $\theta=20^\circ \text{C}$ ) τότε προκύπτει:

- Συντελεστής διόρθωσης 0.95 για θερμοκρασία εδάφους  $25^\circ \text{C}$
- Συντελεστής διόρθωσης 1.10 για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους  $1.5 \text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
- Συντελεστής διόρθωσης 0.9 για πλήθος 2 καλωδίων στο σωλήνα μέσα στο έδαφος

δηλαδή  $I_{\max}=148A \cdot 0.95 \cdot 1.10 \cdot 0.90= 139.2A > 47.83A$ .

Για την πτώση τάσης του  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  ( $R_{70^\circ \text{C}}=0.43\Omega/\text{Km}$ ) ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{2 \cdot L(\text{Km}) \cdot R(\Omega/\text{km}) \cdot P}{U^2} = 0.003 = 0.3\% < 1\% \text{ ενώ με } 3 \times 35 \text{ mm}^2 \text{ (} R_{70^\circ \text{C}}=0.61\Omega/\text{km)}$$

έχουμε πτώση τάσης  $0.43\% < 1\%$ . Όμοιο ποσοστό ισχύει και για τις απώλειες ισχύος, δηλαδή για το  $3 \times 50 \text{ mm}^2$  έχουμε  $\Delta P/P=0.3\%$ .

Για το SUB 1.2(inv 3,4) θα ισχύει:

$$P_{AC} = V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{V \cdot \cos\phi} = \frac{11000W}{230V \cdot 1} = 47.83A. \text{ Αν χρησιμοποιηθεί καλώδιο}$$

$3 \times 35 \text{ mm}^2$  (125A στο έδαφος σε  $\theta=20^\circ \text{C}$ ) τότε προκύπτει:

- Συντελεστής διόρθωσης 0.95 για θερμοκρασία εδάφους  $25^\circ \text{C}$
- Συντελεστής διόρθωσης 1.10 για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους  $1.5 \text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
- Συντελεστής διόρθωσης 0.9 για πλήθος 2 καλωδίων στο σωλήνα μέσα στο έδαφος

δηλαδή  $I_{\max}=125A \cdot 0.95 \cdot 1.10 \cdot 0.90= 117.6A > 47.83A$ .

Για την πτώση τάσης του  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  ( $R_{70^\circ \text{C}}=0.61\Omega/\text{Km}$ ) ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{2 \cdot L(\text{Km}) \cdot R(\Omega/\text{km}) \cdot P}{U^2} = 0.0023 = 0.23\% < 1\% \text{ ενώ με } 3 \times 25 \text{ mm}^2 \text{ (} R_{70^\circ \text{C}}=0.61\Omega/\text{km)}$$

έχουμε πτώση τάσης  $0.32\% < 1\%$ . Όμοιο ποσοστό ισχύει και για τις απώλειες ισχύος, δηλαδή για το  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  έχουμε  $\Delta P/P=0.23\%$ .

Τέλος, για τους αναστροφείς 1,2 που βρίσκονται σε απόσταση μόλις 3m από το γενικό πίνακα, χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση καλώδιο  $3 \times 10 \text{ mm}^2$  ( $R_{70^\circ \text{C}}=2.1\Omega/\text{Km}$ )

με  $I_{\max}=63A \cdot 0.95 \cdot 1.10 \cdot 0.90= 59.25A > 47.83A$ . Η πτώση τάσης είναι:  $\frac{\Delta U}{U} = 0.26\% < 1\%$

Το καλώδιο που επιλέχθηκε για την παροχή ισχύος του Φ/Β πάρκου προς το δίκτυο της ΔΕΗ(γεν.πίνακας-μετρητής) είναι **NY 3x95mm<sup>2</sup>(L1,L2,L3)+50mm<sup>2</sup>(N)** ( $R_{70^\circ \text{C}}=0.023\Omega/\text{km}$ ). Το καλώδιο αυτό ξεκινά από το γενικό πίνακα μαζί με τον κεντρικό αγωγό προστασίας(50mm<sup>2</sup> γυμνός αγωγός), τοποθετείται σε χαντάκι μέσα σε σωλήνα Φ90 και καταλήγει στο μετρητή που βρίσκεται στην είσοδο του οικοπέδου(L=27m). Το καλώδιο αυτό έχει μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα στους  $20^\circ \text{C}$ ,  $I_{\max}=179A$ . Χρησιμοποιώντας τους ίδιους συντελεστές διόρθωσης με τα άλλα υπόγεια καλώδια, προκύπτει

$I_{\max}=179A \times 0.95 \times 1.1=187A$  ανά φάση. Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να τροφοδοτήσει η εγκατάσταση το δίκτυο και άρα το καλώδιο αυτό, είναι :

$$I_{\mu\epsilon\gamma} = \frac{P_{3\phi} \max}{\sqrt{3} \cdot V \pi \cdot \cos\phi} = \frac{80000KWp}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 1} = 115.5A \text{ ανά φάση} < 187A. \text{ Η πτώση τάσης θα ναι:}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{L(Km) \cdot R(\Omega / km) \cdot P}{U^2} = 0.0030 = 0.30\% < 1\%.$$

Για τον προσδιορισμό της διατομής  $A_N$  του ουδετέρου θεωρούμε ότι το τριφασικό σύστημα είναι γενικά συμμετρικό σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας κάτι που προσεγγίζει κατά πολύ την αλήθεια αφού όλοι οι αναστροφείς θα λειτουργούν σχεδόν στην ίδια ισχύ για την ίδια χρονική στιγμή της ημέρας. Σύμφωνα με τον κανονισμό HD384.5.524 για διατομές φάσεων μικρότερες των  $16mm^2$ , η διατομή του ουδετέρου πρέπει να είναι ίδια με τη διατομή της φάσης. Για διατομές μεγαλύτερες των  $16mm^2$  ισχύει:

- $A_N=A_{L1}=A_{L2}=A_{L3}$  για φορτία μη ηλεκτρονικά ισχύος όπως γραφεία και βιομηχανία
- $A_N = 0,5 \cdot A_{L1} = 0,5 \cdot A_{L2} = 0,5 \cdot A_{L3}$  για γραμμικά φορτία

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, η διατομή του αγωγού του ουδετέρου θα ναι μισή από αυτή των φάσεων(γραμμικό φορτίο) δηλαδή **50mm<sup>2</sup>**.

## 2.8 Προστασίες πινάκων από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά εξαρτήματα που διαθέτουν οι πίνακες, αυτά απεικονίζονται στο μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης(σχ.2.2).

Συγκεκριμένα, στους DC πίνακες βρίσκονται μόνο **οι απαγωγείς υπερτάσεων**(σχ 2.10) της εταιρείας ΕΛΕΜΚΟ που πρωτοπορεί στον τομέα αυτό. Πρόκειται για διπολικούς απαγωγούς PV1000(τύπου T1+T2 1000V DC). Ασφάλειες δεν τοποθετούνται για λόγους που έχουν αναπτυχθεί στην παράγραφο 2.5.

Οι διπολικοί απαγωγείς(+ και -) κρουστικών ρευμάτων PV-1000 είναι ειδικά σχεδιασμένοι για προστασία από κρουστικές υπερτάσεις διατάξεων (DC/AC) αναστροφένων οι οποίοι έχουν εφαρμογή σε Φ/Β συστήματα. Είναι ημιαγωγικού τύπου και έχουν περάσει με επιτυχία τις δοκιμές του Ευρωπαϊκού προτύπου EN 61643-11 και διεθνούς IEC 61643-1 class I και κατατάσσονται στον τύπο T1+T2 παρέχοντας προστασία από άμεσα,  $I_{imp}(10/350\mu s)$  και δευτερεύοντα κρουστικά πλήγματα  $I_{max}(8/20\mu s)$  στην εγκατάσταση στο DC τμήμα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 2.10:

<b>Τύπος</b>	<b>PV - 1000 T1</b>	<b>PV - 1000 T2</b>
Αριθμός Πόλων	2	2
Σύνδεση μεταξύ πόλων	L+ve - PE, L-ve - PE	L+ve - PE, L-ve - PE
Ονομαστική τάση δικτύου, $U_N$	1000V DC	1000V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας, $U_c$ (L-GND)	1000V DC	1000V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας, $U_c$ (L+ve - L-ve)	1000V DC	1000V DC
Μέγιστη τάση λειτουργίας στοιχείου, 1P	500V DC	500V DC
$I_{imp}$ , "class I" test, (10/350 $\mu$ s), 1P	12,5kA	-
$I_n$ , "class II" test, (8/20 $\mu$ s), 1P	20kA	20kA
$I_{max}$ , "class II" test, (8/20 $\mu$ s), 1P	50kA	40kA
$U_p$ , (σε $I_n$ )	<4kV	<4kV
Κύριο κύκλωμα	Mov.	Mov.
Χρόνος απόκρισης, tA	<25ns	<25ns
Ικανότητα σε βραχυκύκλωμα, $I_k$	3kA / 50Hz	3kA / 50Hz
Προστασία σε τηκτή ασφάλεια	<=32A gR	<=32A gR
Διάταξη Θερμικής απόζευξης	NAI	NAI
Διαστάσεις (mm)	90x64x52,5mm	90x64x52,5mm
Οπτική ένδειξη καλής λειτουργίας	NAI	NAI
Υποδοχή ακροδεκτών	35mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>
Υλικό κατασκευής περιβλήματος	Polycarbonate halogen free	Polycarbonate halogen free
Στάθμη προστασίας περιβλήματος	IP20	IP20
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C ως +80°C	-40°C ως +80°C
Στήριξη σε ράγα	DIN-3(TS-35/EN50022)	DIN-3(TS-35/EN50022)
Πρότυπα	EN 61643-11, IEC 64643-1	EN 61643-11, IEC 64643-1
Βοηθητικές επαφές	NAI	NAI
Υποδοχή ακροδεκτών (mm <sup>2</sup> ) βοηθητικών επαφών	1,5mm <sup>2</sup>	1,5mm <sup>2</sup>

Πίνακας 2.10 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά απαγωγέων υπερτάσεων σε Φ/Β



**Σχ.2.10** Απαγωγείς υπερτάσεων για Φ/Β

Για τους AC υποπίνακες, υπάρχει προστασία της εξόδου AC των αναστροφών με **διπολικούς(L,N) μικροαυτόματους κλάσης C** με ονομαστική τιμή που διαφέρει ανάλογα το καλώδιο που έχει τοποθετηθεί ανά αναστροφή. Συγκεκριμένα:

Καλώδιο	Τύπος μικροαυτόματος 2P/C
-	-
-	-
NYG 3G10	63A
NYG 3G10	63A
NYG 3G10	63A
NYG 3G10	63A
NYG 3G4	32A
NYG 3G4	32A
NYG 3G4	32A

Επιπλέον, υπάρχουν **διπολικά(L,N) αντικεραυνικά τύπου T2 230/400VAC**(παράλληλα στην έξοδο κάθε μικροαυτόματου) ενώ στους inverter 3,5 και 7 έχουν τοποθετηθεί, παράλληλα στην έξοδο κάθε μικροαυτόματου, **ρευματοδότες** (με καλώδιο 3G2.5) ασφαλισμένοι με **μονοπολικούς(L) μικροαυτόματους 1P/C16A**.

Για το γενικό πίνακα, η δομή είναι περισσότερο πολύπλοκη. Στην είσοδο του πίνακα, υπάρχουν **6 διπολικοί διακόπτες 2P/63A** ανά inverter(για τους inverter 1-6) και **3 διπολικοί 2P/40A** για τους αναστροφείς 7,8 και 9. Οι διακόπτες επιτρέπουν στο χειριστή την διακοπή της τροφοδοσίας των αναστροφών στον πίνακα αυτό χωρίς να χρειαστεί να μετακινηθεί προς τους επιμέρους υποπίνακες. Επιπλέον οι διακόπτες είναι μέσο απόζευξης ενός κυκλώματος που αντέχει πολλούς χειρισμούς σε αντίθεση με τους μικροαυτόματους που διαθέτουν μικρό κύκλο λειτουργίας. Στους αναστροφείς 1,2 που βρίσκονται δίπλα στο γενικό πίνακα προβλέπεται να τοποθετηθούν πρώτα οι διακόπτες

τους και στη συνέχεια οι μικροαυτόματοι για την προστασία της γραμμής καθότι δεν υπάρχουν σ'αυτούς, AC υποπίνακες.

Μετά τους διακόπτες, τοποθετούνται **11 μικροαυτόματοι** για να ασφαλίσουν τις διάφορες γραμμές της εγκατάστασης όπως πρίζες μέσα στον πίνακα, συναγερμό, προβολείς, κάμερες, μετρητές δεδομένων και το UPS που τοποθετείται σε στεγασμένο χώρο μέσα στο οικόπεδο για την αδιάλειπτη τροφοδότηση των καμερών και των μετρητών- δεδομένων όταν δεν παράγει ενέργεια η εγκατάσταση. Στη γραμμή του UPS τοποθετείται ένας μεταγωγικός διακόπτης έτσι ώστε αν συμβεί κάποια βλάβη-διακοπή στο δίκτυο της ΔΕΗ που τροφοδοτεί το UPS να μην κοπεί η λειτουργία των καμερών και των μετρητών δεδομένων που είναι καίριας σημασίας για τον ιδιοκτήτη και πρέπει να λειτουργούν συνεχώς. Όπως είναι προφανές, για τα μονοφασικά αυτά φορτία έχουμε συμμετρική διανομή των τριών φάσεων ώστε να μην υπερφορτίζεται κάποια απ'αυτές.

Τέλος, στην έξοδο του πίνακα προς το δίκτυο, γίνεται η τοποθέτηση **3 ενδεικτικών λυχνιών**(μία για κάθε φάση) ασφαλισμένες με **τρεις ασφάλειες τήξης 1A** η κάθε μία, **ενός πολυόργανου μετρήσεων**(για τη μέτρηση ρεύματος, τάσης, συνημίτονου, συχνότητας, αρμονικών τάσης και ρεύματος και ροή ενεργού, αέργου και φαινόμενης ισχύς), **ενός τετραπολικού ασφαλειοδιακόπτη ισχύος 4P/145A/25kA** και **ενός τετραπολικού ασφαλειοδιακόπτη ισχύος 4P/140A/25kA** για τον απαγωγή **υπερτάσεων κλάσης T1** που συνδέεται παράλληλα στους διακόπτες ισχύος και γειώνεται στην μπάρα γείωσης του πίνακα.

## 2.9 Σύστημα γείωσης στην Φ/Β εγκατάσταση και Αντικεραυνική προστασία

Το υλικό αλλά και το σύστημα γείωσης γενικά που επιλέγεται σε μια Φ/Β εγκατάσταση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τον τρόπο τοποθέτησης των βάσεων:

A. Αν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της πασσαλοέμπτυξης (χαλύβδινοι πάσσαλοι απευθείας τοποθετημένοι μέσα στο έδαφος) το σύστημα γείωσης κατασκευάζεται από **χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη(St/tZn) ταινία γείωσης** διαστάσεων **30x3,5mm** και με πάχος επιψευδαργύρωσης ( $500\text{gr/m}^2$ ), εργαστηριακά δοκιμασμένη σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2 κατάλληλη για χρήση εντός εδάφους. Οι σφικτήρες είναι χαλύβδινοι θερμά επιψευδαργυρωμένοι (St/tZn) εργαστηριακά δοκιμασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1 (τύπου "H", 100KA, 10/350msec)

B. Αν χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της μπετοέμπτυξης (χαλύβδινοι πάσσαλοι τοποθετημένοι μέσα σε μπετόν) το σύστημα γείωσης θα κατασκευαστεί από **χάλκινη (Cu) ταινία γείωσης** ελάχιστων διαστάσεων **30x2mm** ή **χαλύβδινος ηλεκτρολυτικά επιχαλωμένος αγωγός Φ8mm** με πάχος ηλεκτρολυτικής επιχάλκωσης 250μm, εργαστηριακά δοκιμασμένα σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2. Οι σφικτήρες θα είναι χάλκινοι (Cu), εργαστηριακά δοκιμασμένοι σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1 (τύπου "H", 100KA , 10/350msec).

Γ. Αν η στήριξη γίνει σε βάσεις οπλισμένου σκυροδέματος επί του εδάφους (όχι εντός του εδάφους) για την κατασκευή του συστήματος γείωσης (περιμετρική ταινία)

μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε υλικό από τα παραπάνω, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2.

Το βάθος εγκατάστασης της ταινίας δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0,5m ενώ η ταινία θα πρέπει να τοποθετηθεί με την μεγάλη της πλευρά κατακόρυφα με την βοήθεια κατάλληλων ορθοστατών. Η ταινία γείωσης μπορεί να τοποθετηθεί και στα χαντάκια που θα τοποθετηθούν τα καλώδια με την προϋπόθεση να είναι 20 cm πιο κάτω από αυτά. Με βάση τη χωροταξική διάταξη του Φ/Β πάρκου, θα τοποθετηθεί ταινία περιμετρικά του Φ/Β πάρκου και θα συνδεθούν σε αυτή όλες οι σειρές τουλάχιστον σε 2 σημεία. Για επίτευξη καλύτερου αποτελέσματος προτείνεται (δεν είναι δεσμευτικό) η εγκάρσια τοποθέτηση ταινίας έτσι ώστε να δημιουργούνται βρόχοι διαστάσεων 20m x 20m σε όλο το πάρκο. Στα σημεία όπου υπάρχουν αρμοί διαστολής και οι σειρές διακόπτονται θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία ισοδυναμική σύνδεση με την βοήθεια κατάλληλου γωνιακού ακροδέκτη κατασκευασμένο από αλουμίνιο (εργαστηριακά δοκιμασμένου σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-1) και χάλκινου επικασσιτερωμένου εύκαμπτου αγωγού γεφύρωσης. Στην περίπτωση που οι St/tZn αγωγοί εισέρχονται στο έδαφος τότε σε εκείνα τα σημεία οι αγωγοί πρέπει να καλυφθούν με ειδική αντιδιαβρωτική ταινία (20εκ εντός του εδάφους και 20εκ εκτός του εδάφους).

Από τον εξωτερικό περιμετρικό δακτύλιο, θα πρέπει να προβλεφθούν οι αναμονές για την σύνδεση της περίφραξης και όλων των περιμετρικών μεταλλικών στοιχείων (π.χ. ιστοί φωτισμού, ιστοί για κάμερες κτλ). Η περίφραξη θα πρέπει να συνδέεται ανά 20m στην περιμετρική γείωση. Οι αναμονές για την σύνδεση των Φ/Β βάσεων αλλά και όλων των μεταλλικών εγκαταστάσεων/εξαρτημάτων όπως ιστοί φωτισμού, μεταλλικοί οικίσκοι, κάμερες, περίφραξη κατασκευάζονται με αγωγό ιδίου υλικού με αυτό της γείωσης διατομής Φ10mm (για χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο) ή 50mm<sup>2</sup> (για χαλκό) εργαστηριακά δοκιμασμένους σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 50164-2.

Όλα τα παραπάνω περί γείωσης ενός Φ/Β πάρκου προέρχονται από κανονισμούς και μετά από αναρίθμητες εργαστηριακές δοκιμές. Αυτό έχει ως συνέπεια να θεωρούνται υποχρεωτικά κάποια δεδομένα ενώ άλλα, προαιρετικά σε περιπτώσεις μη ικανοποιητικού αποτελέσματος.

Στη δεδομένη εγκατάσταση των 80KWp, επιλέχθηκε και κατασκευάστηκε το σύστημα της περιμετρικής γείωσης όπως περιγράφηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκε χαλύβδινη επιψευδαργυρωμένη ταινία εντός εδάφους(λιγότερο από 0.5m) σε ορθοστάτες περιμετρικά της συνολικής εγκατάστασης με κάθε σειρά συστοιχιών να συνδέεται με την ταινία σε 2 σημεία. Από κάθε αναμονή που προκύπτει από κάθε σειρά επίκειται και σύνδεση με τον αγωγό καθόδου της αντικεραυνικής προστασίας, δηλ. το σύστημα γείωσης του αλεξικέραυνου και το σύστημα γείωσης του ΦΒ πάρκου (περιμετρική γείωση) θα πρέπει να είναι συνδεδεμένα.

. Επίσης σε κάθε εξωτερική αναμονή υπάρχει σύνδεση όλων των μεταλλικών εξαρτημάτων και υλικών που βρίσκονται περιμετρικά των συστοιχιών(π.χ. ιστοί φωτισμού, ιστοί για κάμερες κτλ.). Η περίφραξη του οικοπέδου συνδέεται ανά 20m στην περιμετρική γείωση. Οι αναμονές για την σύνδεση των Φ/Β βάσεων αλλά και όλων των μεταλλικών εγκαταστάσεων/εξαρτημάτων όπως ιστοί φωτισμού, μεταλλικοί οικίσκοι, κάμερες, περίφραξη κατασκευάστηκαν με αγωγό ιδίου υλικού με αυτό της γείωσης διατομής Φ10mm (για χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο). Τέλος σε κάποια αναμονή της περιμετρικής γείωσης, συνδέονται τόσο ο αγωγός προστασίας των DC πινάκων όσο και των AC πινάκων όπου από εκεί με ένα αγωγό γείωσης(γυμνός χαλκός 50mm<sup>2</sup>) οδηγείται η συνολική γείωση στο μετρητή για τη γείωση του ουδέτερου(TN-S δίκτυο).

Για εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα:

#### **A. Συλλεκτήριο Σύστημα**

Για την προστασία από άμεσο κεραυνικό πλήγμα των φωτοβολταϊκών στοιχείων τοποθετούνται ακίδες Φ16x850mm αλουμινίου ή γαλβανισμένου χάλυβα, κατάλληλα διαμορφωμένες για τη στήριξη - αγώγιμη σύνδεση στα μεταλλικά πλαίσια των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η αγώγιμη σύνδεση εξασφαλίζεται με κατάλληλους σφιγκτήρες εργαστηριακά δοκιμασμένους κατά ΕΛΟΤ EN 50164-1. Για στάθμη III τοποθετούνται ακίδες σε κάθε σειρά ανά 15m μήκους.

#### **B. Αγωγοί καθόδου**

Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305 – 3 (§ 5.3.5 & 5.5.2), μεταλλικά στοιχεία (πχ σωλήνες), μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικοί αγωγοί καθόδου, εφόσον πληρούν τις κάτωθι προϋποθέσεις:

Η ηλεκτρική συνέχεια μεταξύ των διαφόρων τμημάτων τους είναι αξιόπιστη και επιτυγχάνεται με την χρήση μόνο ενός μεταλλικού τμήματος της βάσης.

Οι διαστάσεις τους είναι τουλάχιστον ίσες με αυτές που καθορίζονται για τους τυποποιημένους συλλεκτήριους αγωγούς και τους αγωγούς καθόδου (η διατομή του σκελετού των βάσεων είναι μεγαλύτερη των 50mm<sup>2</sup>). Τα σημεία σύνδεσης των φυσικών μεταλλικών μερών ικανοποιούν τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 50164-1.

Ιδιαίτερη μέριμνα ωστόσο έχει δοθεί στα σημεία που υπάρχουν ασυνέχειες (ενώσεις, βίδες). Όπου υπάρχουν τέτοια σημεία κατασκευάζονται γεφυρώσεις με κατάλληλα εξαρτήματα εργαστηριακά δοκιμασμένα σύμφωνα με το πρότυπα ΕΛΟΤ EN 50164-1, ώστε να εξασφαλίζεται η ηλεκτρική συνέχεια.

Εναλλακτικά αντί για το συλλεκτήριο σύστημα και τους αγωγούς καθόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακίδες αλουμινίου ή γαλβανισμένου χάλυβα Φ16 ύψους τουλάχιστον 70εκ πάνω από το ύψος των panel, σε απόσταση 50 εκ. πίσω από τα panels στηριγμένες στο έδαφος και οι οποίες θα αποτελούν οι ίδιες αγωγούς καθόδου. Η στήριξή τους στο έδαφος θα γίνει πάνω σετσιμεντένια βάση ενώ μπορούν να στηρίζονται στις βάσεις των panel με την βοήθεια μονωτικής τραβέρσας. Τέλος αντί για το συλλεκτήριο σύστημα και το σύστημα αγωγών καθόδου που περιγράφεται παραπάνω, μπορεί να εγκατασταθεί Αλεξικέραυνο εκπομπής πρώιμου οχετού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης ενός Φ/Β πάρκου ίδιας ακριβώς ισχύος(80KWp) και γεωγραφικού πλάτους με την εγκατάσταση που μελετήθηκε στα παραπάνω κεφάλαια. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει ή να προτείνει μία εναλλακτική πρόταση ηλεκτρολογικής και μη εγκατάστασης η οποία αποδίδει στο μέγιστο δυνατό βαθμό. Οι διαφορές είναι εμφανείς και επιπλέον δείχνουν κάποιες ελλείψεις ή δυνατότητες στις οποίες υπερτερεί η μία έναντι της άλλης. Τέλος, στη συγκεκριμένη εγκατάσταση υπήρξε και προσωπική εμπειρία μέσω εργασιών που εκπονήθηκαν κατά την κατασκευή του.

### 3.2 Εναλλακτικός τρόπος εγκατάστασης Φ/Β πάρκου ίδιας ισχύος

Όπως συμβαίνει σε κάθε ηλεκτρολογική ή μη κατασκευή, υπάρχουν πολλοί εναλλακτικοί τρόποι πραγματοποίησής της ανάλογα το πλάνο του κατασκευαστή, το κόστος και την τοποθεσία με απαραίτητο κριτήριο, ωστόσο, να συμμορφώνονται στους ευρωπαϊκούς κανονισμούς-πρότυπα και στους νόμους.

Ο εναλλακτικός τρόπος εγκατάστασης μπορεί να ξεκινήσει απ'τον τρόπο τοποθέτησης των συστοιχιών και της χωροθέτησης των πινάκων ή μηχανημάτων. Στην εγκατάσταση αυτή επιλέχθηκε τόσο οι DC και AC πίνακες όσο και οι inverters να τοποθετηθούν συνολικά σε μία σειρά συστοιχιών. Αυτό αποτρέπει την τοποθέτηση AC υποπινάκων ενώ μειώνει στο ελάχιστο τις AC απώλειες-κόστος καλωδίου J1VV δεδομένου ότι θα τοποθετηθούν κοντά στο μετρητή της ΔΕΗ. Ταυτόχρονα υστερεί στις DC απώλειες-κόστος καλωδίου PV1-F καθότι όλες οι DC καλωδιώσεις πρέπει να καταλήγουν σε εκείνη τη σειρά. Οι inverters που τοποθετήθηκαν είναι τριφασικοί των 10KW ενώ το σύστημα γείωσης και προστασίας των καλωδίων στους πίνακες εμφανίζει αρκετές διαφορές με το σύστημα στην προηγούμενη εγκατάσταση. Όλα τα παραπάνω θα γίνουν πιο εμφανή με την ανάλυση που θα γίνει στα επόμενα υποκεφάλαια.

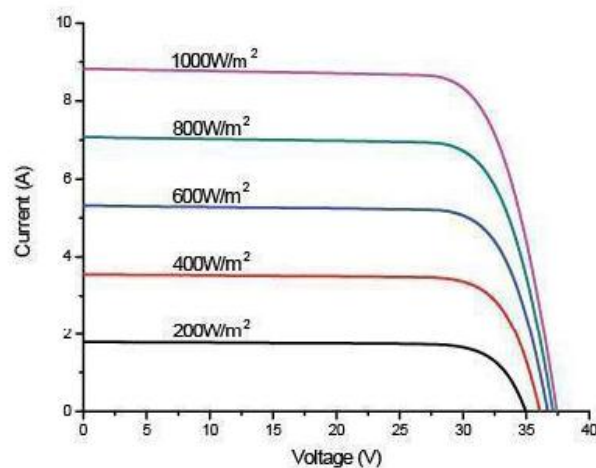
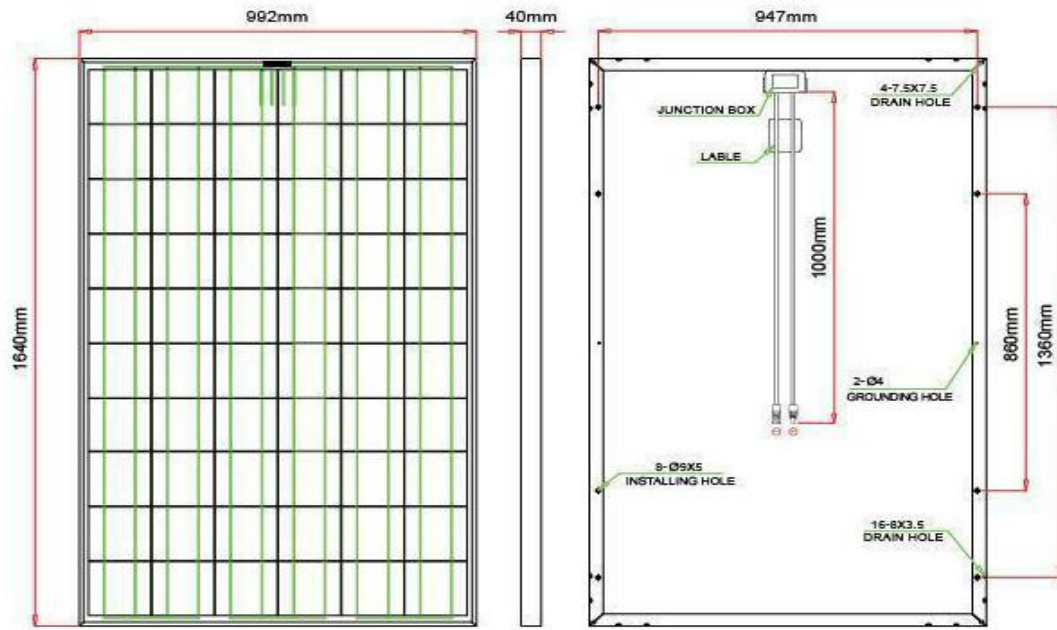
### 3.3 Γενική περιγραφή τοπολογίας του εναλλακτικού φ/β πάρκου

Όπως γίνεται αντιληπτό από το σχέδιο(σχ.3.2), η εγκατάσταση αυτή αποτελείται από 340 φωτοβολταϊκά πλαίσια(JC 235Wp,σχ.3.1) τοποθετημένα σε διάταξη portrait(σχ.1.10), χωροθετημένα σε τέσσερις σειρές συστοιχιών-τραπεζιών. Εφόσον πρόκειται για πάρκο ισχύος 80KWp, είναι λογικό να τοποθετηθούν 8 inverters(10KW ο καθένας). Κάθε τέτοιος αναστροφέας(εκτός τον inverter 8) έχει υπολογιστεί να τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από 3 στοιχειοσειρές των 15 πανέλων η κάθε μία, σε μια διάταξη τέτοια ώστε η μία να βρίσκεται κάτω από την επόμενη της. Στο σχέδιο επίσης φαίνονται οι πολικότητες των πλαισίων στις στοιχειοσειρές καθώς και μία αρίθμηση που αναφέρεται κάθε φορά στον inverter που συνδέεται η αντίστοιχη στοιχειοσειρά με τον



αριθμό των πλαισίων που περιέχει (π.χ. το 5A/15 αναφέρεται στην πρώτη(A) στοιχειοσειρά που συνδέεται στον αναστροφέα 5, και περιέχει 15 Φ/Β πλαίσια, αντίστοιχα η δεύτερη στοιχειοσειρά στον inverter 7 θα είναι 7B/15 κ.ο.κ.).

Ο αναστροφέας Νο 8 εμφανίζει μία μικρή αλλαγή σε σχέση με τους άλλους. Ενώ οι αναστροφείς 1-7 αντιστοιχούν σε 3 στοιχειοσειρές των 15 πανέλων η κάθε μία, ο αναστροφέας 8 περιέχει 2 στοιχειοσειρές των 12 πλαισίων η κάθε μία έτσι ώστε να καλυφθεί ο απαιτούμενος αριθμός των 340 πλαισίων για τη δεδομένη ισχύ των 80KWp.

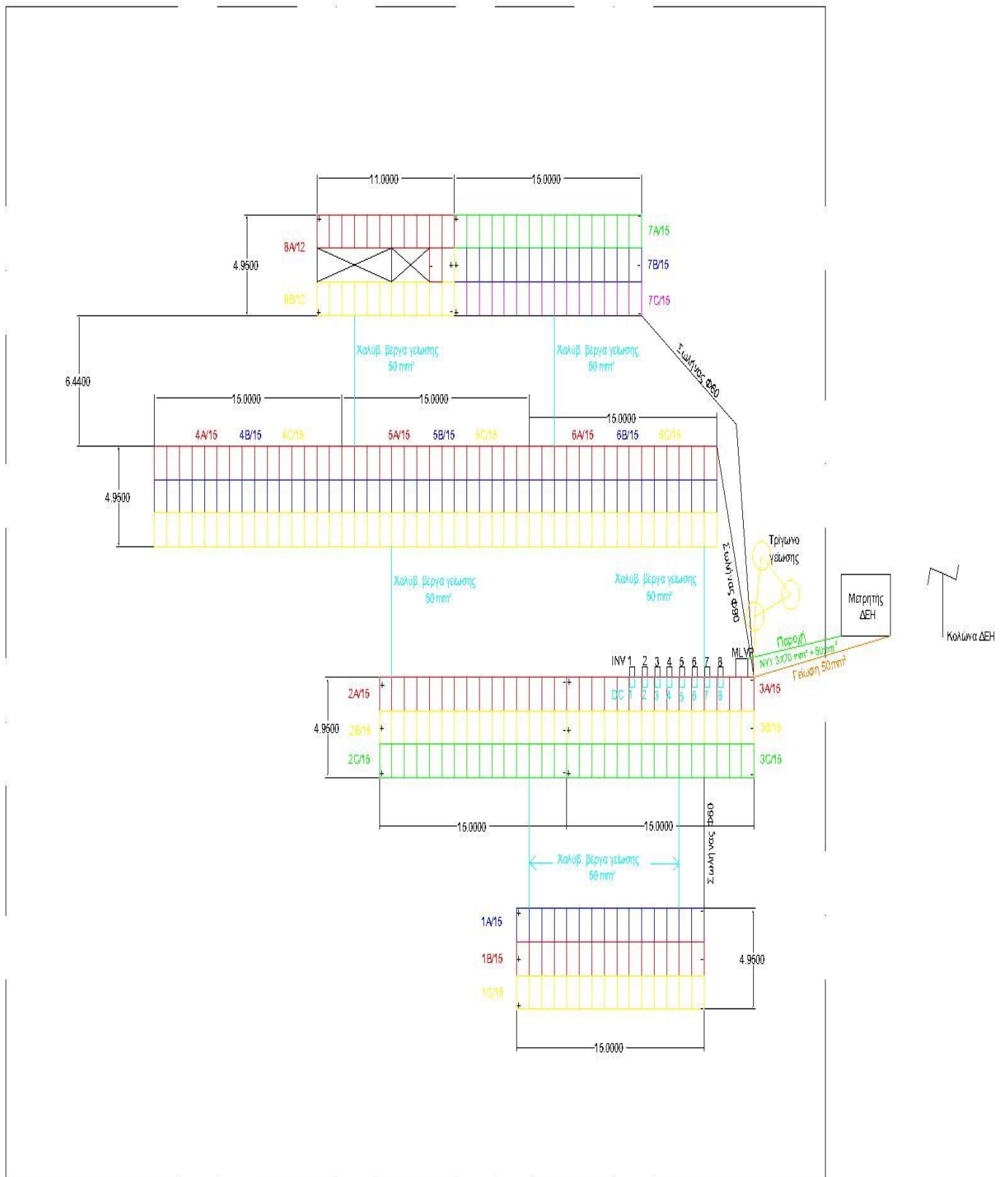


**STC conditions****NOCT conditions**

Maximum Power ( Pmax )	235 W	Maximum Power ( Pmax )	174 W
Power Tolerance	0~+5W	Maximum Power Current ( Imp )	6.42 A
Module Efficiency	14.4%	Maximum Power Voltage ( Vmp )	27.1 V
Maximum Power Current ( Imp )	8.03 A	Short Circuit Current ( Isc )	6.92 A
Maximum Power Voltage ( Vmp )	29.3 V	Open Circuit Voltage ( Voc )	34.4 V
Short Circuit Current ( Isc )	8.58 A		
Open Circuit Voltage ( Voc )	37.0 V		

Temperature Coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Nominal Operating Cell Temperature ( NOCT )	45°C±2°C
Cell Type	156 x 156 mm Polycrystalline, 60 ( 6 x 10 ) pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP65 rated, with bypass diodes
Dimension	*1640 x 992 x 40 mm
Cable Length	1000 mm
Weight	19 Kg

**Σχ.3.1** Χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίων JC Solar 235Wp



Σχ.3.2 Τοπογραφικό σχέδιο Φ/Β πάρκου 80KWp στα Λευκόγεια Ρεθύμνης

### 3.4 DC καλωδίωση

Για την ηλεκτρική σύνδεση από τα Φ/Β πλαίσια μέχρι τους αναστροφείς χρησιμοποιούνται ίδια καλώδια(PV1-F της Tecsun) με την προηγούμενη εγκατάσταση διατομής 4mm<sup>2</sup> (σχ.2.3). Τα χαρακτηριστικά των καλωδίων αυτών έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2 εκτενώς οπότε δε θα γίνει περαιτέρω αναφορά σ'αυτά.

Όσον αφορά τον τρόπο τοποθέτησής τους, τα καλώδια διατρέχουν διαδρομή τόσο πάνω στα ικριώματα των βάσεων και υπόγεια μέσω σωληνώσεων όσο και μέσα σε σχάρα που τοποθετείται(σε ύψος 60cm) πάνω στη βάση της συστοιχίας του αναστροφέα 3. Συγκεκριμένα, από σωλήνα στην 1<sup>η</sup> συστοιχία(1.A,B,C/15), από διαφορετικό σωλήνα στην 4<sup>η</sup>, 5<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> συστοιχία και από σωλήνα στην 7<sup>η</sup>, 8<sup>η</sup> συστοιχία καταλήγουν στην άκρη της 3<sup>ης</sup> συστοιχίας. Από εκεί συνεχίζουν την πορεία τους στη σχάρα όπου πάνω από αυτήν βρίσκονται οι 8 απαιτούμενοι DC πίνακες όπου και θα καταλήξουν. Έτσι στο σωλήνα Νο 1 βρίσκονται 6 συνολικά καλώδια(2 ανά στοιχειοσειρά), στο σωλήνα Νο 2, 18 καλώδια, ενώ στο σωλήνα Νο 3 ,10 καλώδια. Οι DC πίνακες βρίσκονται στην οπίσθια πλευρά από τους αναστροφείς έτσι ώστε να τους τροφοδοτούν με το μικρότερο δυνατό μήκος καλωδίου.

Οι απαιτούμενες αποστάσεις των καλωδίων PV1-F για το DC κομμάτι της εγκατάστασης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα(2.11):

Επιμέτρηση καλωδίων				
Συστοιχία	Στοιχειοσειρά	Μήκος	+	-
1	1A/15	57	36	21
	1B/15	61	38	23
	1C/15	64	39	25
2	2A/15	61	33	28
	2B/15	65	35	30
	2C/15	68	37	31
3	3A/15	31	18	13
	3B/15	35	20	15
	3C/15	38	22	16
4	4A/15	111	63	48
	4B/15	108	62	46
	4C/15	105	60	45
5	5A/15	81	48	33
	5B/15	78	47	31
	5C/15	75	45	30
6	6A/15	51	33	18
	6B/15	48	31	17
	6C/15	44	30	14
7	7A/15	86	51	35
	7B/15	83	49	34
	7C/15	79	47	32
8	8A/12	107	56	51
	8B/12	118	62	56
Σύνολο		1654m	962m(+)	692m(-)

Πίνακας 3.1: Επιμέτρηση DC καλωδίων

### 3.5 Πτώση τάσης και προστασία στην DC πλευρά της εγκατάστασης

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2, η επιλογή της διατομής (4mm<sup>2</sup>) του καλωδίου PV-1F που χρησιμοποιείται στη DC πλευρά της εγκατάστασης γίνεται με βάση το ρεύμα που το διαπερνά, τα όρια της πτώσης τάσης που επιτρέπονται και κατ'επέκταση τα όρια της επιτρεπτής απώλειας ισχύος σε κάθε στοιχειοσειρά. Όπως είναι γνωστό, το όριο της πτώσης τάσης και των απωλειών ισχύος σε μία οποιαδήποτε Φ/Β εγκατάσταση θα πρέπει να είναι **1%** της συνολικής τάσης και ισχύος κάθε στοιχειοσειράς σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Καταρχήν, είναι γνωστό από τον κατασκευαστή των πλαισίων ότι το μέγιστο ρεύμα προκύπτει ως το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος του πλαισίου στις πρότυπες συνθήκες δηλ. στην περίπτωση μας (για τα Φ/Β πλαίσια JC solar 235Wp) έπεται, **I<sub>mp</sub>=8.03A**. Αυτή είναι η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αναμενόμενης πτώσης τάσης και ισχύος. Επιπλέον από τον κατασκευαστή του καλωδίου PV-1F δίνεται ότι η αντίσταση του καλωδίου ανά μονάδα μήκους είναι **4.97Ω/km** για το 4mm<sup>2</sup> στους 20° C. Επειδή όμως η πραγματική θερμοκρασία μπορεί να φθάσει τους 70° C στον αγωγό τους καλοκαιρινούς μήνες, προκύπτει μία διόρθωση της αντίστασης σύμφωνα με τη σχέση (1) του προηγούμενου κεφαλαίου με την αντίσταση για το 4mm<sup>2</sup> καλώδιο να τροποποιείται σε **5.95Ω/km**.

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης πτώσης τάσης στο συγκεκριμένο καλώδιο θα χρησιμοποιηθεί ο γνωστός τύπος:

$$V_{\text{πτ.τάσης}} = I_{\text{mp}} \cdot R_{70^{\circ} \text{C}}(\Omega/\text{km}) \cdot L(\text{km})$$

όπου  $V_{\text{πτ.τάσης}}$  η πτώση τάσης,  $I_{\text{mp}}$  το ρεύμα μίας στοιχειοσειράς,  $R_{70^{\circ} \text{C}}(\Omega/\text{km})$  η αντίσταση του αγωγού στους 70° C ανά km και  $L$  το μήκος του καλωδίου στην αντίστοιχη στοιχειοσειρά που μελετάται. Για να εξαχθεί το συμπέρασμα αν γίνεται υπέρβαση του ορίου του 1%, αρκεί να μελετηθεί η στοιχειοσειρά στην οποία εμφανίζεται το μεγαλύτερο μήκος καλωδίου  $L$  αφού στις υπόλοιπες, όπως είναι προφανές από τον παραπάνω τύπο, θα δημιουργείται, σίγουρα, μικρότερη πτώση τάσης.

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτουν ως μέγιστο μήκος καλωδίου για τη διατομή 4mm<sup>2</sup> τα 62m+56m=**118m**(στοιχειοσειρά 8B/12) ενώ η μέγιστη τάση για τη συγκεκριμένη στοιχειοσειρά είναι 29.3V/πλαίσιοx12πλαίσια=351V. Μετά από υπολογισμούς με βάση τον παραπάνω τύπο, εξάγονται τα τελικά αποτελέσματα για την πτώση τάσης στον παρακάτω πίνακα:

Διατομή	Πτώση Τάσης(V)	Πτώση τάσης(%)
4mm <sup>2</sup>	5.6	1.45

Πίνακας 3.2: Υπολογισμός πτώσης τάσης για το καλώδιο PV1-F 4 mm<sup>2</sup>

Λόγω του ότι  $V_{\text{πτ.τάσης}}=1.45\%>1\%$  σε μεγάλη απόσταση που φθάνει τα 118m, μπορεί να γίνει αποδεκτό ότι το όριο είναι πλέον το **2%** και όχι το 1%. Αυτή η παραδοχή μπορεί να γίνει σε περιπτώσεις όπου οι αποστάσεις είναι μεγάλες μέχρι τους DC πίνακες αλλά και η επιλογή μεγαλύτερης διατομής δεν είναι συμφέρουσα καθότι το όριο του 1% καταρρίπτεται πολύ σπάνια στη διάρκεια του έτους.

Αντίστοιχα, για τις απώλειες ισχύος σε μια στοιχειοσειρά(με μέγιστη ισχύ 235W · 15=3525W) χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$P_{\text{απώλ.}} = I_{\text{mpp}}^2 \cdot R_{70}^{\circ} \text{c}(\Omega/\text{km}) \cdot L(\text{km})$$

και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Διατομή	Απώλειες(W)	Απώλειες(%)
4mm <sup>2</sup>	45.27	1.28<2%

Πίνακας 3.3: Υπολογισμός απωλειών ισχύος για το καλώδιο PV1-F 4 mm<sup>2</sup>

Όσον αφορά το σταθμισμένο συντελεστή απόδοσης που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2 για τις απώλειες ενέργειας, προκύπτει από τον τύπο (5) το ακόλουθο αποτέλεσμα:

$$E = \sum_1^6 [(I_{\text{mpp}} \cdot n_i)^2 \cdot R_{70\text{oC}}(\Omega/\text{km}) \cdot L(\text{km}) \cdot t_i \cdot 435 \text{ h}] (\text{Wh}) = 700\text{KWh}/\text{έτος} = 0.58\% \text{ της}$$

συνολικής ενέργειας που παράγεται από Φ/Β πάρκα ίδιας ισχύος και γεωγρ.πλάτους.

Για την προστασία της εγκατάστασης στην DC πλευρά έχουν τοποθετηθεί ασφάλειες-φυσίγγια των **12A**(σε ασφαλειοθήκες) για κάθε στοιχειοσειρά σε κάθε DC πίνακα πριν τους απαγωγούς υπερτάσεων. Αυτό είναι μία επιλογή που έγινε από τον μελετητή του συγκεκριμένου πάρκου καθότι θεώρησε απαραίτητη την παρουσία των ασφαλειών τόσο σαν τρόπος απόζευξης κάθε στοιχειοσειράς ξεχωριστά όσο και για προστασία των απαγωγών σε μεγάλα κρουστικά ρεύματα. Όπως εύκολα μπορεί κάποιος να παρατηρήσει, η χρήση των ασφαλειών για προστασία του καλωδίου δεν υφίσταται σε τέτοια εγκατάσταση δεδομένου ότι το καλώδιο μπορεί να φορτιστεί πολύ περισσότερο από  $(3-1) \times 8.03\text{A} = 16.06\text{A}$ . Επίσης, οι ασφάλειες στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν τοποθετούνται ούτε για την προστασία των αναστροφών καθώς οι αναστροφείς σε περίπτωση ανάστροφων ρευμάτων ή βραχυκυκλώματος τίθενται αυτόματα εκτός λειτουργίας καθώς  $V < V_{\text{min}}^{\text{in}}$ .

Απ'τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι κάθε εγκατάσταση χρησιμοποιεί διαφορετικές μεθόδους προστασίας που υπόκεινται στην κρίση του μηχανικού-μελετητή αρκεί να υπακούουν οι μέθοδοι στους κανονισμούς και να είναι λειτουργικοί.

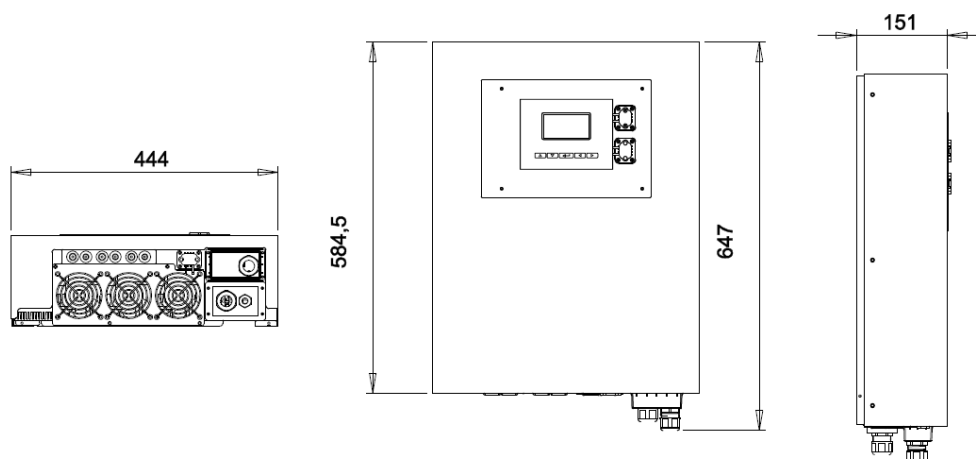
### 3.6 Αναστροφέας: Ασφάλεια Δικτύου και απόδοση Αναστροφέα

Σε αντίθεση με την εγκατάσταση που μελετήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι αναστροφείς που χρησιμοποιούνται στην παρούσα είναι οι **Sirio 10000p** της ιταλικής εταιρίας AROS. Η βασική διαφορά τους με τους SMA αναστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο πάρκο, είναι ότι ο αναστροφέας Sirio 10000p είναι ένας τριφασικός αναστροφέας(ονομαστικής ισχύος 10KW) σε αντίθεση με τους SMA 4000 και 11000 που είναι μονοφασικοί καθώς και το γεγονός ότι έχει 3 εισόδους στη DC πλευρά του(δέχεται μέχρι 3 συστοιχίες Φ/Β πλαισίων) και όχι 5 όπως οι SMA.

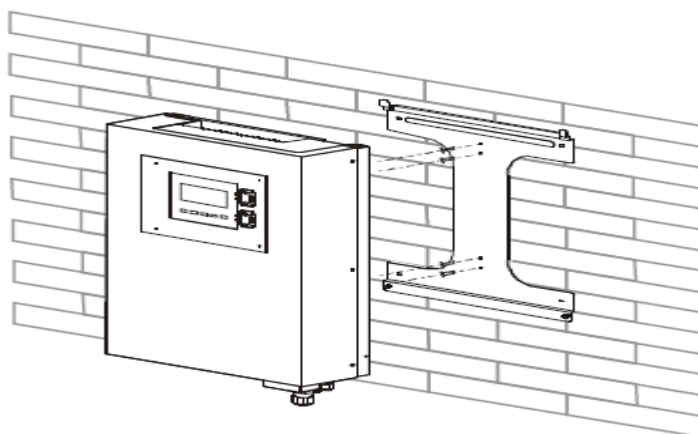
Τόσο ο τρόπος τοποθέτησής του, οι διαστάσεις του όσο και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



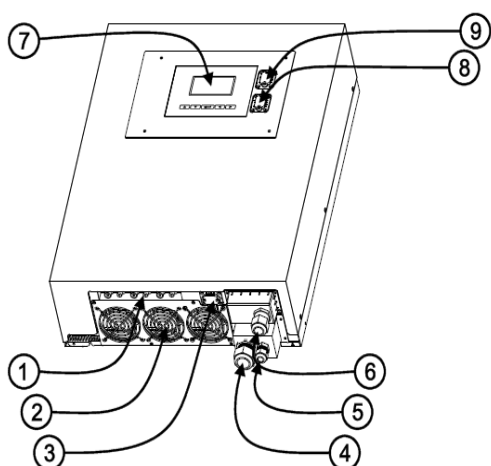
Σχ.3.3 Πρόσοψη και οπίσθια όψη του αναστροφέα Sirio 10000p 10KW



Σχ.3.4 Διαστάσεις(mm) του αναστροφέα Sirio 10000p 10KW



**Σχ.3.5** Τρόπος τοποθέτησης με μεταλλικό πλαίσιο του αναστροφέα Sirio 10000p 10KW



- 1: ακροδέκτες για τις DC εισόδους
- 2: εξαερισμός του αναστροφέα με FAN
- 3: είσοδος θύρας RS-232
- 4: ακροδέκτες για την έξοδο AC(3P+N)
- 5: ακροδέκτης αγωγού προστασίας
- 6: κουτί επικοινωνίας
- 7: οθόνη LCD
- 8: θύρα USB
- 9: θύρα RS-485

**Σχ..3.6** Τα διάφορα τμήματα του Sirio 10000p



<b>Models</b>	<b>SIRIO 10000P</b>
Approximate power of the photovoltaic field	max 12500 Wp ; min 7000 Wp (max 5500 Wp - min 2300 Wp each MPPT)
Rated power alternating current	10000W
Maximum power alternating current	11000W
<b>INPUT</b>	
Maximum direct voltage in an open circuit	800Vcc
MPPT Operating range	200÷800Vcc
MPPT Full Rating Range	270÷720Vcc
Working range	200÷800Vcc
Maximum input current	13Acc each MPPT
Voltage during system startup	260Vcc
Initial feeding voltage	350Vcc
Shutdown voltage	200Vcc
Ripple voltage	<10%
Input number	3
MPPT number	3
D.C. connectors	MC4 type or compatible
<b>OUTPUT</b>	
Operating voltage	400Vca
Operating interval	320÷480Vca
Maximum power interval	330÷480Vca
Frequency interval	49,7÷50,3Hz
Settable frequency interval	49÷51Hz
Nominal current	14,5Aca each phase
Maximum current	17,5Aca each phase
Fault level contribution	17,5Aca each phase
DC current injection (max.)	<100mA
Current Harmonic Distorsion (THDi)	<3%
Power factor	>0,99
Galvanic separation	No
A.C. connectors	Screw terminals
<b>SYSTEM</b>	
Maximum efficiency	>96,2%
European efficiency	>94,6%
Stand-by consumption	<30W
Night consumption	<5W
Internal protection	Protection DC/AC side (RCD type B in accordance with IEC 60755), overvoltage protection (OVR type 3)
Insulation operating protection	Yes
Detecting earth leakage	Yes

Heat dissipation	forced air
Operating temperature	-20° C÷55° C
Storage temperature	-20° C÷70° C
Humidity	0÷95% non-condensing
<b>CHARACTERISTICS</b>	
Acoustic noise	<45dBA
Protection level	IP65
Colour	RAL 1033
Weight	37Kg
Dimensions	444x151x584mm
<b>COMMUNICATION</b>	
Communication interface	USB port only for data download and RS232, RS485, ModBUS and Ethernet optional
Display	Graphic display, 3 colors
<b>CERTIFICATES AND APPROVALS</b>	
EMC	Directive 89/336/EEC EN 6100-6-4 (EN 55014, EN 55011 group 1, class B), EN 6100-6-1 (EMV interferences immunity), EN 61000-3-2
Directives	Directive 73/23/EEC EN 50178 (4.98) (VDE 0160) (which shall become IEC62103) EN 60146 part 1-1 (3.94)
Grid monitoring	Independent disconnection device ( MSD, Main Switching Device) in conformity with VDEW; VDE 01260-1-1 ENEL DK5940 Ed. 2.2 and subsequent "Guide for connections to the ENEL Distribuzione power grid", Real Decreto 1663-2000

**Σχ.3.7** Τεχνικά χαρακτηριστικά του αναστροφέα Sirio 10000p

Το σημαντικό κομμάτι για την εγκατάσταση και για την επιλογή του αναστροφέα είναι τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά του όσο και η γραφική παράσταση της απόδοσης του στις διάφορες τιμές ισχύος που μπορεί να λειτουργεί κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

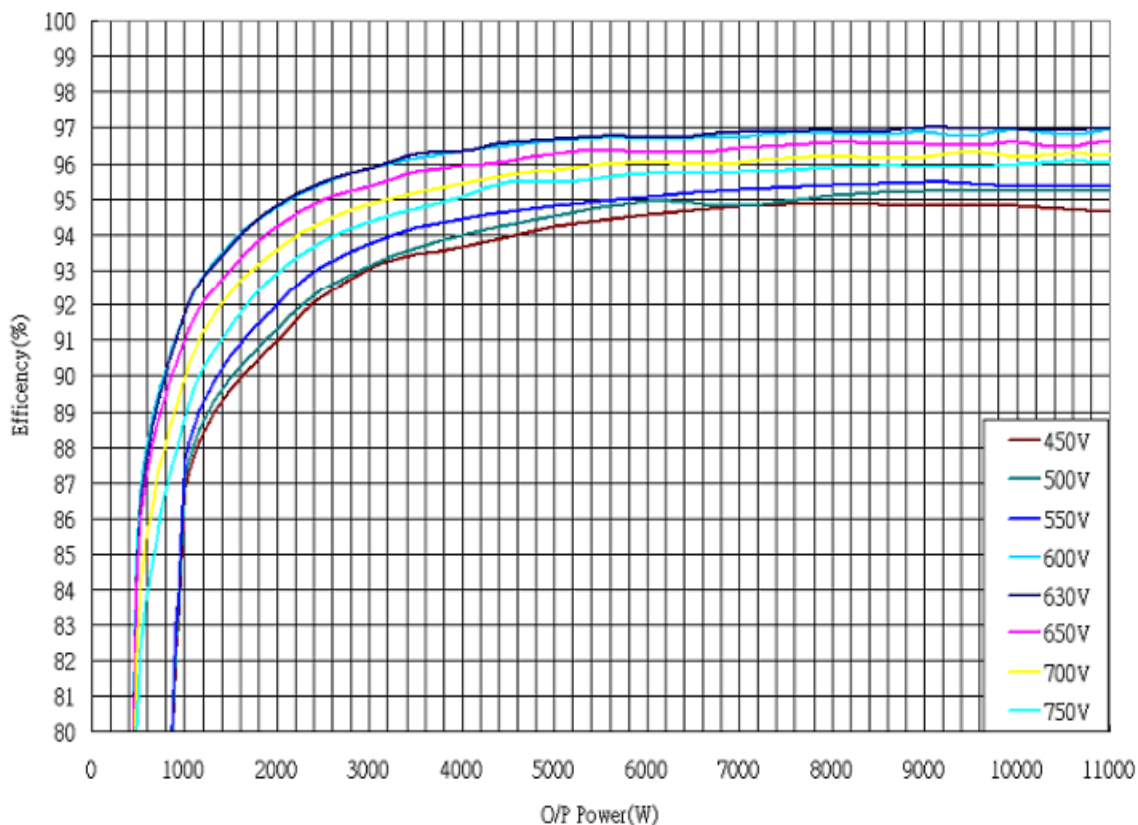
Απ'τα τεχνικά χαρακτηριστικά, ουσιώδη αποτελούν η περιοχή τάσεων όπου ο αναστροφέας μπορεί να λειτουργήσει σωστά με την εφαρμογή MPPT(270-720VDC), η μέγιστη και ελάχιστη τάση όπου θέτουν τον αναστροφέα εκτός λειτουργίας και το ρεύμα που μπορεί να δεχτεί απ'όλες τις συστοιχίες. Τέλος, απ'την AC πλευρά σημαντικό αποτελεί το εύρος τάσεων που μπορεί ο αναστροφέας να αποδώσει στο μέγιστο χωρίς να χρειαστεί να εμφανιστεί το φαινόμενο της νησιδοποίησης.

Κατασκευάζοντας το Φ/Β πάρκο ως έχει στο τοπογραφικό σχέδιο, η τάση λειτουργίας σε STC συνθήκες φτάνει τα 29.3Vx15 πλαίσια=**440V** ∈ (270V – 720V), η μέγιστη τάση που μπορεί να εισέλθει σε ένα αναστροφέα στους -5° C είναι (37V+(0.3%/°Cx30°C)x37/100)x15 πλαίσια=**605V** ∈ (270V – 720V) και η ελάχιστη στους 45° C προκύπτει ίση με (29.3V-(0.3%/°Cx20°C)x29.3/100)x15 πλαίσια=**412.5V** ∈ (270V – 720V).

Όσον αφορά το ρεύμα που μπορεί να διαρρέει ένα αναστροφέα(με 3 συστοιχίες ο καθένας) θα ισχύει:  $I_{sc}=8.58A < 13A$  ανά MPPT είσοδο και στην AC  $\frac{10575W}{\sqrt{3} \cdot 400V} = 15.26A < 17.5A$  ανά φάση.

Απ'τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο τρόπος σύνδεσης των Φ/Β πλαισίων στους αναστροφείς και η επιλογή του πλήθους τους ανά inverter καλύπτουν τα όρια που μπορεί να αποδώσει και να λειτουργήσει ο συγκεκριμένος αναστροφέας χωρίς να τεθεί εκτός λειτουργίας στις ακραίες συνθήκες(-5° C-45° C).

Η γραφική παράσταση της απόδοσης του αναστροφέα Sirio 10000p στις διάφορες τιμές ισχύος που μπορεί να λειτουργεί κατά τη διάρκεια μιας ημέρας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχ.3.8):



**Σχ.3.8** : Απόδοση του αναστροφέα Sirio 10000r στις διάφορες τιμές ισχύος και τάσης που μπορεί να λειτουργεί κατά τη διάρκεια μιας ημέρας

Απ'την παραπάνω γραφική παράσταση απόδοσης γίνονται εμφανή δύο σημαντικά στοιχεία. Το πρώτο είναι ότι η βέλτιστη λειτουργία του αναστροφέα επιτυγχάνεται στα 630V ενώ η περίπτωση μας όπου αντιστοιχεί στην καμπύλη των 450V(χρώμα καφέ) εμφανίζει την μικρότερη απόδοση σε σχέση με τις άλλες. Το δεύτερο στοιχείο είναι ότι σε αντίθεση με τους SMA αναστροφείς, που μελετήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, εμφανίζουν συνεχόμενη μέγιστη απόδοση σε μια δεδομένη τάση από τα 5000Wr μέχρι τα 10000Wr και όχι φθίνουσα απόδοση από τα 3000Wr και πάνω(SMA αναστροφείς,σχ 2.6). Επίσης η απόδοση αρχίζει να φθίνει σε μεγάλο βαθμό(σχεδόν εκθετικά) κάτω από τα 2000Wr γεγονός λογικό που δεν επηρεάζει τόσο πολύ την παραγωγή ενέργειας καθώς οι μικρές ισχύς(κάτω από 2000Wr) εμφανίζονται τις πολλές πρωινές και απογευματινές ώρες που ούτως ή άλλως δεν έχουμε συνθήκες μέγιστης παραγωγής.

Στην περίπτωση του Φ/Β πάρκου που μελετάται(καμπύλη 450V), προκύπτει ότι τις περισσότερες και αποδοτικότερες ώρες μιας ημέρας ο αναστροφέας θα έχει απόδοση **95%** ξεκινώντας στην αρχή της ημέρας από το 80%.

### 3.7 Σύνδεση αναστροφών στον γενικό πίνακα Χ.Τ.

Αφού μελετήθηκε πλήρως η DC πλευρά της εγκατάστασης, στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει μελέτη για την AC πλευρά που ξεκινά από την έξοδο των αναστροφών μέχρι το γενικό πίνακα και απ'το γενικό πίνακα μέχρι το μετρητή της ΔΕΗ.

Το καλώδιο ισχύος που τροφοδοτεί την AC πλευρά, είναι το γνωστό J1VV-R(ή NYΥ κατά VDE) που αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 (σχ. 2.7)

Η AC εγκατάσταση του συγκεκριμένου Φ/Β πάρκου είναι αρκετά απλή σε σχέση με την εγκατάσταση που επιλέχθηκε στο πάρκο του κεφαλαίου 2, καθώς όλοι οι αναστροφείς έχουν τοποθετηθεί δίπλα στο γενικό πίνακα μπροστά από τη συστοιχία 3 ώστε η απόσταση από το μετρητή της ΔΕΗ να ναι η ελάχιστη δυνατή(σχ.3.9). Μ'αυτόν τον τρόπο, δεν χρειάζονται AC υποπίνακες ενώ οι αποστάσεις των καλωδίων είναι μικρές και εμφανίζουν μικρή διαφορά από τον ένα αναστροφέα στον άλλο.



Σχ.3.9 : Διάταξη inverter με το γενικό πίνακα

Όλα τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα η διατομή του καλωδίου που τροφοδοτεί το γενικό πίνακα από κάθε inverter να είναι  $4\text{mm}^2$ , κοινή για όλους τους αναστροφείς. Συγκεκριμένα, αφού τοποθετηθούν όλοι οι αναστροφείς πάνω στις βάσεις της 3<sup>ης</sup> συστοιχίας, τοποθετούνται δύο σχάρες σε σειρά(600cmx30cm η κάθε μία) κάτω από αυτούς. Αυτό έχει ως συνέπεια να οδεύει ένα τριπολικό καλώδιο NYΥ  $4x4\text{mm}^2$ (L1,L2,L3,N) απ'την έξοδο κάθε αναστροφέα μέσω της σχάρας προς τον γενικό πίνακα. Απ'τη σχάρα μέχρι την είσοδο του γενικού πίνακα το καλώδιο τοποθετείται μέσα σε σωλήνα CONFLEX Φ21 για προστασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης από κάθε inverter οδεύει ξεχωριστά από το παροχικό καλώδιο, ένα καλώδιο γείωσης NYA  $1x10\text{mm}^2$  το οποίο μέσω της σχάρας προς στο γενικό πίνακα συνδέεται στην μπάρα γείωσης του πίνακα. Το αναμενόμενο ρεύμα που θα διαρρέει το καλώδιο NYΥ  $4x4\text{mm}^2$

για τους Sirio 10000p είναι:  $P_{AC} = V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{10000W}{400V \cdot \sqrt{3} \cdot 1} = 14.43A$  ή

**17.5A** το μέγιστο που μπορεί να εξέλθει από τον inverter.



Inverter

DC Καλώδιο

Παροχ. Καλώδιο 4x4mm<sup>2</sup>

UTP Μετάδοση δεδομένων

Από το γενικό πίνακα προς το μετρητή της ΔΕΗ, χρησιμοποιήθηκε καλώδιο NY 3 x 70 mm<sup>2</sup> + 1x50 mm<sup>2</sup> ως παροχή για την εγκατάσταση του Φ/Β πάρκου.

Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα για το NY 4x4mm<sup>2</sup> είναι, σύμφωνα με τους πίνακες του HD 384,  $I_{max}=34A$  στους 30° C. Θέτοντας μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος τους 45° C και τοποθέτηση πάνω σε σχάρα με 2 πλήθη καλωδίων σε απόσταση μεταξύ τους, προκύπτει ένας συντελεστής διόρθωσης **0.79x0.8**. Άρα στην πραγματικότητα, το καλώδιο μπορεί να φορτιστεί μέχρι  $34A \times 0.79 \times 0.8 = 21.5A$ . Το αναμενόμενο ρεύμα που θα διαρρέει το καλώδιο για τους Sirio 10000p είναι:

$$P_{AC} = V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{10000W}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 1} = 14.4A < 21.5A.$$

Εφόσον η γενική παροχή 3x70mm<sup>2</sup> + 1x50mm<sup>2</sup> απ'το γενικό πίνακα προς το μετρητή διατρέχει μέσα στο έδαφος θα πρέπει να γίνει υπολογισμός για εγκατάσταση καλωδίου στο έδαφος μέσα σε οχετούς(σωλήνες). Κατά συνέπεια, για την διαδρομή αυτή

προκύπτει  $P_{AC} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi \Rightarrow I = \frac{P_{AC}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{80000W}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 1} = 115A$  ανά φάση. Αν

χρησιμοποιηθεί καλώδιο  $3 \times 70mm^2 + 1 \times 50mm^2$  (151A στο έδαφος σε  $\theta=20^\circ$  C) τότε προκύπτει:

- Συντελεστής διόρθωσης 0.95 για θερμοκρασία εδάφους  $25^\circ$  C(αυτή μπορεί να θεωρηθεί η θερμοκρασία εδάφους κατά IEC 60287 για τους μήνες Ιουλίου-Αυγούστου σε βάθος 0.7m σε υποτροπικό κλίμα)
- Συντελεστής διόρθωσης 1.10 για ειδική θερμική αντίσταση εδάφους  $1.5K \cdot m/W$ (σπάνια έως κανονική βροχόπτωση στο μέρος εκείνο)

δηλαδή  $I_{max}=151A \cdot 0.95 \cdot 1.10 = 157.8A > 115A$ .

Για την πτώση τάσης του  $4 \times 4 mm^2$  ( $R_{70^\circ C}=5.35\Omega/km, L=10m$ ) ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{L(Km) \cdot R(\Omega/km) \cdot P}{U^2} = 0.0033 = 0.33\% < 1\% . \text{ Όμοιο ποσοστό ισχύει και για τις}$$

απώλειες ισχύος, δηλαδή έχουμε  $\Delta P/P=0.33\%$ .

Για την πτώση τάσης του  $3 \times 70mm^2$  τριφασικού( $R_{70^\circ C}=0.31\Omega/km, L=20m$ ) ισχύει η σχέση:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{L(Km) \cdot R(\Omega/km) \cdot P}{U^2} = 0.00038 = 0.04\% < 1\% . \text{ Όμοιο ποσοστό ισχύει και για τις}$$

απώλειες ισχύος, δηλαδή έχουμε  $\Delta P/P=0.04\%$ .

Για τον προσδιορισμό της διατομής  $A_N$  του ουδέτερου γίνεται αποδεκτό ότι το τριφασικό σύστημα είναι γενικά συμμετρικό σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας κάτι που προσεγγίζει κατά πολύ την αλήθεια αφού όλοι οι αναστροφείς θα λειτουργούν σχεδόν στην ίδια ισχύ για την ίδια χρονική στιγμή της ημέρας. Σύμφωνα με τον κανονισμό HD384.5.524 για διατομές φάσεων μικρότερες των  $16mm^2$ , η διατομή του ουδέτερου πρέπει να είναι ίδια με τη διατομή της φάσης. Για διατομές μεγαλύτερες των  $16mm^2$  ισχύει:

- $A_N=A_{L1}=A_{L2}=A_{L3}$  για φορτία μη ηλεκτρονικά ισχύος όπως γραφεία και βιομηχανία
- $A_N = 0,5 \cdot A_{L1}=0,5 \cdot A_{L2}=0,5 \cdot A_{L3}$  για γραμμικά φορτία

Ωστόσο, για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, η διατομή του αγωγού του ουδέτερου έχει υποστεί μία **προσαύξηση** από αυτό που προτείνει ο κανονισμός HD384 σε σχέση με αυτή των φάσεων(περιπτώσεις μη γραμμικού φορτίου) δηλαδή  $50mm^2$  και όχι  $35mm^2$ . Γι'αυτό το λόγο και δεδομένου ότι δεν υπάρχει στο εμπόριο πολυπολικό καλώδιο NYΥ  $3 \times 70mm^2(L1,L2,L3)+50mm^2(N)$ , χρησιμοποιήθηκε ένα καλώδιο NYΥ  $3 \times 70mm^2$  και ένα ξεχωριστό καλώδιο  $1 \times 50 mm^2$  για τον ουδέτερο.

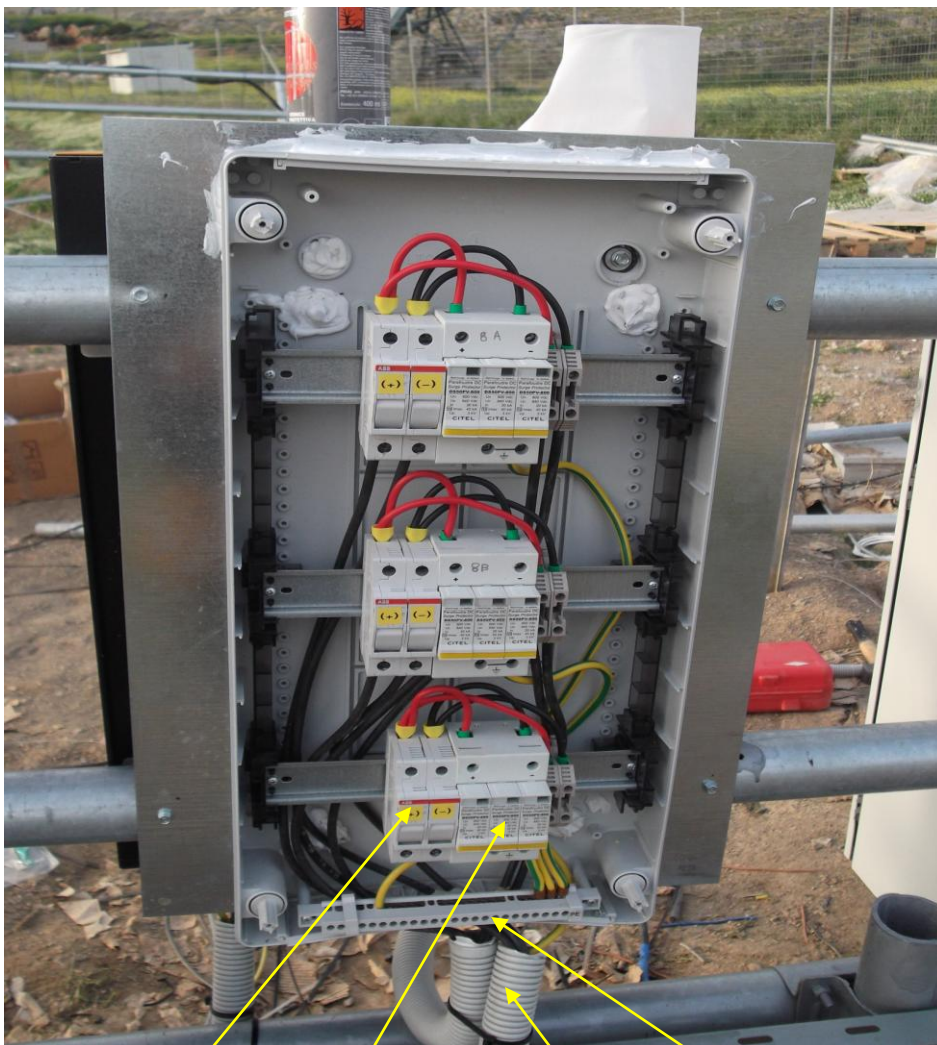
## 2.8 Προστασίες πινάκων από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα

Όσον αφορά τα ηλεκτρικά εξαρτήματα που διαθέτουν οι πίνακες, αυτά απεικονίζονται στις φωτογραφίες των DC και AC πινάκων που πάρθηκαν κατά την τοποθέτησή τους.

Συγκεκριμένα, στους DC πίνακες(χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί πίνακες όπως φαίνεται και απ'τις παρακάτω φωτογραφίες) βρίσκονται **οι απαγωγείς υπερτάσεων** της

εταιρείας ETITEC. Πρόκειται για διπολικούς απαγωγούς PV1000(τύπου T2 1000V DC). Οι διπολικοί απαγωγείς(+ και -) κρουστικών ρευμάτων PV-1000 είναι ειδικά σχεδιασμένοι για προστασία από κρουστικές υπερτάσεις διατάξεων (DC/AC) αναστροφένων οι οποίοι έχουν εφαρμογή σε Φ/Β συστήματα.

Σε αντίθεση με τους DC πίνακες του Φ/Β πάρκου του κεφαλαίου 2, στους παραπάνω πίνακες τοποθετήθηκαν επιπλέον πριν τους απαγωγούς υπερτάσεων και ασφαλειοαποζεύκτες (με ασφάλειες τήξης των **12A**). Ο λόγος που τοποθετήθηκαν αφορά αποκλειστικά και μόνο την απόζευξη κάποιας συγκεκριμένης συστοιχίας από την υπόλοιπη εγκατάσταση για λόγους συντήρησης ή δοκιμών και όχι την προστασία από βραχυκυκλώματα ή υπερεντάσεις. Μ'αυτό τον τρόπο υπάρχει η δυνατότητα απόζευξης μιας και μόνο συστοιχίας (όχι όλων των συστοιχιών που ελέγχονται σε κάθε πίνακα) σε αντίθεση με το πάρκο του κεφαλαίου 2 στο οποίο υπάρχει μόνο η δυνατότητα απόζευξης όλων των συστοιχιών που τροφοδοτούν ένα αναστροφέα μέσω του DC διακόπτη που διαθέτει ένας inverter SMA.

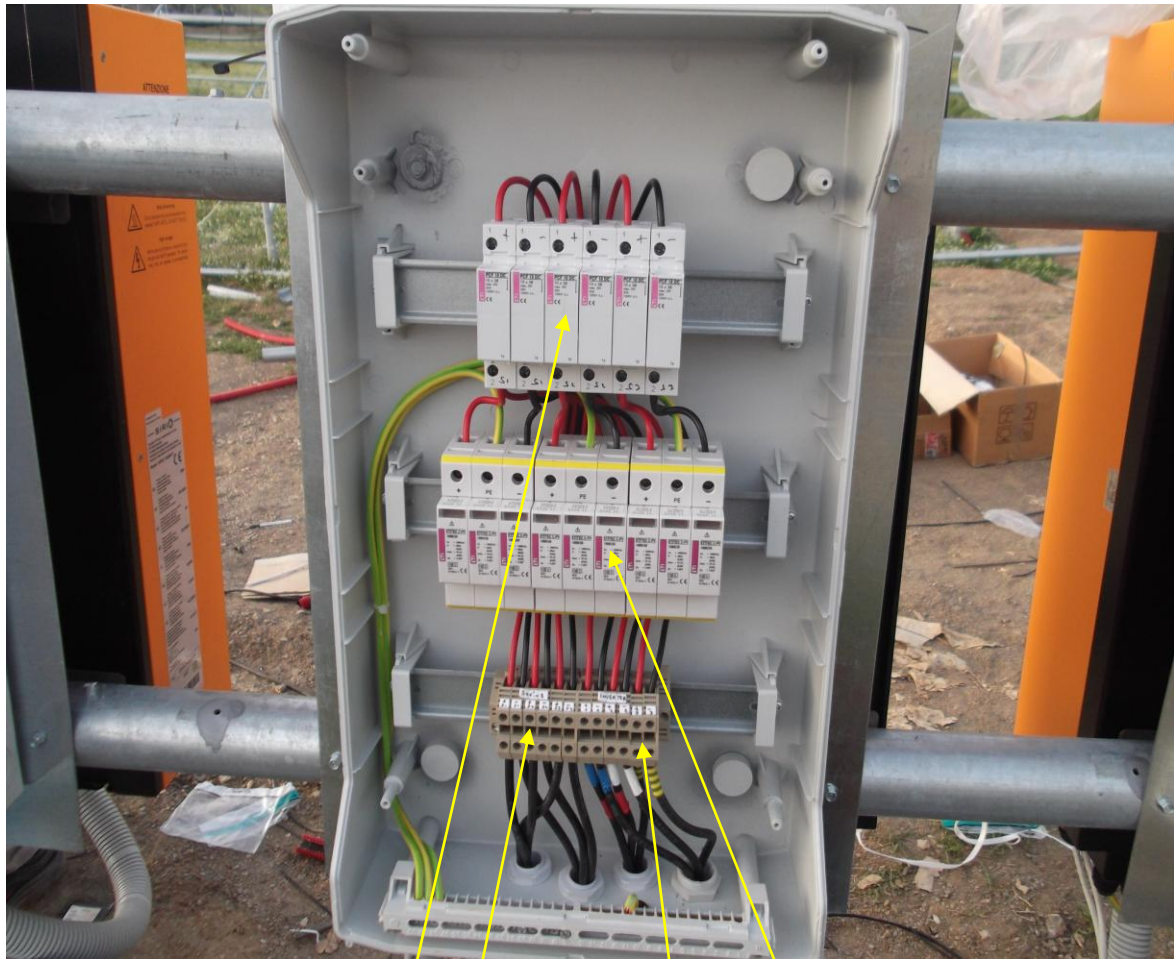


Ασφαλειοαποζεύκτες

Αντικεραυνικά

Μπάρα γείωσης

Καλωδίωση από τα string



Ασφαλειοαποζεύκτες

Κλέμα από string

Αντικεραυνικά

Κλέμα προς inverter

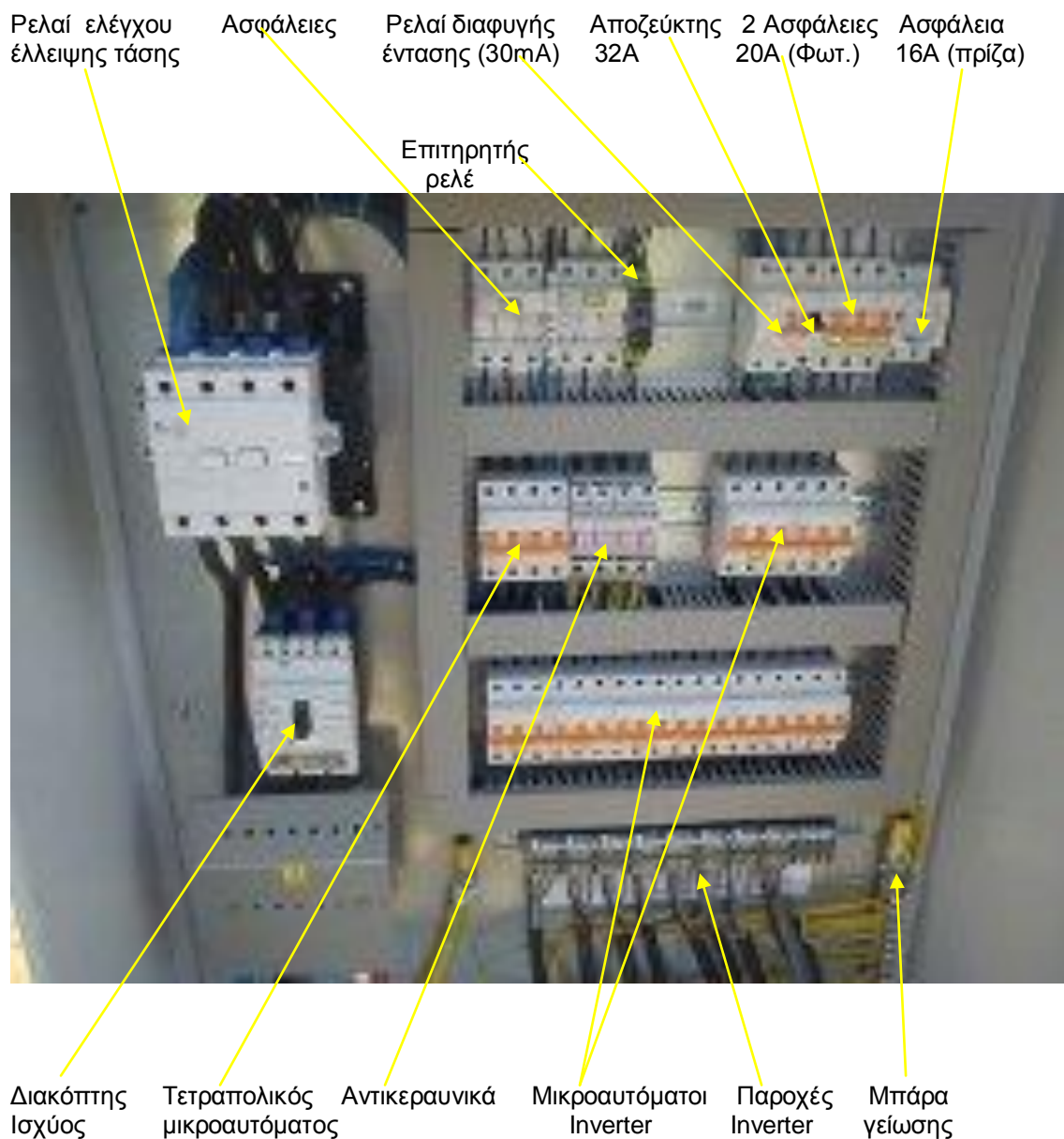
Όσον αφορά την προστασία στο γενικό πίνακα (όπως φαίνεται στο μονογραμμικό σχέδιο του παραρτήματος), χρησιμοποιήθηκαν τριπολικοί μικροαυτόματοι AEG **25A** για την προστασία των inverter, μικροαυτόματοι AEG **16A** και ρελαί διαφυγής έντασης 30 mA για τους ρευματοδότες και μικροαυτόματοι AEG **20A** για τους προβολείς. Επίσης, τετραπολικός μικροαυτόματος (L1,L2,L3,N) AEG 4x63A τοποθετήθηκε για την προστασία των αντικεραυνικών T1. Ως γενικό μέσο προστασίας-απόζευξης με το δίκτυο εγκαταστάθηκε τριπολικός διακόπτης ισχύος AEG **120A** ονομαστικού ρεύματος(20kA ρεύμα βραχυκύκλωσης). Ο διακόπτης αυτός έχει διττή λειτουργία καθώς αφενός μεν προστατεύει το παροχικό καλώδιο σε συνθήκες βραχυκυκλώματος ή υπερέντασης αφετέρου λειτουργεί ως αποζεύκτης χειροκίνητα από το χειριστή.

Σε περιπτώσεις εγκατάστασης τριφασικών αναστροφένων σε Φ/Β πάρκο επιβάλλεται επιπλέον από τη ΔΕΗ η εγκατάσταση ενός ρελαί στο γενικό πίνακα το οποίο έχει την ικανότητα να προκαλεί την απόζευξη της εγκατάστασης από το δίκτυο σε περιπτώσεις βλάβης του δικτύου (π.χ. καταστροφή μιας ασφάλειας του δικτύου σε μια φάση). Το ρελαί αυτό ελέγχεται μέσω ενός επιτηρητή έλλειψης τάσης από την πλευρά του δικτύου – διαδοχής φάσεων ο οποίος στην απώλεια τάσης μιας φάσης του δικτύου στέλνει εντολή σε μερικά msec στο ρελαί να «ξεοπλίσει» (κατάσταση OFF) με συνέπεια να προστατευτεί ο συντηρητής του δικτύου σε πιθανές επιστροφές επαγωγικού ρεύματος από τους

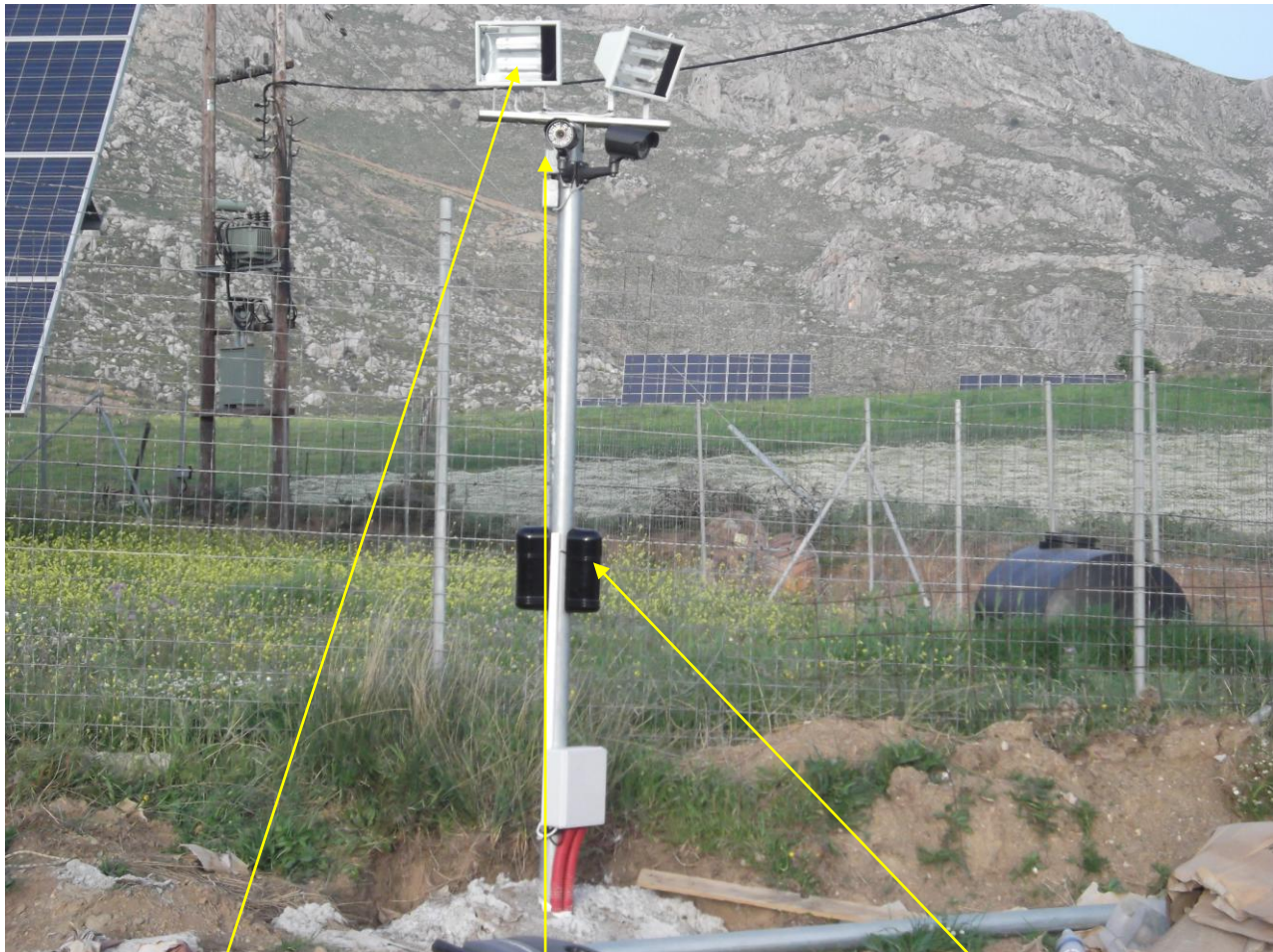


αναστροφείς μέσω των 2 άλλων φάσεων. Το ρελαί αυτό, όπως φαίνεται και απ'τη φωτογραφία του γενικού πίνακα, εγκαθίσταται μετά το διακόπτη ισχύος και εκτός απ'τις 3 φάσεις αποκόβει και τον ουδέτερο. Μετά την επαναφορά της τάσης σε όλες τις φάσεις του δικτύου(R,S,T), ο επιτηρητής επαναφέρει το ρελαί σε κατάσταση ON αυτόματα και επειδή ο διακόπτης ισχύος είναι εξαρχής σε κατάσταση ON, η εγκατάσταση του Φ/Β πάρκου συνεχίζει την παραγωγή ενέργειας.

Στην έξοδο του διακόπτη ισχύος τοποθετείται αντικεραυνική προστασία με απαγωγούς υπερτάσεων τύπου **T1** (230/400VAC) για άμεσα κρουστικά πλήγματα(10/350μs) και απαγωγείς υπερτάσεων τύπου **T2** (230/400VAC) για κρουστικά πλήγματα (8/20μs). Μ'αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η προστασία από υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα τύπου T1+T2 όπως συνηθίζεται σε μία Φ/Β εγκατάσταση.



Σε ξεχωριστό πίνακα που εγκαταστάθηκε δίπλα στους αναστροφείς και αντιδιαμετρικά του γενικού πίνακα(σχ.3.9), έγινε πρόβλεψη για την εγκατάσταση καμερών, συναγερμού και ενός UPS που θα επιτρέπει καθώς φορτίζεται από το δίκτυο, να παρέχει ενέργεια ,σε τυχόν διακοπή του δικτύου, στους προβολείς, στις κάμερες και στο μετρητή δεδομένων ώστε να προστατευτεί ο ιδιοκτήτης-παραγωγός. Η σύνδεση των αναστροφένων με το μετρητή δεδομένων(Databox) γίνεται σειριακά μέσω καλωδίωσης(UTP cat5) και απ'το μετρητή στέλνεται σήμα ασύρματα μέσω των καρτών δικτύου που διαθέτει ο μετρητής σε server για διαδικτυακή παρατήρηση των δεδομένων απ'τον παραγωγό οποιαδήποτε στιγμή και σε οποιοδήποτε μέρος θελήσει ο ίδιος να τα παρατηρήσει.



Προβολέας

Κάμερα

Κουτί συναγερμού

### 3.9 Σύστημα γείωσης στην Φ/Β εγκατάσταση και Αντικεραυνική προστασία

Στο συγκεκριμένο Φ/Β πάρκο, δεν έγινε αντικεραυνική εγκατάσταση με ακίδες και αγωγούς καθόδου πάνω στις μεταλλικές βάσεις των συστοιχιών όπως στο πάρκο του προηγούμενου κεφαλαίου αλλά επιλέχθηκε η εγκατάσταση απαγωγών υπερτάσεων τόσο για άμεσα όσο και για έμμεσα κεραυνικά πλήγματα στους επιμέρους ηλεκτρικούς πίνακες.

Όσον αφορά το σύστημα γείωσης, λόγω του τρόπου τοποθέτησης των μεταλλικών βάσεων των συστοιχιών (πασσαλόμπηξη), δεν επιλέχθηκε ούτε περιμετρική ούτε θεμελιακή γείωση αλλά ένα τρίγωνο γείωσης.

Το τρίγωνο γείωσης αποτελείται από τρεις μεταλλικές ράβδους επιψευδαργυρωμένου χάλυβα(St-tZn) οι οποίες τοποθετούνται μέσα στο έδαφος σε βάθος 1.5-2m και σε απόσταση η μία από την άλλη περίπου 3m. Πάνω από κάθε ράβδο τοποθετείται και ένα πλαστικό καπάκι φρεατίου 30cmx30cm(σχ.3.10) με το σήμα της γείωσης ώστε σε περίπτωση μέτρησης ή επισκευής να είναι φανερά τα σημεία που βρίσκονται οι γειωτές-ράβδοι.



Σχ.3.10 :Φρεάτιο τριγώνου γείωσης



Σχ.3.11 :Βέργα γείωσης 50mm<sup>2</sup>

Οι ράβδοι συνδέονται ηλεκτρικά με ένα αγωγό γείωσης 1x50mm<sup>2</sup> ο οποίος καταλήγει στην κεντρική μπάρα γείωσης που βρίσκεται πάνω σε μια κατακόρυφη βάση δίπλα από το γενικό πίνακα. Στην ίδια μπάρα γείωσης καταλήγει η γείωση AC από το γενικό πίνακα, η γείωση DC από τους DC πίνακες και αναχωρεί υπόγεια ένα καλώδιο 1x50mm<sup>2</sup> μέσω σωλήνα Φ60(δίπλα στη σωλήνα Φ90 της παροχής) από εκεί για τη γείωση του ουδετέρου στο μετρητή της ΔΕΗ(σχ.3.12, TN-S σύστημα στο δίκτυο της Κρήτης).



Κεντρική  
μπάρα γείωσης

DC Γειώσεις

Αγωγός  
Γείωσης από τρίγωνο

Γείωση γενικού πίνακα



Σχ. 3.12 :Βάση μετρητικής διάταξης ΔΕΗ

Κεντρική γείωση

Παροχή ΝΥΥ 3x70 mm<sup>2</sup>  
Ουδέτερος 1x50 mm<sup>2</sup>

Τέλος, στο θέμα γείωσης υπάρχει και μία επιπρόσθετη εγκατάσταση η οποία συνδέει ηλεκτρικά τις σειρές των συστοιχιών μεταξύ τους και μειώνει την τιμή της αντίστασης γείωσης σημαντικά. Συγκεκριμένα, πάνω απ'τα κολάρα των μεταλλικών βάσεων σε ύψος 20-25cm από το έδαφος, τοποθετείται ανοξειδωτή χαλύβδινη βέργα 50mm<sup>2</sup> η οποία συγκρατείται μέσω σφικτήρα βάσης-βέργας(σχ.3.11) και η οποία καταλήγει στην επόμενη σειρά συστοιχιών σε ευθεία πορεία ώστε να μην έχουμε καμπύλες που αυξάνουν την αντίσταση του ηλεκτροδίου-βέργας(σχ.3.2). Με αυτόν τον τρόπο συνδέονται όλες οι σειρές μεταξύ τους με την τοποθέτηση δύο ηλεκτροδίων από σειρά σε σειρά και μία διάταξη που μπορεί κάποιος να την παρομοιάσει με τόσα ηλεκτρόδια στο έδαφος όσες και οι κατακόρυφες βάσεις που στηρίζουν τις συστοιχίες στην εγκατάσταση. Η αντίσταση γείωσης μετρήθηκε στις 10/03/2012-χωρίς την τοποθέτηση των βεργών στις βάσεις-μετά από ισχυρή βροχόπτωση και βρέθηκε ίση με 2.5Ω. Μετά την τοποθέτηση των βεργών γείωσης η αντίσταση γείωσης βρέθηκε 0.97Ω. Παρακάτω παρουσιάζονται γενικές φωτογραφίες που αφορούν την εγκατάσταση του πάρκου.



Ρελαί ελέγχου έλλειψης τάσης  
Δικτύου(R,S,T)



Διακόπτης ισχύος 120A/20kA



Ρελαί διαφυγής 30mA, 1 αποζεύκτης 32A,  
2 μικροαυτόματοι 20A, 1 μικροαυτόματος  
16A και ένας ρευματοδότης



Τετραπολικός μικροαυτόματος,  
αντικεραυνικά AC



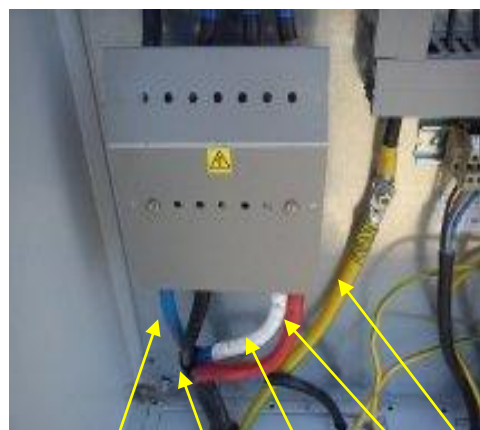
Μικραυτόματι 25A για τους inverter



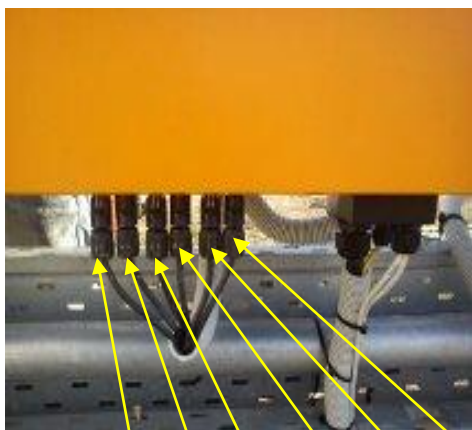
Κλέμες σύνδεσης παροχών Inverter με NY 4x4mm<sup>2</sup>



Μπάρα γειώσεων γενικού πίνακα



N 50mm<sup>2</sup> L1 L2 L3 PE 3x70mm<sup>2</sup> 50mm<sup>2</sup>



String: 1(+) 1(-) 2(+) 2(-) 3(+) 3(-)  
DC είσοδοι inverter με MC4 βύσματα



Διαδρομή παροχικών καλωδίων inverter προς το γενικό πίνακα μέσα σε σωλήνες

συστοιχία 1



συστοιχία 2

4

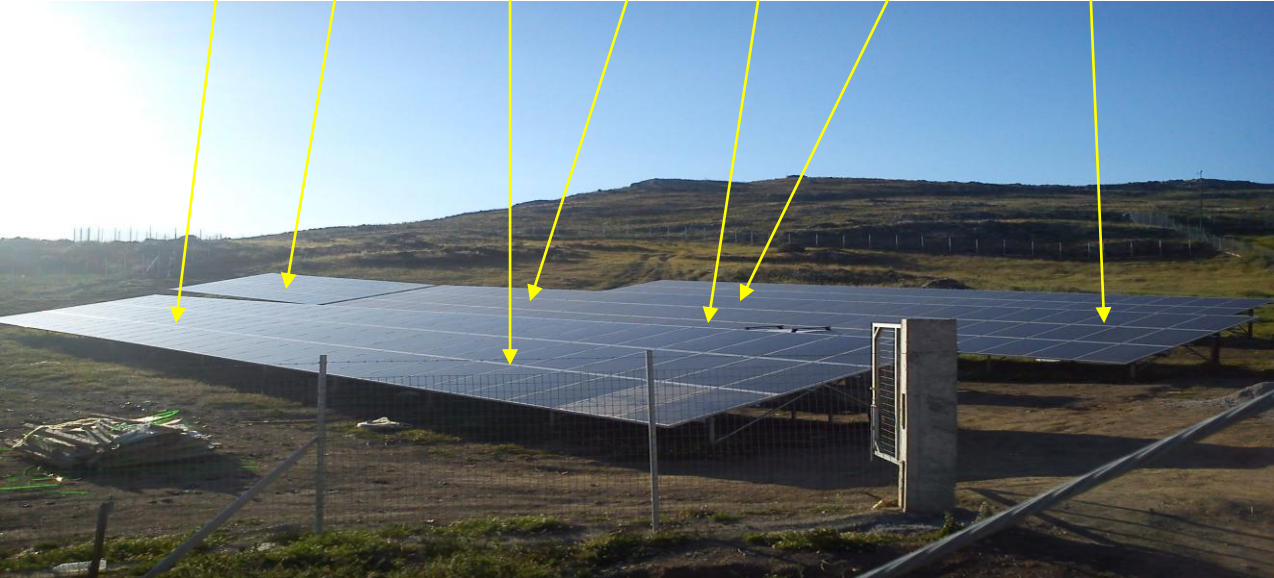
3

5

6

8

7



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία προσπάθεια περιγραφής των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ και ενέργεια σε ένα Φ/Β πάρκο. Η περιγραφή αυτή θα συγκεκριμενοποιηθεί με τη μελέτη των μετρήσεων θερμοκρασίας και ακτινοβολίας του Φ/Β πάρκου 80KWp(2km-pv) που αναπτύχθηκε διεξοδικά στο κεφάλαιο 2 για χρονική διάρκεια ενός έτους. Τέλος θα γίνει μία εκτίμηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν απ'τα πραγματικά δεδομένα σε σύγκριση με τα θεωρητικά αποτελέσματα όπως επίσης και πιθανές βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν όταν υπάρχει μεγάλη απόκλιση.

### 4.2 Γενική περιγραφή παραγόντων που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ και ενέργεια

Για να λειτουργήσουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιτυχώς κατά τη διάρκεια μιας αναμενόμενης διάρκειας ζωής(π.χ. για 25 χρόνια), απαιτείται έρευνα σε όλες τις πτυχές. Οι εκτιμήσεις ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν δίνουν συνήθως μια ακριβή ένδειξη της απόδοσης τους. Τα αποτελέσματα ερευνών, επίσης, έδειξαν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μείωση μέχρι και **18%** της πιθανής ισχύος τους. Η **θερμοκρασία** και η **ηλιακή ακτινοβολία** είναι οι δυο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και γι'αυτό το λόγο θα γίνει και εκτενέστερη μελέτη σ'αυτούς. Άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως **ο αέρας, η βροχή, η κάλυψη σύννεφων και η διανομή του ηλιακού φάσματος**, επηρεάζουν τη θερμοκρασία, κάτω από την οποία τα συστήματα λειτουργούν, καθώς και την αναμενόμενη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Ορισμένοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι:

#### 1. Θερμοκρασία

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν ιδανικά συνήθως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C. Τις περισσότερες φορές όμως, η θερμοκρασία του συστήματος υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας διαφέρει σημαντικά κυρίως κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Οι υψηλές θερμοκρασίες της κυψέλης έχουν αρνητική επίδραση στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαφοράς δυναμικού της ηλιακής κυψέλης με αποτέλεσμα, όταν ένα φορτίο συνδεθεί στα άκρα του, η διαφορά δυναμικού να είναι αισθητά μειωμένη. Σε περίπτωση που τα φωτοβολταϊκά συστήματα λειτουργούν σε θερμοκρασίες πάνω από την ενδεικτική τιμή, τότε η δυναμική παραγωγική ενέργεια τους μπορεί να μειώνεται περισσότερο από το **14%**.



Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στην αποτελεσματικότητα των ηλιακών κυψελών και μάλιστα η σχέση των δυο αυτών μεγεθών είναι αντιστρόφως ανάλογη.

## **2. Ηλιακή ακτινοβολία**

Η ενέργεια που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε ετήσια βάση, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου, εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση εγκατάστασης του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, όταν αναφέρεται ο όρος ηλιακή ακτινοβολία εννοείται η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Δηλαδή, δυο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος μπορούν να προκαλέσουν σε μια κυψέλη διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως να διαμορφώσουν διαφορετικό βαθμό απόδοσης.

Η επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρει για τις διάφορες παραμέτρους εξόδου. Η επίδραση μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα λαμβάνοντας υπ' όψιν την διαφορά του ρεύματος και της ηλεκτρικής τάσης που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος που οφείλεται στην αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρονίων (λόγω της αυξανόμενης ροής των φωτονίων) και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ.

## **3. Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου**

Η ταχύτητα του ανέμου, μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου καθότι μεγάλες ταχύτητες, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας του. Όταν οι ανεμισμοί είναι ψυχροί, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές που θα λειτουργούσαν εάν υπήρχε άπνοια, υπό τα ίδια ποσοστά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

## **4. Ρύπανση**

Η ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να μειωθεί από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών στην επιφάνειά τους. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται συνήθως με κλίση  $90^{\circ}$  (κάθετοι), για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον  $45^{\circ}$  για να μην συγκρατείται η σκόνη. Όταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βρίσκονται σε μία περιοχή που εκτιμάται ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## **5. Σκίαση**

Ένας άλλος παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κλπ, είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης όπως

για παράδειγμα στις στέγες κτηρίων, όπου προκαλείται σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές και για το λόγο αυτό, είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αποτελείται από ηλιακές κυψέλες όμοιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη μιας και μόνο ηλιακής κυψέλης, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Μια σκιασμένη κυψέλη, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η δίοδος, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τις υπόλοιπες κυψέλες, οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν αστοχίες, μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν οι υπόλοιπες ηλιακές κυψέλες του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της. Στην πράξη, για τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, η σκιασμένη κυψέλη λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός μιας κυψέλης σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή της κυψέλης αυτής και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης μιας κατεστραμμένης κυψέλης.

## 6. Γήρανση

Λόγω της φθοράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων (και των υπολοίπων στοιχείων ενός φωτοβολταϊκού συστήματος), αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από **1%** ως το πολύ **2%** για κάθε έτος.

## 7. Απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος

Πέρα από τους διάφορους παράγοντες που αναφέρονται πιο πάνω, πρέπει κατά το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, να λαμβάνονται υπόψη οι ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές και μετατροπείς(αν υπάρχουν). Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φωτοβολταϊκών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης περίπου του **20-25%** της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

## 8. Οπτικές απώλειες

Με τον όρο οπτικές απώλειες εννοείται η διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου (υαλοπίνακας, αντανakλαστικό επίστρωμα, υλικό φωτοβολταϊκών κυττάρων) σε σχέση με την αντίστοιχη ανακλαστικότητα σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς (STC, Standard Test conditions). Η ανακλαστικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή σε Πρότυπες Συνθήκες Αναφοράς, αυξάνει καθώς αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια του, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των  $60^{\circ}$ . Επιπλέον, οπτικές απώλειες παρατηρούνται λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση της ηλιακής κυψέλης μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα κάτω από την τιμή των  $200\text{W}/\text{m}^2$  όπως φαίνεται. Σε άλλες όμως περιπτώσεις οι

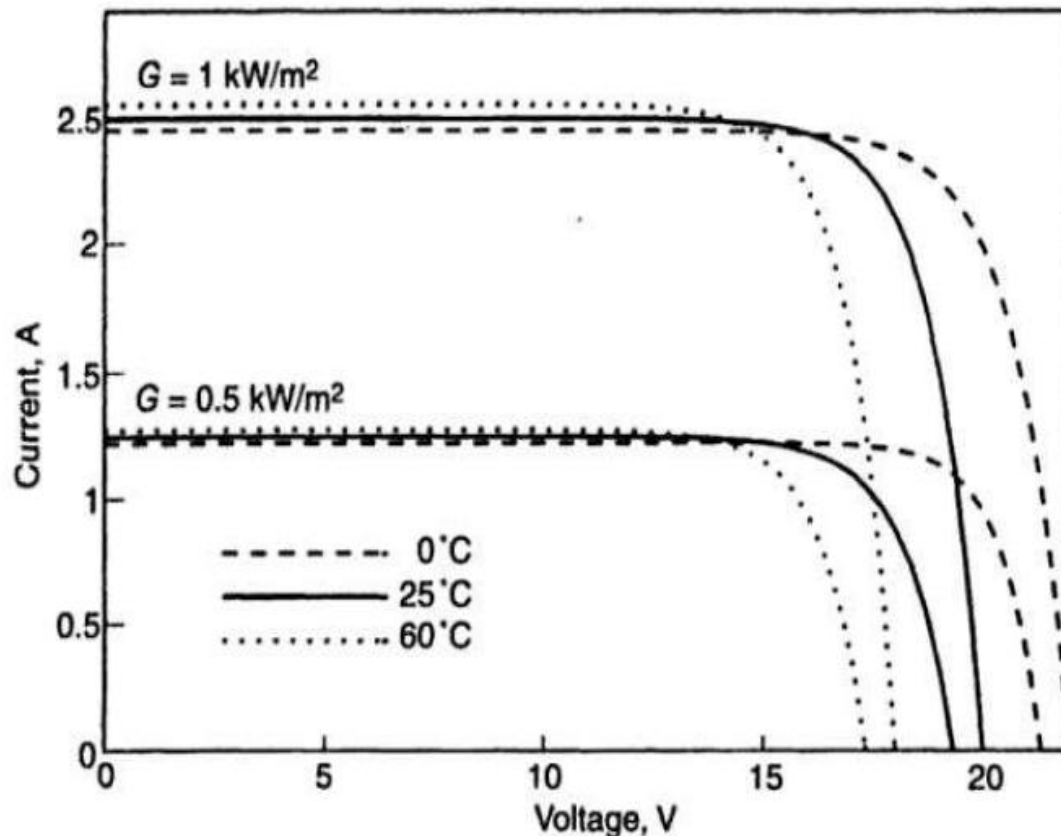
ενεργειακές αυτές απώλειες αποδεικνύονται σημαντικές και υπολογίζονται σε 3%, κατά μέσο όρο στο έτος.

### 4.3 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην παραγόμενη τάση και το ρεύμα

Η πυκνότητα ακτινοβολίας έχει σημαντική επίδραση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ . Συγκεκριμένα, το  $I_{sc}$  είναι ευθέως ανάλογο με της πυκνότητα της ακτινοβολίας και κατά τη διάρκεια της ημέρας μεταβάλλεται όπως και αυτή. Δίνεται από τη σχέση:

$$I_{sc}(G) = I_{sc} (1\text{kW/m}^2) \times G(\text{kW/m}^2)$$

Έτσι, όταν επικρατούν πρότυπες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας ( $1\text{kW/m}^2$ ), το ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται από την πρόσπτωση φωτονίων μπορεί να είναι π.χ. 2.5A. Όταν η ένταση ακτινοβολίας «πέσει» στα  $500\text{W/m}^2$  (δηλαδή στο μισό), τότε παρατηρείται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος ( $2.5\text{A}/2=1.25\text{A}$ ) για την ίδια γωνία κλίσης πάνω στο πάνελ όπως παρουσιάζεται από το παρακάτω διάγραμμα (σχ.4.1).



Σχ. 4.1 : Επίδραση I-V σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία-θερμοκρασία

Η λειτουργία ενός Φ/Β πλαισίου πρέπει να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο σημείο μέγιστης ισχύος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.1, το σημείο αυτό μεταβάλλεται πολύ με τις διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας.

Αντίθετα, η μεταβολή της τάσης που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο δεν έχει την ίδια συμπεριφορά καθώς για τις διάφορες μεταβολές της ακτινοβολίας δεν έχουμε ανάλογη μεταβολή της τάσης όπως το ρεύμα αλλά ιδιαιτέρως μικρή. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό και απ'τα διαγράμματα των κατασκευαστών οι οποίοι δίνουν σχεδόν τα ίδια επίπεδα τάσης σε διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας. Άρα μπορεί να θεωρηθεί, χωρίς σημαντικό σφάλμα, ότι η τάση μέγιστης ισχύος είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή της κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι περίπου 80% της  $V_{oc}$ , μια ιδιότητα πολύ καθοριστική για τον αριθμό των πλαισίων που θα σχηματίζουν μια στοιχειοσειρά.

#### 4.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγόμενη τάση και το ρεύμα

Η θερμοκρασία αποτελεί σημαντική παράμετρο στη λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος(σχ.4.2). Για ένα ανεξάρτητο πολυκρυσταλλικό κύτταρο, ο θερμοκρασιακός συντελεστής της τάσης ανοιχτού κυκλώματος έχει τιμή περίπου ίση με  $-2,3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ . Έτσι, για σύνδεση  $n_c$  κυττάρων σε σειρά ο συνολικός θερμοκρασιακός συντελεστής είναι:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.3 \cdot n_c \text{ (mV/}^\circ\text{C)} \quad (4.1)$$

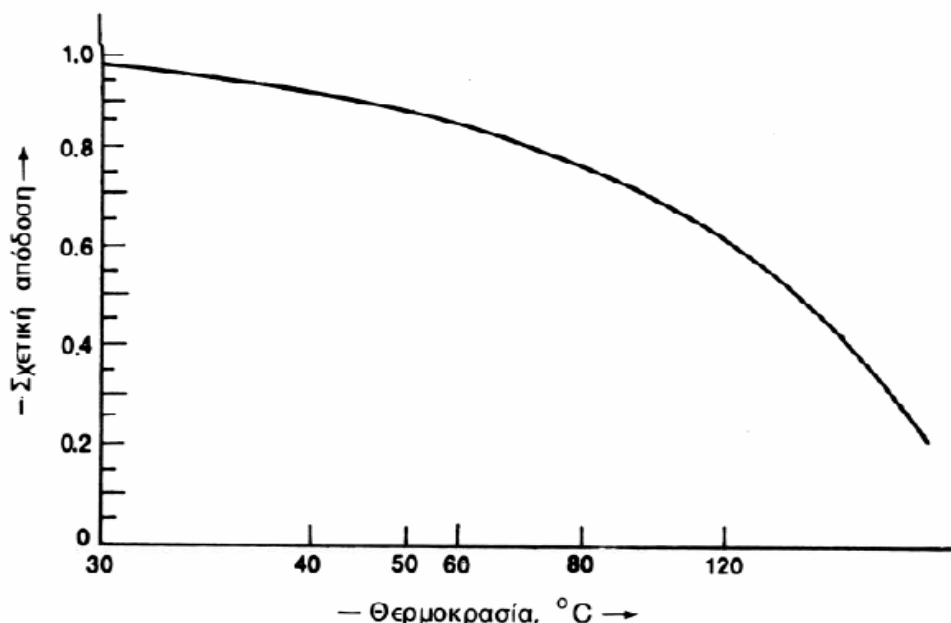
Για τα Φ/Β πλαίσια του κεφαλαίου 3(JC solar) ο θερμοκρασιακός συντελεστής της  $V_{oc}$  δίνεται από τα φυλλάδια του κατασκευαστή και είναι  $-0,111\text{V/}^\circ\text{C}$  ή  $0.3\% \cdot V_{oc}/^\circ\text{C}$  με  $V_{oc}=37\text{V}$  ενώ για τα Φ/Β πλαίσια του κεφαλαίου 2 (Aleo 220Wp) δίνεται  $-0.123\text{V/}^\circ\text{C}$  ή  $0.34\% \cdot V_{oc}/^\circ\text{C}$  με  $V_{oc}=36.3\text{V}$ . Είναι σημαντικό εδώ να αναφερθεί ότι η τάση ενός πλαισίου καθορίζεται από τη θερμοκρασία των Φ/Β κυττάρων κατά τη λειτουργία τους η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για την εύρεση της παραμέτρου αυτής πρέπει να γίνει γνωστή η τυπική θερμοκρασία λειτουργίας (NOCT) του κυττάρου η οποία είτε δίνεται από τον κατασκευαστή είτε μετριέται στις ακόλουθες συνθήκες:

- Πυκνότητα ακτινοβολίας:  $0,8\text{kW/m}^2$
  - Μάζα αέρα: 1,5 AM
  - Θερμοκρασία περιβάλλοντος:  $20^\circ\text{C}$
  - Μέση ταχύτητα αέρα:  $> 1\text{m/sec}$
- Η τιμή της είναι μεταξύ  $42^\circ\text{C}$  και  $46^\circ\text{C}$ .

Η θερμοκρασία λειτουργίας του Φ/Β κυττάρου (και κατά συνέπεια του πλαισίου) τότε δίνεται από τη σχέση:

$$T_c - T_a = \frac{NOCT - 20}{0.8} \cdot G(\text{KW} / \text{m}^2) \quad (4.2)$$

όπου  $T_c$  και  $T_a$  η θερμοκρασία κυττάρου και περιβάλλοντος αντίστοιχα σε  $^{\circ}\text{C}$  και  $G$  η πυκνότητα ακτινοβολίας σε  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

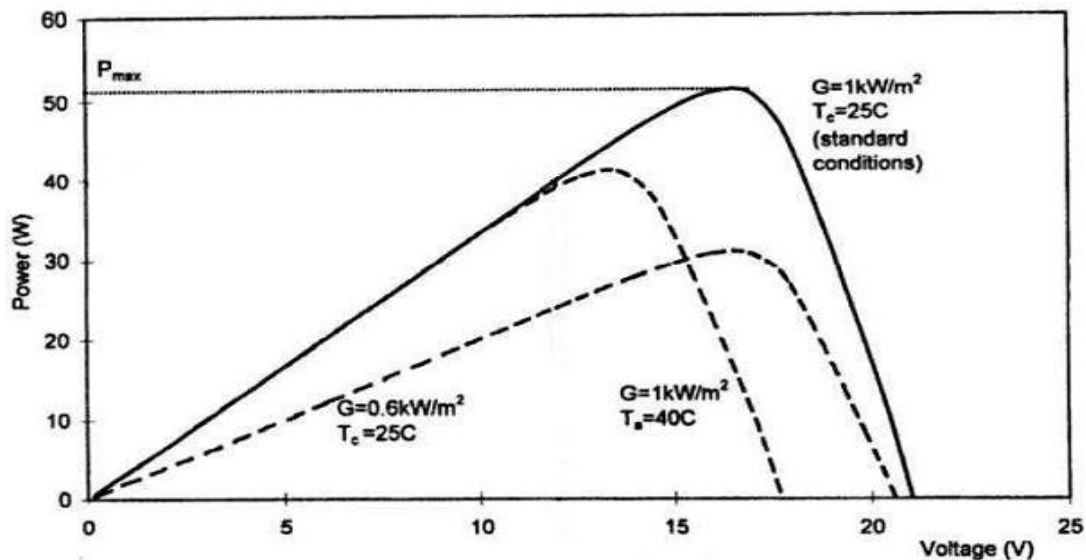


**Σχ.4.2:** Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ . Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τεταμένων είναι λογαριθμική.

Για το ρεύμα βραχυκύκλωσης ο θερμοκρασιακός συντελεστής έχει θετικό πρόσημο και είναι της τάξης των  $+6\mu\text{A}/^{\circ}\text{C}$  ανά τετραγωνικό εκατοστό της επιφάνειας του πλαισίου. Το πλαίσιο του κεφαλαίου 3(JC solar) έχει θερμοκρασιακό συντελεστή για το  $I_{sc}$  περίπου  $0.04\% \bullet I_{sc}/^{\circ}\text{C}$  ή  $2.76\text{mA}/^{\circ}\text{C}$  με  $I_{sc}=6.92\text{A}$  ενώ για το πλαίσιο του κεφαλαίου 2(Aleo S18 220Wp) δίνεται  $0.04\% \bullet I_{sc}/^{\circ}\text{C}$  ή  $3.29\text{mA}/^{\circ}\text{C}$  με  $I_{sc}=8.24\text{A}$ .

Τέλος, η ισχύς  $P_{mp}$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας(μειωμένη τάση, σταθερό προσεγγιστικά ρεύμα) και για τα πλαίσια που χρησιμοποιούμε στο κεφάλαιο 3(JC Solar 235Wp) ο θερμοκρασιακός συντελεστής είναι  $-0,4\%/^{\circ}\text{C}$  ή  $-0,94\text{W}/^{\circ}\text{C}$  ενώ για το κεφάλαιο 2(Aleo S18 220Wp) είναι  $-0.46\%/^{\circ}\text{C}$  ή  $-1.01\text{W}/^{\circ}\text{C}$ .

Στο παρακάτω διάγραμμα(σχ.4.3) φαίνεται ξεκάθαρα η εξάρτηση της παραγόμενης ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου από την τάση σε συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της ηλιακής ακτινοβολίας.

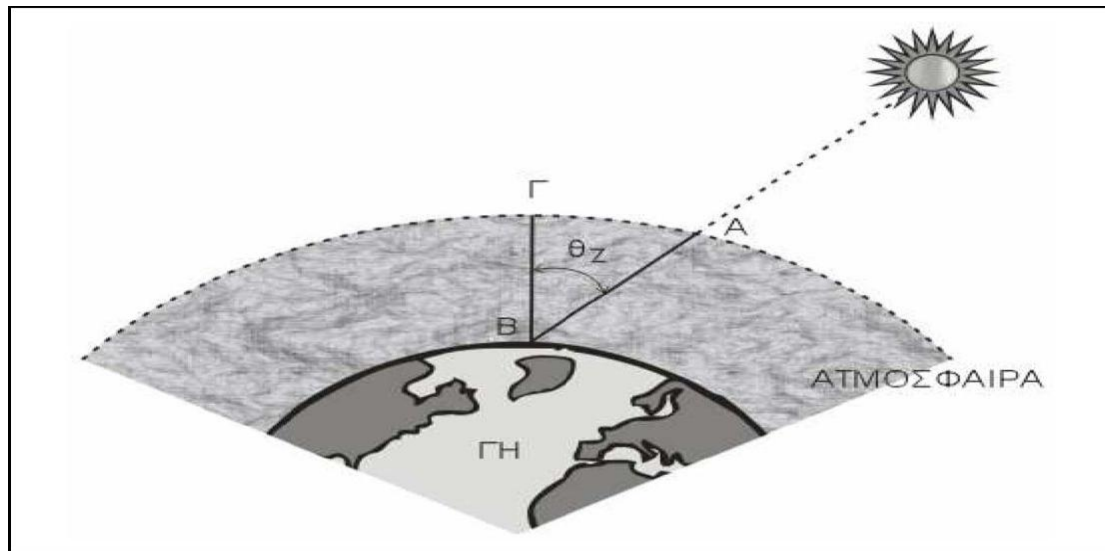


**Σχ.4.3:** Εξάρτηση της παραγόμενης ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου από την τάση σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Κάποια σημαντικότερα στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητο να αναφερθούν σ'αυτό το σημείο χωρίς να γίνει αναφορά σε πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις καθώς επηρεάζουν άμεσα και σε μεγάλο βαθμό την απόδοση του πάρκου σε ισχύ και ενέργεια και θα εμφανιστούν ως πιθανή παράγοντες παρεμβολής στα πραγματικά δεδομένα όπως είναι φασματική μάζα αέρα(AM, Air Mass), οι ανήλιες μέρες, οι θεωρητική και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στο έδαφος επηρεάζεται από το μήκος της ατμόσφαιρας που διαπερνά. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαδρομή των ηλιακών ακτινών στην ατμόσφαιρα τόσο μειωμένη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεγαλύτερη διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας για να φθάσει στην επιφάνεια της γης είναι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα. Για την μείωση αυτή της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος της σχετικής μάζας του αέρα ή απλά όπως συνηθίζεται μάζα του αέρα. Μάζα του αέρα ( $m$ ) συχνά χρησιμοποιείται και ο συμβολισμός AM από τα αρχικά του Air Mass, ορίζεται ο λόγος της μάζας της αερίου στήλης της διαδρομής των ηλιακών ακτινών, για ανέφελο ουρανό, προς την αντίστοιχη μάζα για κατακόρυφο ήλιο (Σχ. 4.4). Όταν η ζενίθια γωνία του ήλιου δε έχει μεγάλες τιμές και αν δεν ληφθεί υπ' όψιν η καμπυλότητα της γης και η διάθλαση, που επηρεάζει ελαφρά το μήκος της πλάγιας διαδρομής AB, τότε το τόξο AB μπορεί να θεωρηθεί ευθύγραμμο τμήμα και κατά συνέπεια το τρίγωνο ABΓ ορθογώνιο. Οπότε ο λόγος των αντίστοιχων μαζών θα είναι και ο λόγος των διαδρομών AB προς ΒΓ και κατά συνέπεια η μάζα του αέρα ( $m$ ) θα εξαρτάται από τη ζενίθια γωνία του ήλιου  $\theta_z$ , οπότε:

$$m = \frac{1}{\cos\theta_z}$$



Σχ.4.4 :Μάζα του αέρα (AM)

Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισής του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η **θεωρητική ηλιοφάνεια**, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η **μέση πραγματική ηλιοφάνεια** που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, **ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα**, καθώς και των **ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας**.

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.5. Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης, το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης καταγράφεται σε μία πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.



**Σχ.4.5:** Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια μιας ημέρας

#### 4.5 Ειδικό λογισμικό για την απεικόνιση των παραγόντων και της παραγόμενης ισχύος

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας αναφέρεται στους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ-ενέργεια στο πάρκο του κεφαλαίου 2 και δευτερευόντως σε κάθε άλλο Φ/Β πάρκο που διαθέτει τέτοια δεδομένα. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.2, οι παράγοντες αυτοί είναι πολλοί και λειτουργούν αθροιστικά. Παρόλα αυτά εξέχοντα ρόλο σ'όλους αυτούς εμφανίζουν η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία και γι'αυτό το λόγο θα τους δοθεί και η μέγιστη βαρύτητα. Ένας επιπλέον λόγος που γίνεται αυτή η επιλογή είναι και η δυνατότητα δεδομένων που δίνει το προς μελέτη πάρκο του κεφαλαίου 2 καθώς διαθέτει ακριβή δεδομένα μέσω αισθητήρων μόνο για τους 2 παραπάνω παράγοντες. Η δυνατότητα δίνεται μέσω **αισθητήρα θερμοκρασίας**(εγκατεστημένου στο Φ/Β πάρκο) με διπλή μέτρηση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-πλαισίων και ενός **οργάνου μέτρησης ακτινοβολίας-πυρανόμετρου**. Τα δεδομένα αυτά στέλνονται άμεσα σε μια ειδική συσκευή(sunny sensor box-web box) που τα αποθηκεύει και σε εύλογο χρονικό διάστημα τα στέλνει ασύρματα σ'ένα κεντρικό server για διαδικτυακή παρατήρηση.

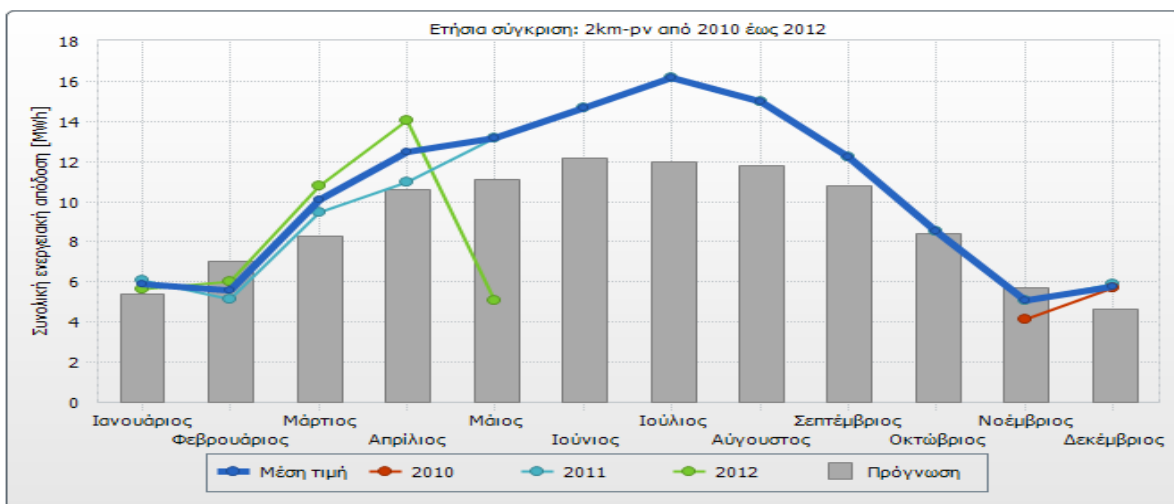
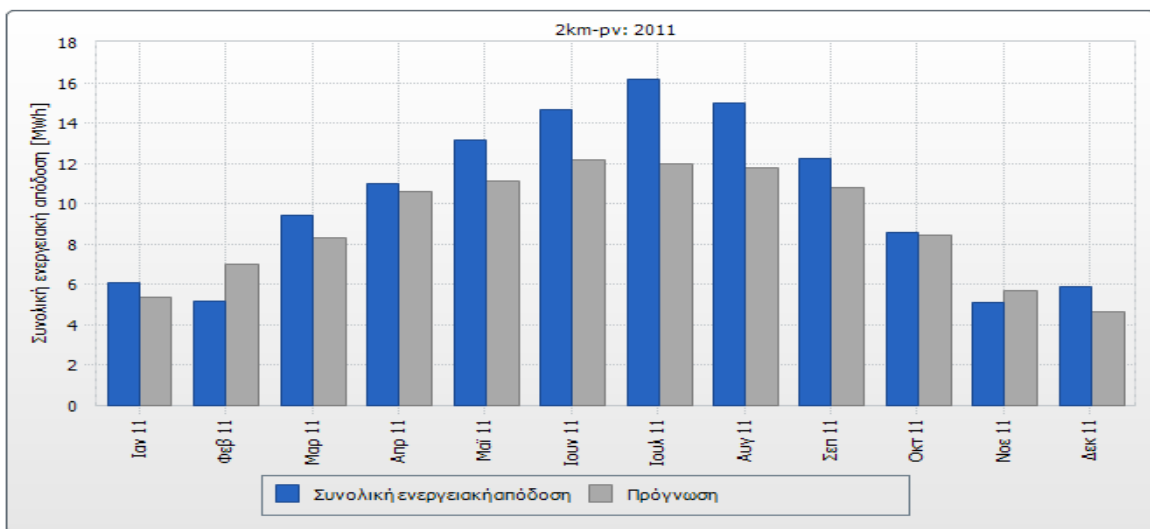
Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί για να σταλούν κ.λ.π, καθορίζονται απ'το χειριστή που επεξεργάζεται τις ρυθμίσεις στο κεντρικό Η/Υ. Για να εμφανιστούν τα δεδομένα με κάποια δομή διαδικτυακά και με δυνατότητα

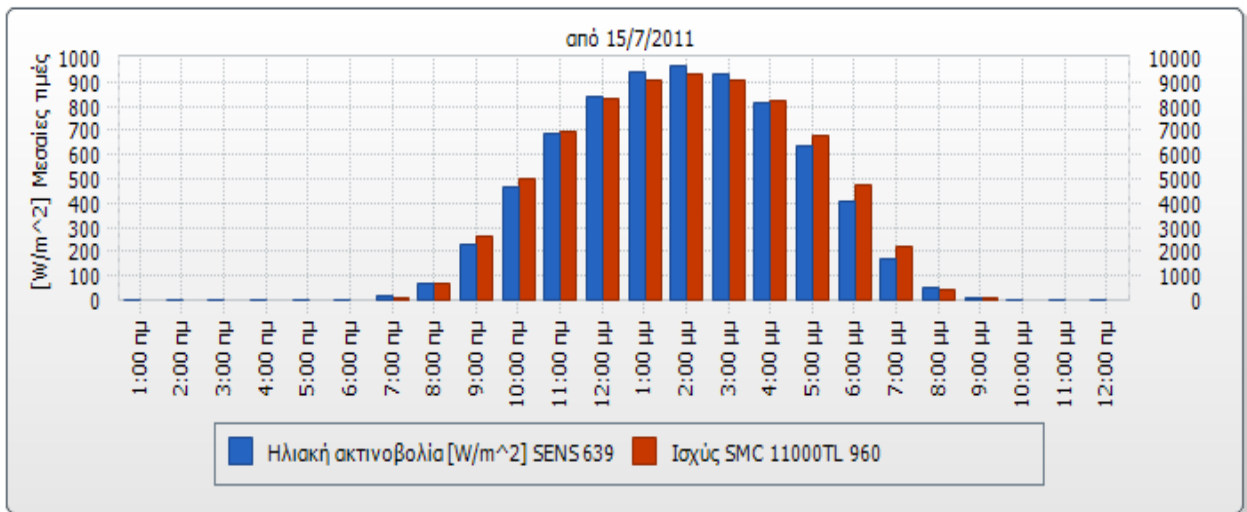


στατιστικής παρατήρησης ανά τακτά χρονικά διαστήματα, η εταιρεία SMA κατασκεύασε ένα λογισμικό ώστε όλα τα παραπάνω να γίνουν εφικτά. Η κατασκευή αυτού του λογισμικού και η δυνατότητα επεξεργασίας των δεδομένων από τον οποιοδήποτε στην ιστοσελίδα [www.sunnyportal.com](http://www.sunnyportal.com) επιτρέπει στον παραγωγό ή σε κάποιο ενδιαφερόμενο να έχει πρόσβαση σ'αυτά και να κάνει τη μελέτη του.

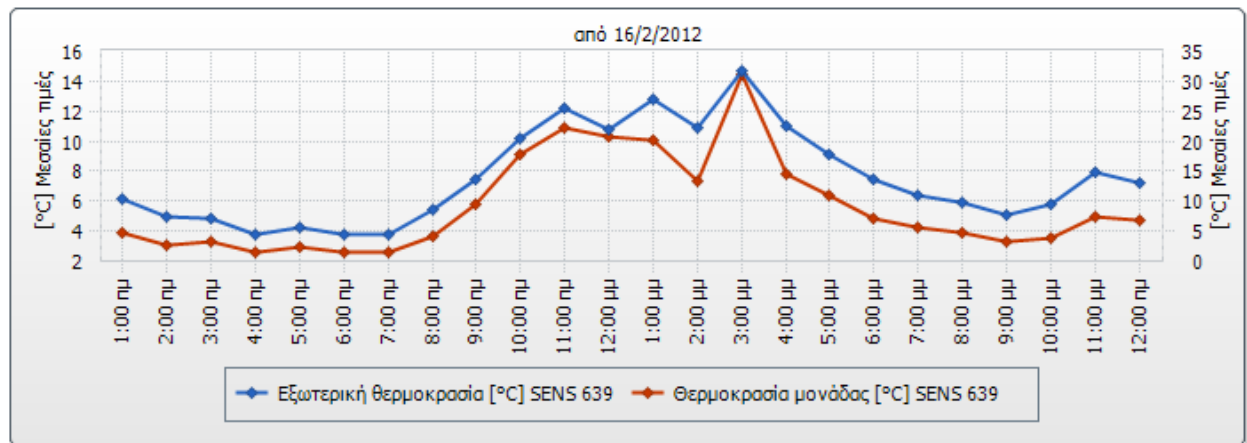
Το Sunny portal επιτρέπει την παρατήρηση της παραγόμενης ισχύος και ενέργειας ανά ώρα, ημέρα, μήνα ή έτος και ανά αναστροφέα, μία στατιστική σύγκριση της πραγματικής ενέργειας σε σχέση με μία εκτιμητέα ανά μήνα από κάποιο ειδικό λογισμικό(π.χ. PVSyst), την καταγραφή όλων των πιθανών που μπορούν να συμβούν στην εγκατάσταση(π.χ. απώλεια δικτύου, βλάβη ενός αναστροφέα ή του οργάνου μετάδοσης των δεδομένων κ.λ.π), την αποφυγή ρύπανσης από το CO<sub>2</sub>, την έως τώρα οικονομική απόδοση σε ευρο, την εμφάνιση των παραγόντων σε διαγράμματα και τη δυνατότητα ρύθμισής τους και άλλα πολλά. Το πιο σημαντικό, όμως, σ'αυτό το λογισμικό είναι η δυνατότητα που δίνει στον παραγωγό ενός Φ/Β πάρκου να έχει πλήρη εικόνα-και σε οποιαδήποτε στιγμή το θελήσει- για την ενεργειακή και οικονομική του απόδοση χωρίς να χρειάζεται να έχει εξειδικευμένες γνώσεις περί Φ/Β εγκαταστάσεων.

Τα παρακάτω διαγράμματα εμφανίζονται στο Sunny portal λογισμικό και είναι ενδεικτικά παραδείγματα από αυτά που μπορεί το ίδιο το λογισμικό να αποδώσει στο χρήστη.





15/7/2011



16/2/2012

**Σχ.4.6 :** Διαγράμματα από πραγματικές μετρήσεις στο πάρκο 2km-ρν μέσω του Sunny portal

#### 4.6 Μελέτη της παραγόμενης ενέργειας του Φ/Β πάρκου σε διάστημα ενός έτους σε σχέση με τους παράγοντες που την επηρεάζουν

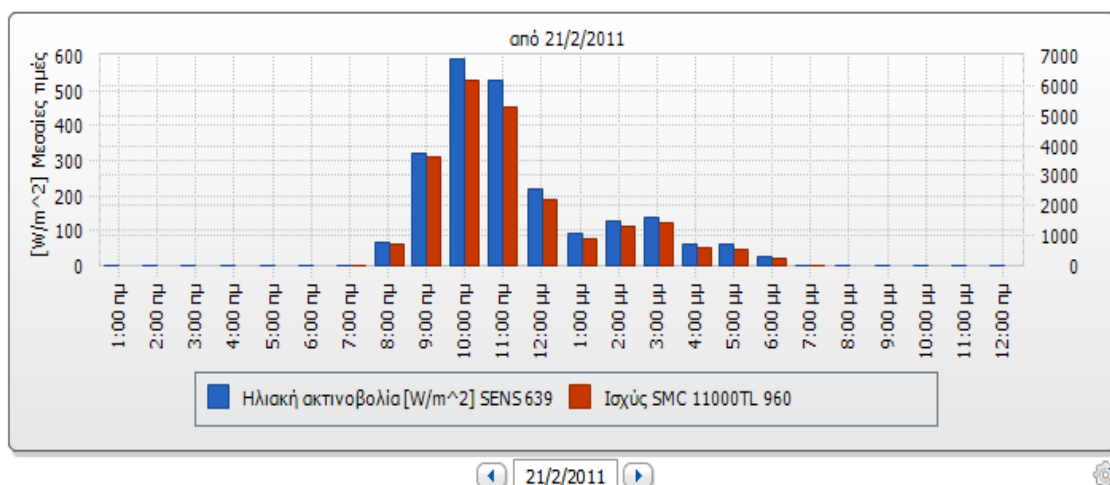
Για τη μελέτη των παραπάνω παραμέτρων θα χρησιμοποιήσουμε χρονικό διάστημα 1 έτους(02/2011-02/2012) γιατί αφενός μεν θα έχουμε σύγκριση δεδομένων μεγάλου χρονικού διαστήματος και αφετέρου έχει παρατηρηθεί από άλλες τέτοιες μελέτες(μελετητών της εταιρείας SMA) ότι αυτό το διάστημα είναι ιδανικό για τη δημιουργία λογικών συμπερασμάτων που αφορούν το συντελεστή απόδοσης μιας Φ/Β εγκατάστασης και άρα το ποσοστό επιρροής για κάθε ένα από τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την παραγόμενη ενέργεια.

Η παραγόμενη ενέργεια σε σύγκριση με την παραγόμενη ισχύ έχει το πλεονέκτημα ότι είναι εκείνο το μέγεθος που μετράται απ'τον καταναλωτή(ΔΕΗ) και άρα είναι άμεσα συνδεδεμένο με την οικονομική απόδοση της επένδυσης απ'την πλευρά του καταναλωτή. Η διαφορά που εμφανίζεται μεταξύ ισχύς και ενέργειας είναι ο χρόνος που διαρκεί η παραγωγή καθώς λιγότερη ισχύ σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια μπορεί να αποδώσει περισσότερη ενέργεια και άρα καλύτερη οικονομική απόδοση από μία μεγαλύτερη ισχύ σε μικρό χρονικό διάστημα μέσα σε μία ημέρα. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουμε αρκετή παραγωγή το καλοκαίρι σε σχέση με το χειμώνα καθώς εκτός απ'την ένταση της ακτινοβολίας εμφανίζεται και το φαινόμενης μεγαλύτερης χρονικής εμφάνισης του ήλιου(περισσότερες ώρες ηλιοφάνειας).

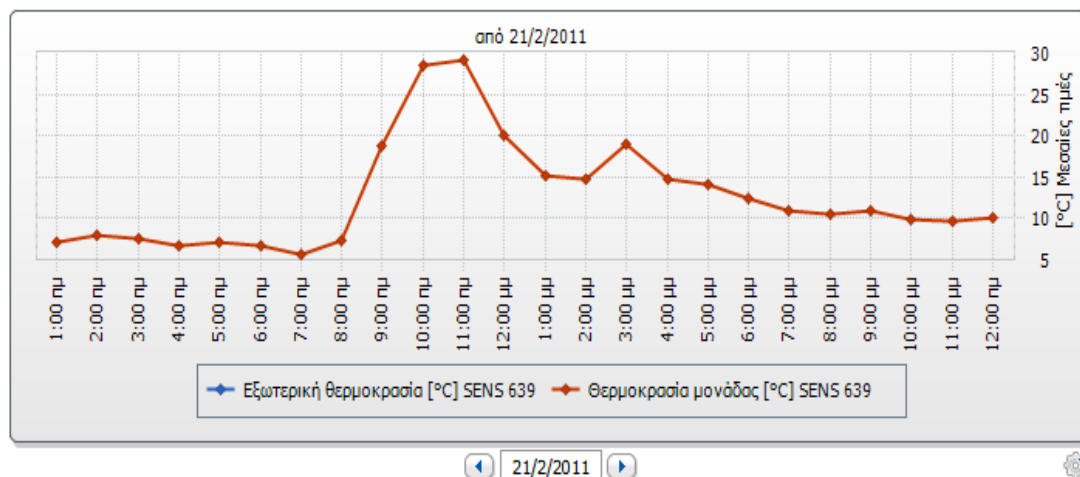
Για να μη γίνει μελέτη κάθε μιας μέρας ξεχωριστά-κάτι που θα ήταν χωρίς ουσία και κουραστικό για τον αναγνώστη- επιλέχθηκε να γίνει μελέτη **δύο ημερών από κάθε μήνα** οι οποίες μετά από ανάλυση των διαγραμμάτων θα φαίνονται ως οι πλέον αντιπροσωπευτικές για να εξαχθεί ένα λογικό και χωρίς μεγάλο στατιστικό λάθος συμπέρασμα.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω και ξεκινώντας από το Φεβρουάριο του 2011, προκύπτει ότι οι πιο ενδεικτικές μέρες είναι οι **21/2** και **23/2**.

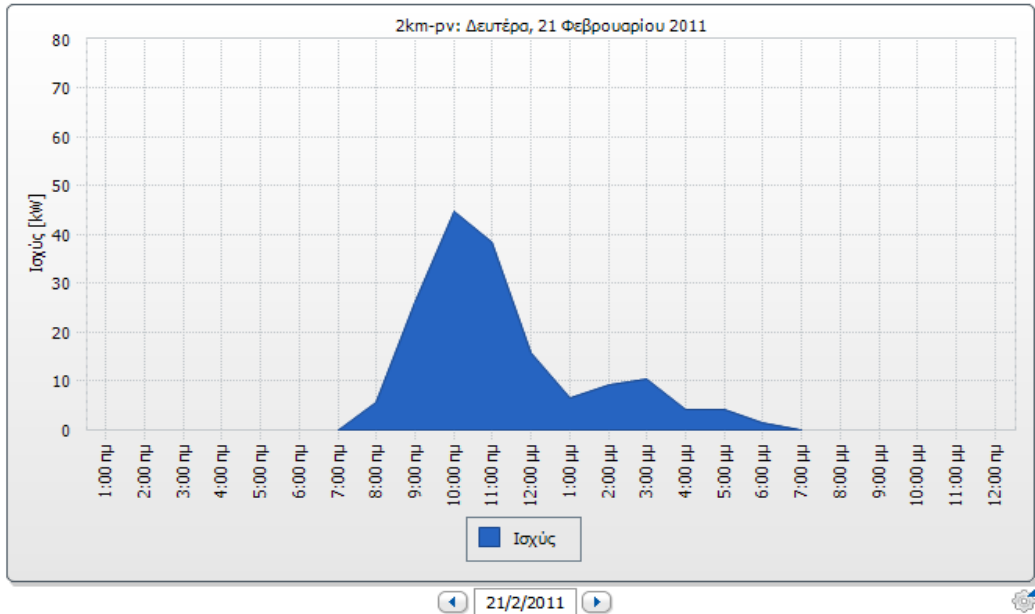
- **Φεβρουάριος 2011**



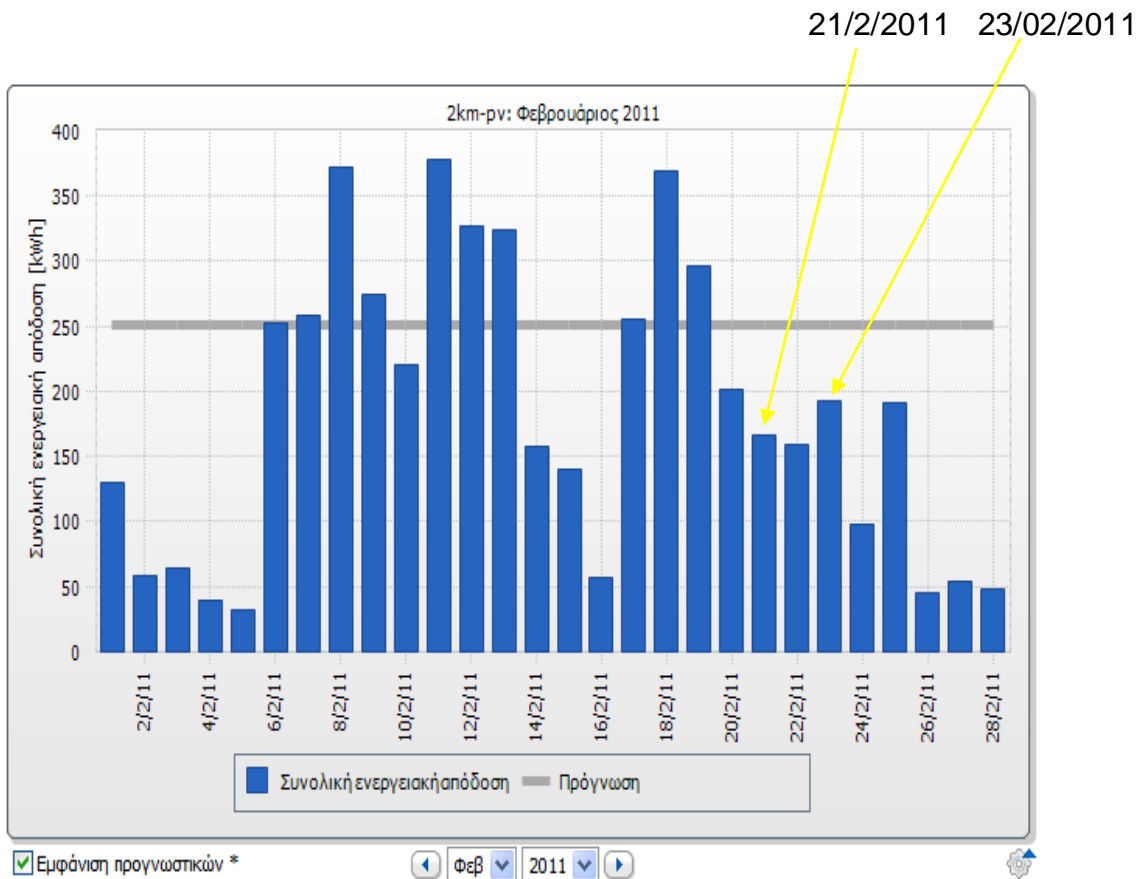
**Σχ.4.6.1:** Διάγραμμα ακτινοβολίας 21/02 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



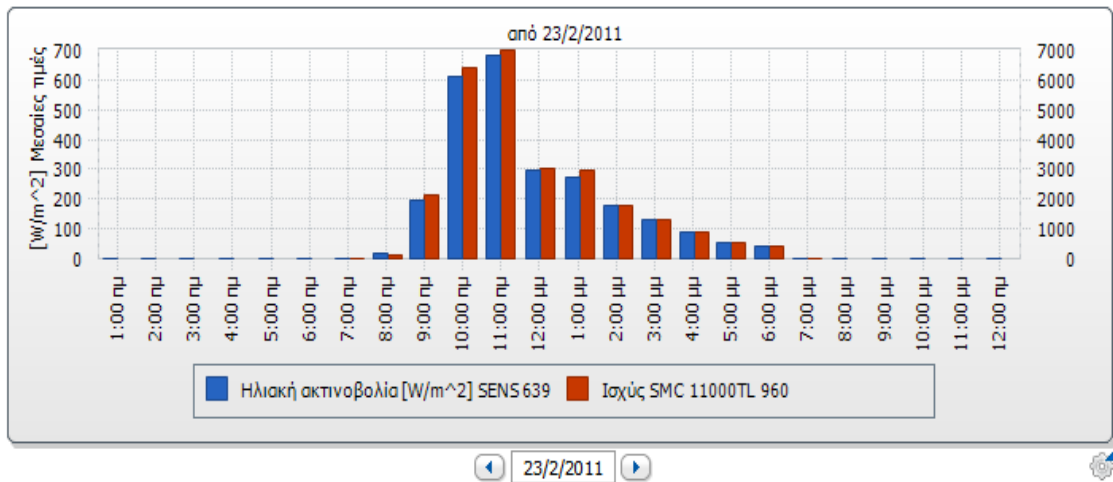
**Σχ.4.6.2:** Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 21/02 ανά ώρα



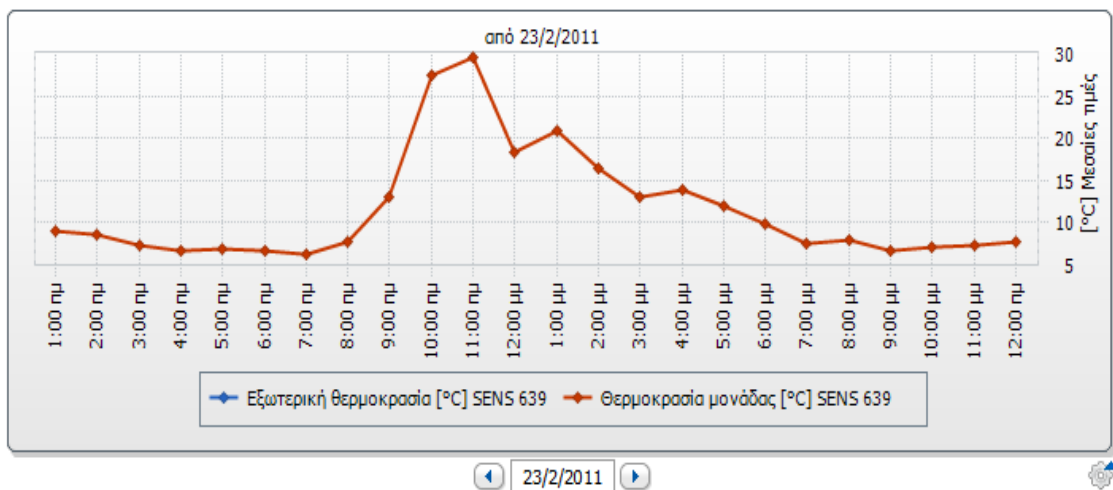
**Σχ.4.6.3:** Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(21/02/2011)



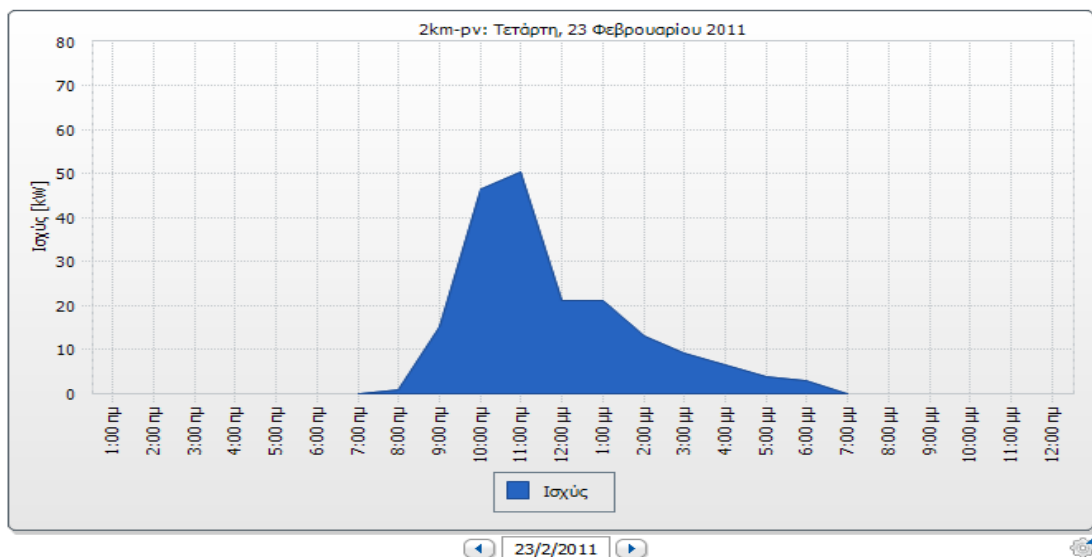
**Σχ.4.6.4:** Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Φεβρουαρίου, ενέργεια(165KWh-21/02) και (195KWh-23/02)



Σχ.4.6.5: Διάγραμμα ακτινοβολίας 23/02 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



Σχ.4.6.6: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 23/02 ανά ώρα



Σχ.4.6.7: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(23/02/2011)

Ο λόγος που έγινε αυτή η επιλογή των ημερών έγκειται στο γεγονός ότι σ'αυτές (21/02 και 23/02) εμφανίζονται έντονες και απότομες αλλαγές τόσο στη θερμοκρασία όσο και στην ακτινοβολία με αντίκτυπο στην ισχύ και άρα στην ενέργεια όπως φαίνεται από τα διαγράμματα. Συγκεκριμένα, στις 21/02/2011, όσον αφορά την ακτινοβολία εμφανίζεται μία απότομη αύξηση από τις 8π.μ-10π.μ από  $80 \text{ W/m}^2$  στα  $580 \text{ W/m}^2$  και μία σημαντική μείωση από 11π.μ-12μ.μ με ένταση από  $520 \text{ W/m}^2$  σε  $220 \text{ W/m}^2$ . Η διάρκεια της ακτινοβολίας καθόλη τη διάρκεια της ημέρας είναι περίπου 10 ώρες. Για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος πάρθηκαν δεδομένα από ένα άλλο πάρκο που βρίσκεται σε κοντινή περιοχή με το πάρκο που μελετάμε και παρουσιάζονται στους ακόλουθες πίνακες:

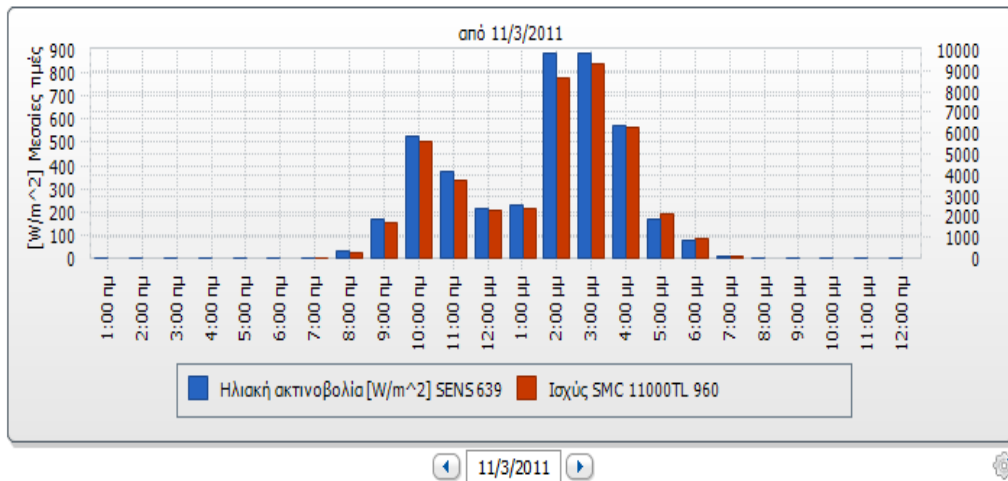
Χρόνος(ώρες)- 21/02	Θερμοκρασία( $^{\circ}\text{C}$ )- 21/02	Χρόνος(ώρες)- 23/02	Θερμοκρασία( $^{\circ}\text{C}$ )- 23/02
8π.μ	12	8π.μ	11
9π.μ	16	9π.μ	16
10 π.μ	17	10 π.μ	15
11 π.μ	18	11 π.μ	15
12 π.μ	18	12 π.μ	17
1 π.μ	17	1 π.μ	16
2 π.μ	16	2 π.μ	15
3 π.μ	15	3 π.μ	13
4 π.μ	15	4 π.μ	14
5 π.μ	15	5 π.μ	15

Στις 21/02 παρατηρείται μία αύξηση θερμοκρασίας στα πλαίσια από  $7^{\circ}\text{C}$  σε  $28^{\circ}\text{C}$  απ'τις 8π.μ-10π.μ παρότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος δίνει μία αύξηση 4 βαθμών. Απ'τις 11π.μ-1μ.μ παρατηρείται μία μείωση από  $29^{\circ}\text{C}$  σε  $15^{\circ}\text{C}$  η οποία ακολουθεί πλήρως την σημαντική μείωση της έντασης της ακτινοβολίας που αναφέρθηκε παραπάνω.

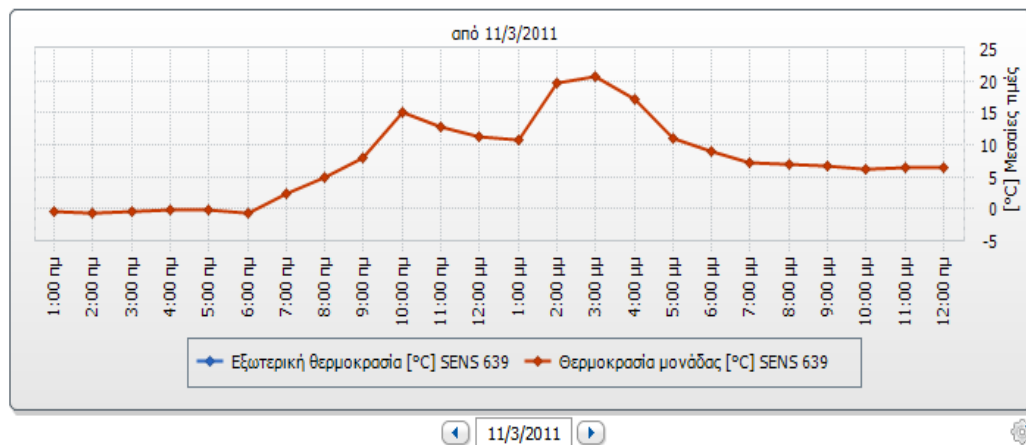
Στις 23/02 εμφανίζεται μία απότομη αύξηση στην ηλιακή ακτινοβολία από τις 9π.μ-11π.μ από  $200\text{W/m}^2$  στα  $700\text{W/m}^2$  και μέσα σε μία ώρα(11π.μ-12μ.μ) μία μείωση από  $700\text{W/m}^2$  στα  $300\text{W/m}^2$ . Για τη θερμοκρασία εμφανίζεται το ίδιο φαινόμενο με τις 21/02 με απότομη αύξηση νωρίς το πρωί και μεγάλη μείωση το μεσημέρι.

Όσον αφορά την ακτινοβολία, η απότομη αύξηση το πρωί δεν εμφανίζει τόσο μεγάλο ενδιαφέρον. Ωστόσο η απότομη και σημαντική μείωση που παρατηρείται κατά το διάστημα 11π.μ-1μ.μ μπορεί να αποφασίσει κάποιος ότι οφείλεται σε ξαφνική εμφάνιση κάποιων σύννεφων(συχνό φαινόμενο στην περιοχή κατά τη διάρκεια του χειμώνα) που σκιάζουν τα πλαίσια. Για τη θερμοκρασία των πλαισίων, είναι λογική η μείωση ή η αύξηση τις περιόδους που αυξομειώνεται η ένταση της ακτινοβολίας καθώς θερμαίνει ή ψύχει τα πλαίσια παρότι δεν υπάρχει σημαντική αυξομείωση για τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που επηρεάζεται εκτός από τον ήλιο και απ'την ένταση των ανέμων που μπορεί να παραμένουν σταθεροί και ίδιας κατεύθυνσης για μεγάλο μέρος της ημέρας.

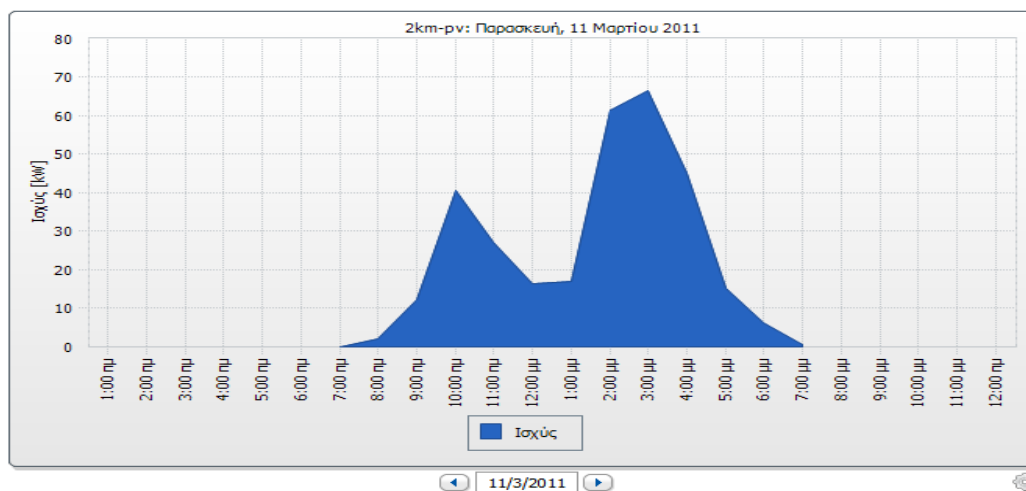
- Μάρτιος 2011



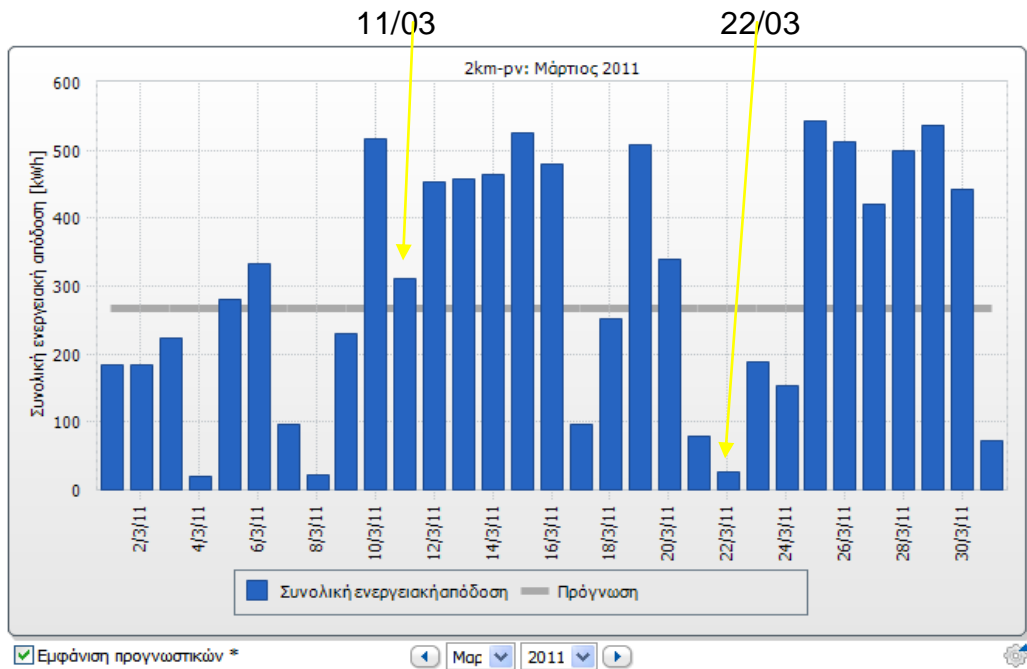
Σχ.4.6.8: Διάγραμμα ακτινοβολίας 11/03 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



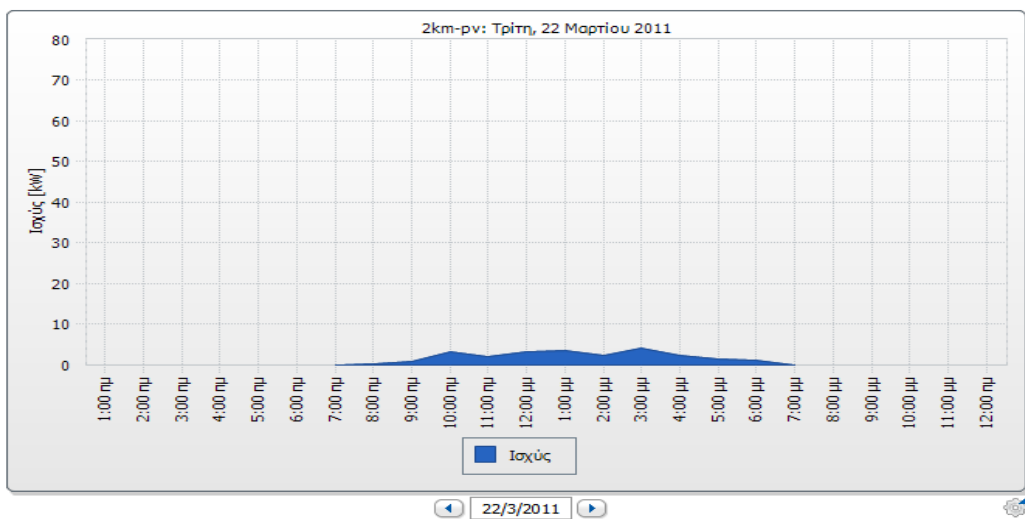
Σχ.4.6.9: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 11/03 ανά ώρα



Σχ.4.6.10: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(11/03/2011)

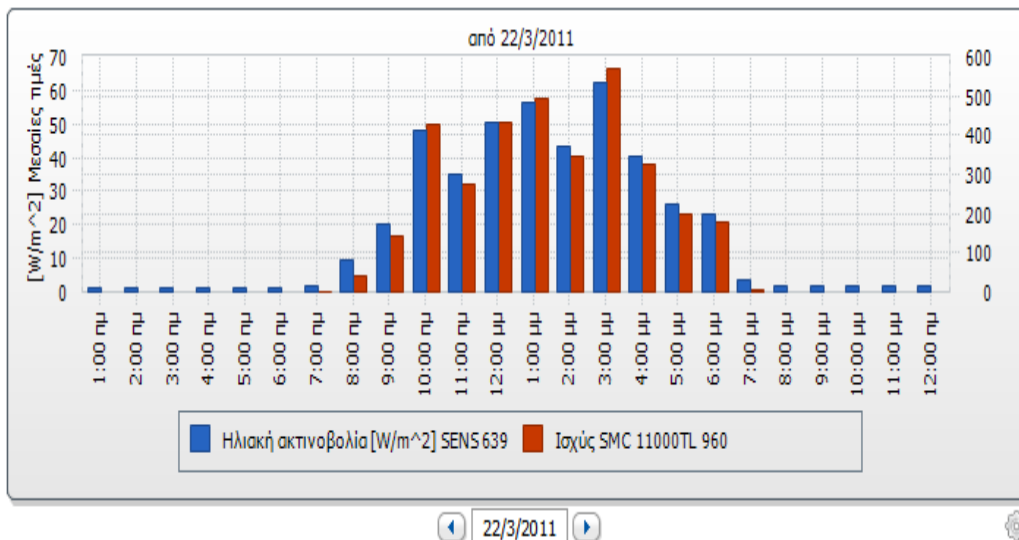


**Σχ.4.6.11:** Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Μαρτίου, ενέργεια(310KWh-11/03) και (25KWh-22/03)

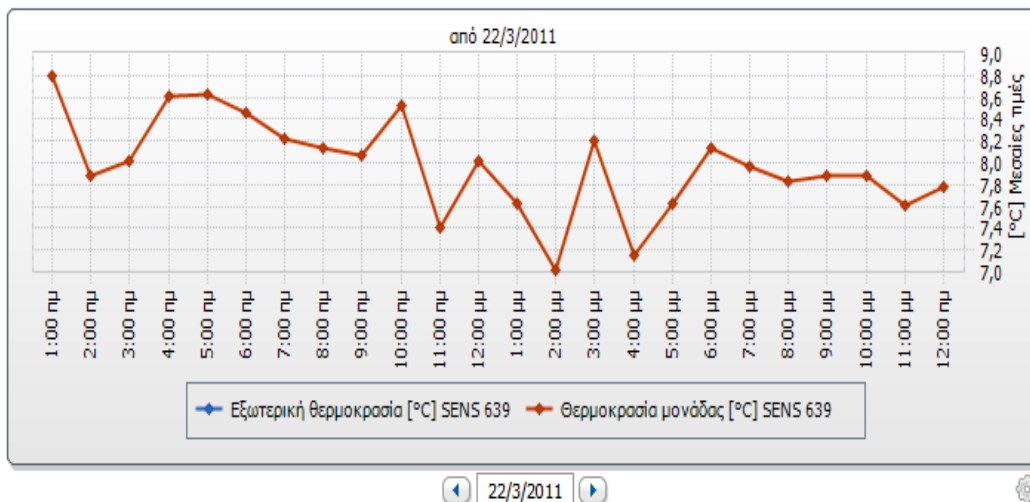


**Σχ.4.6.12:** Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(22/03/2011)





Σχ.4.6.13: Διάγραμμα ακτινοβολίας 22/03 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



Σχ.4.6.14: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 22/03 ανά ώρα

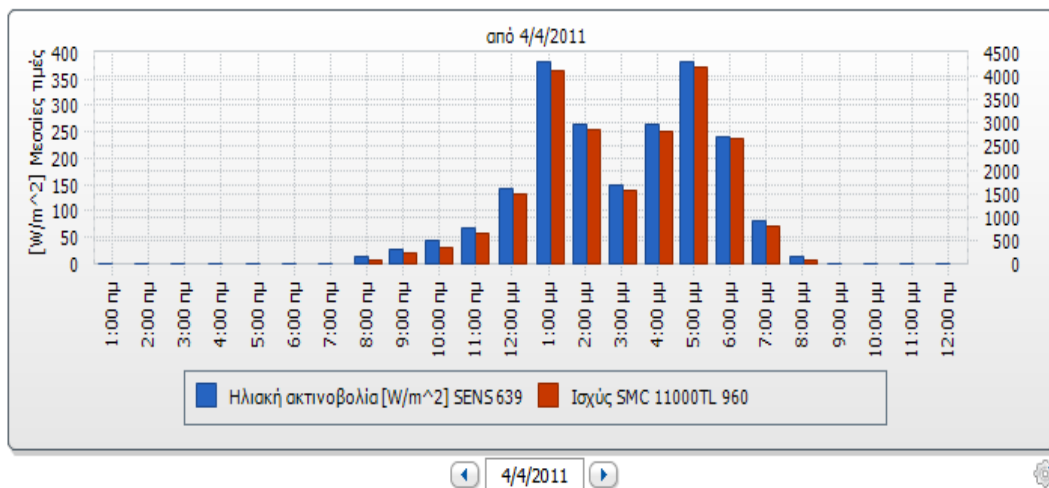
Το Μάρτιο επιλέχθηκαν δύο μέρες που μπορεί να μην είναι οι πιο αντιπροσωπευτικές αλλά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για διαφορετικούς λόγους η κάθε μία.

Για την 11/03 παρατηρείται μία αυξομείωση της ακτινοβολίας τις πρωινές ώρες έως νωρίς το μεσημέρι(9π.μ.-1μ.μ) αλλά το πιο αξιοσημείωτο σημείο είναι η πολύ μεγάλη και απότομη αύξησή της από τις 1μ.μ-2μ.μ, δηλαδή αύξηση από 200 W/m<sup>2</sup> σε 900 W/m<sup>2</sup> μέσα σε μία μόλις ώρα. Ο λόγος εμφάνισης αυτής της αύξησης οφείλεται με μεγάλη πιθανότητα στην ξαφνική μετακίνηση νεφών από την περιοχή του πάρκου καθώς φαινόμενο σκίασης από κάποιο άλλο παράγοντα είναι πολύ σπάνιο αυτή τη χρονική περίοδο του μεσημεριού. Με την μετακίνηση των σύννεφων, η ένταση σχεδόν πενταπλασιάστηκε καθώς τα πάνελ έπαψαν πια να σκιάζονται.

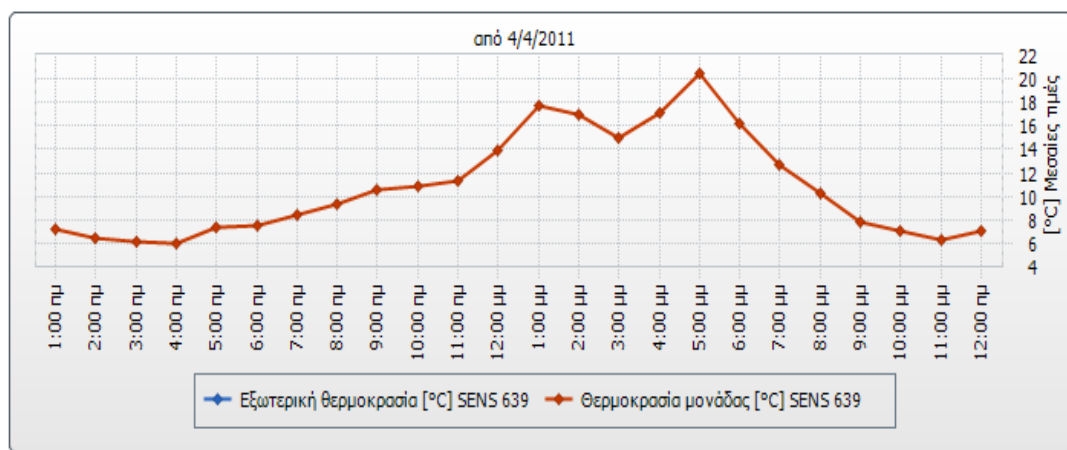
Όσον αφορά τη θερμοκρασία εκείνη την ημέρα, εμφανίζεται παράλληλα με την αύξηση της ακτινοβολίας από τις 1μ.μ-2μ.μ. μία αύξηση-διπλασιασμός της θερμοκρασίας των πλαισίων από 10°C σε 20°C, γεγονός που φαίνεται λογικό.

Όσον αφορά τις 22/03, μπορεί κάποιος να πει ότι δεν είναι και η πιο αντιπροσωπευτική εκείνου του μήνα καθώς δεν παρατηρούνται απότομες και τόσο σημαντικές μεταβολές. Ωστόσο, εκείνη η μέρα επιλέχθηκε για μελέτη καθώς ενώ την προηγούμενη μέρα(21/03) η παραγωγή ήταν φυσιολογική για την εποχή, κάτι άλλαξε την παραγωγή αυτή τη μέρα(22/03). Συγκεκριμένα, η ένταση της ακτινοβολίας δεν ξεπέρασε τα  $65 \text{ W/m}^2$  (σχεδόν μηδενική για παραγωγή από τα πάνελ) όλη τη μέρα(σχ.4.6.13), η θερμοκρασία τους  $9^{\circ}\text{C}$  και η ισχύ τα  $5\text{KW}$ . Η πιο λογική και εμφανής αιτία γι'αυτό το φαινόμενο φαίνεται πάλι να είναι η παρουσία σύννεφων πάνω απ'το πάρκο με αποτέλεσμα ο ήλιος να μην εμφανίζεται σχεδόν καθόλου και αφήνοντας τη θερμοκρασία σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

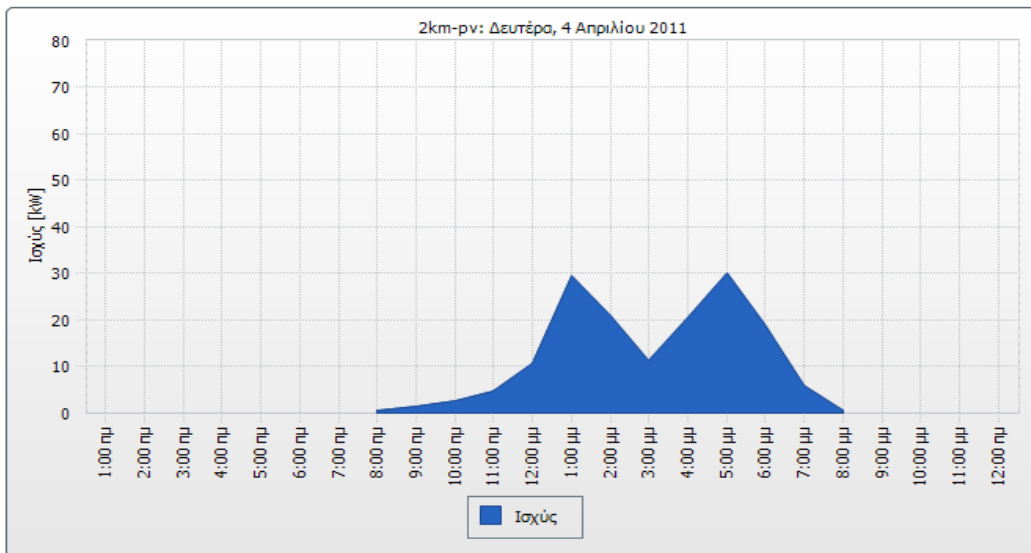
- **Απρίλιος**



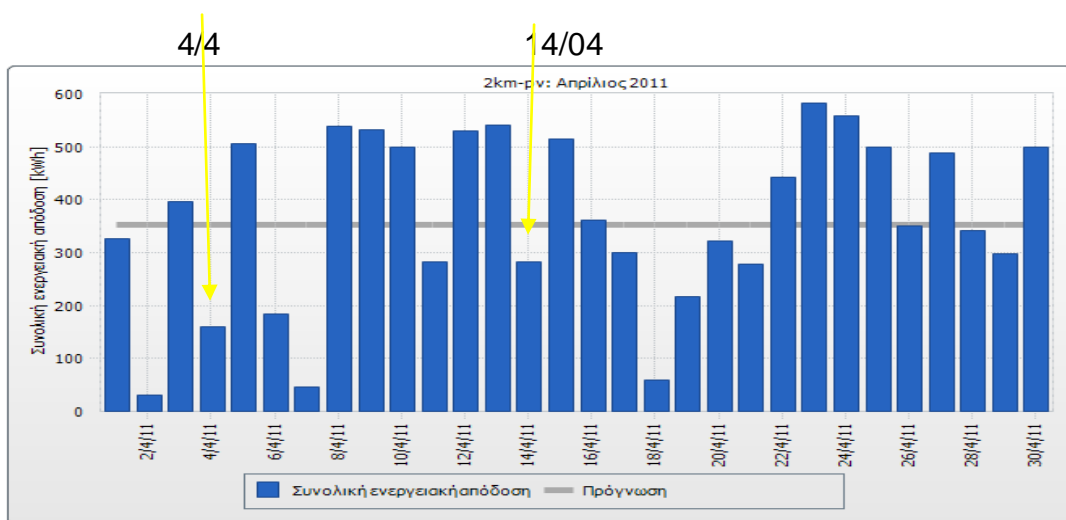
Σχ.4.6.15: Διάγραμμα ακτινοβολίας 4/4 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



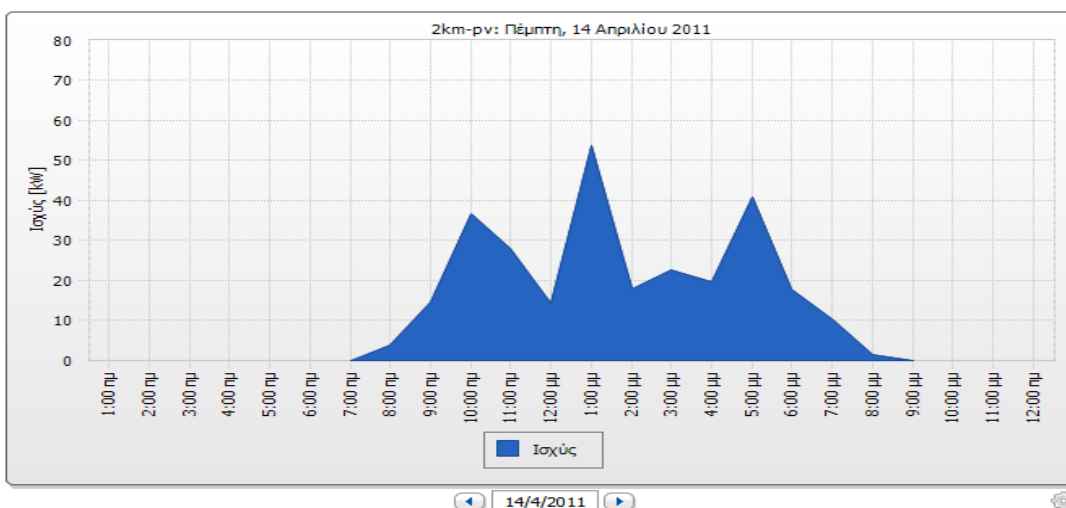
Σχ.4.6.16: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 4/4 ανά ώρα



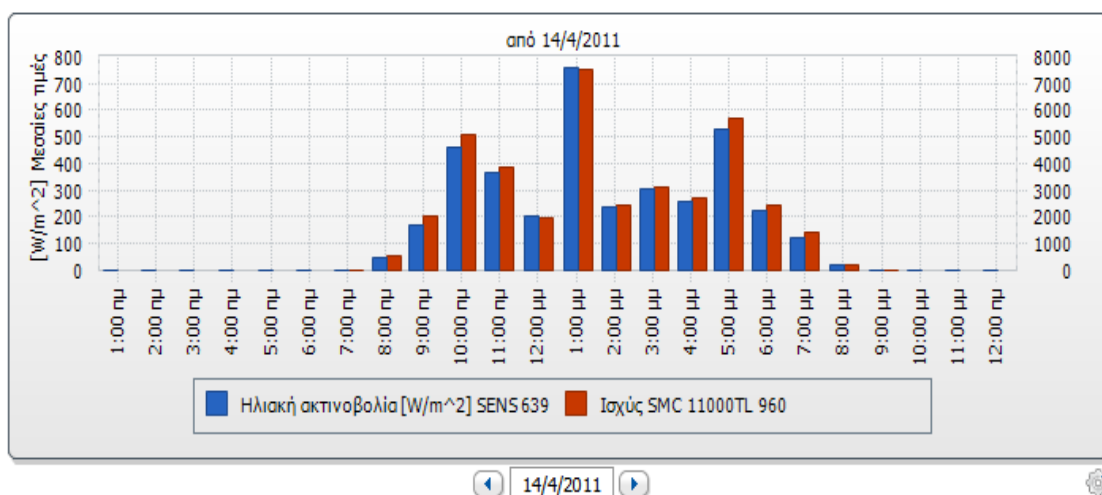
Σχ.4.6.17: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(4/4/2011)



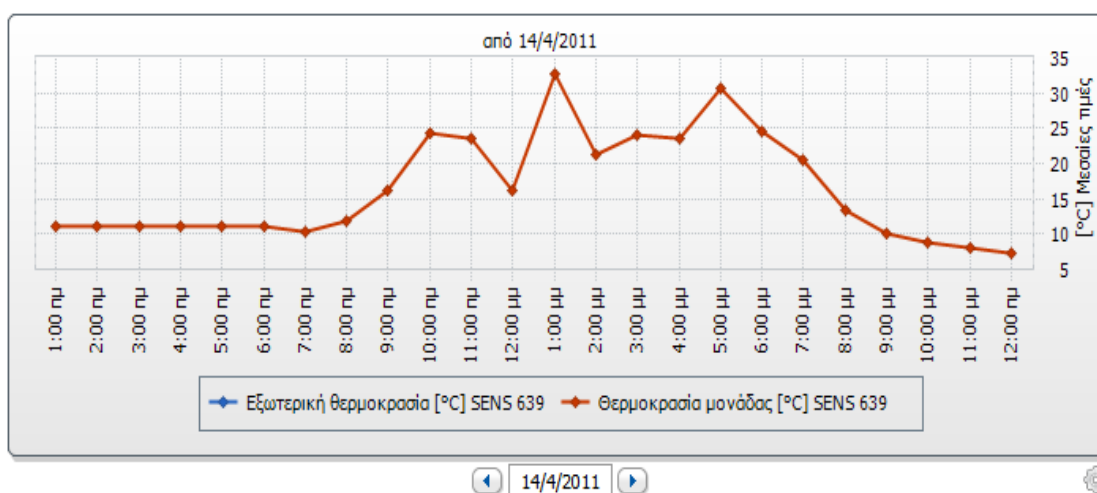
Σχ.4.6.18: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Απριλίου, ενέργεια(170KWh-4/4) και (285KWh-14/4)



Σχ.4.6.19: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(14/04/2011)



Σχ.4.6.20: Διάγραμμα ακτινοβολίας 14/4 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



Σχ.4.6.21: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 14/4 ανά ώρα

Για τον μήνα Απρίλιο, εκτός απ'τις «αποδοτικές» μέρες που η καμπύλη ισχύος είναι ομοιόμορφη, διαλέχθηκαν δύο μέρες όπου το ενδιαφέρον εμφανίζεται κυρίως στη μεταβολή της ακτινοβολίας επηρεάζοντας άμεσα την παραγόμενη ισχύ-ενέργεια.

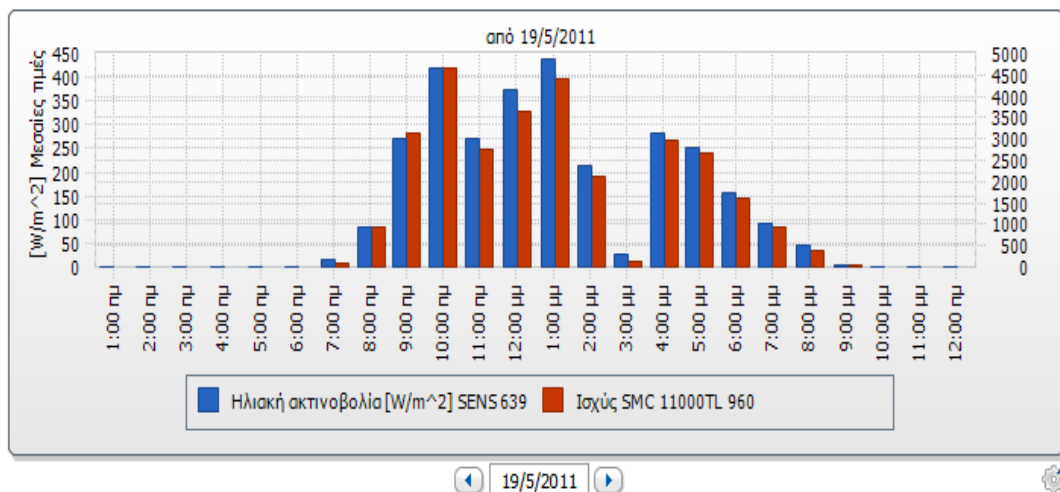
Συγκεκριμένα, στις 4/4 και ενώ η ηλιοφάνεια είναι μικρή μέχρι τις 12μ.μ., απότομα η ένταση μεταβάλλεται από 150 W/m<sup>2</sup> σε 380 W/m<sup>2</sup> στις 1μ.μ, αυξομειώνεται μέχρι τις 4μ.μ και μετέπειτα εμφανίζει πάλι ένα μέγιστο στα 380 W/m<sup>2</sup> στις 5μ.μ. όπου ούτως ή άλλως ο ήλιος έχει αρχίσει να χαμηλώνει αρκετά στον ορίζοντα. Η μετακίνηση των σύννεφων θα πρέπει να ήταν ταχύτατη δημιουργώντας σκιάσεις σε κάποιες απ'τις συστοιχίες με σύμμαχο την ταχύτητα του ανέμου που ήταν αισθητός εκείνη τη μέρα.

Η θερμοκρασία των πλαισίων, σύμφωνα με τον αισθητήρα, δεν μεταβλήθηκε σε μεγάλα επίπεδα(Σχ.4.6.16) καθώς κυμαινόταν από 16 °C σε 20 °C.

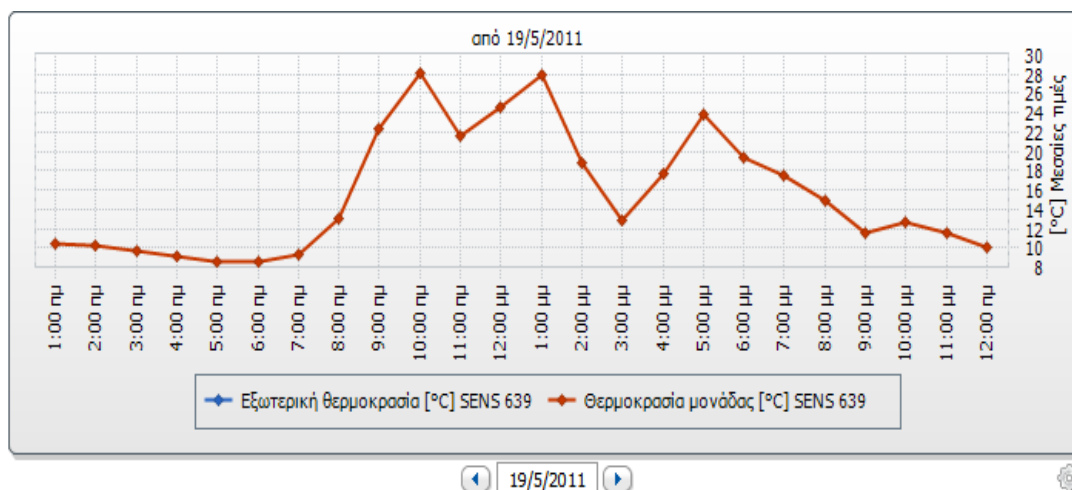
Για την ισχύ παρατηρείται μία αύξηση 300%(10KW σε 30KW) απ'τις 12μ.μ. έως τις 1μ.μ., το οποίο εξηγείται απ'την αύξηση του ρεύματος κατά 2.5 φορές(αύξηση της ακτινοβολίας) και απ'την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 4 βαθμούς Κελσίου(16°C σε 20°C) που αύξησε την τάση.

Στις 14/4, η μεταβλητότητα της ισχύς είναι αρκετά μεγάλη καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οφείλεται τόσο στην ακτινοβολία όσο και στη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, απ'τις 10π.μ.-12μ.μ έχουμε μία μείωση της ακτινοβολίας κατά 50%(από 450 W/m<sup>2</sup> σε 220 W/m<sup>2</sup>) και μία μείωση της θερμοκρασίας κατά 8 βαθμούς(25 σε 17). Η ισχύς σ'αυτό το χρονικό διάστημα έπεσε από 36KW στα 12KW, δηλ. μία μείωση κοντά στο 65%. Στις 1μ.μ εμφανίζεται μία «εντυπωσιακή» αύξηση από 200W/m<sup>2</sup> σε 750W/m<sup>2</sup>(370%) και η θερμοκρασία των πλαισίων εκτοξεύτηκε από 15 °C σε 33 °C(αύξηση 110%). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ισχύς να ανέβει από 12KW σε 55KW δηλαδή σχεδόν πενταπλασιάστηκε. Η τελευταία παρατήρηση οδηγεί και στο συμπέρασμα ότι αύξηση της ακτινοβολίας οδηγεί σε ανάλογη αύξηση του ρεύματος και η αύξηση της θερμοκρασίας σε αύξηση της τάσης εφόσον αυτή παραμένει σε φυσιολογικά για την εποχή επίπεδα.

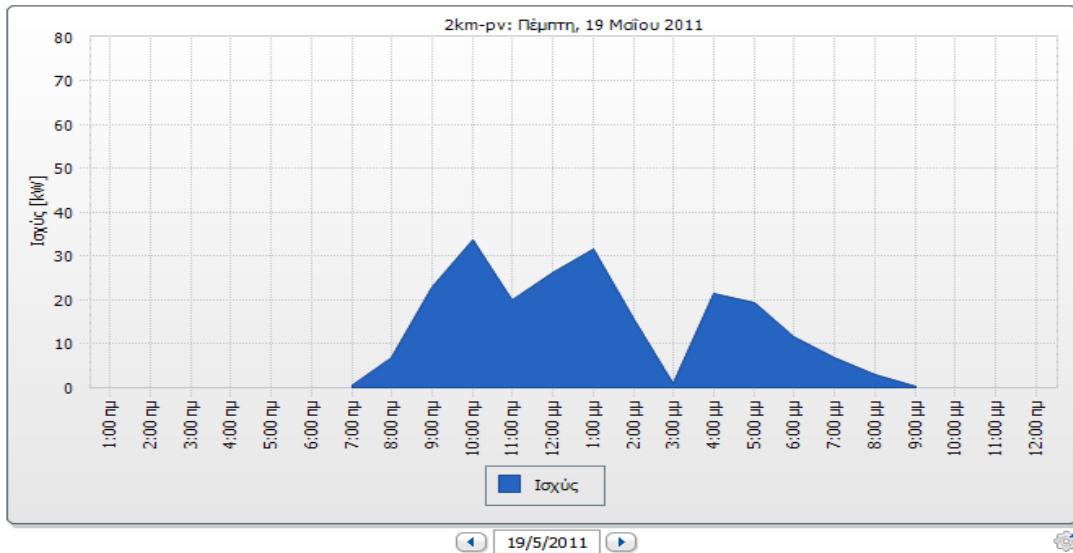
- Μάιος



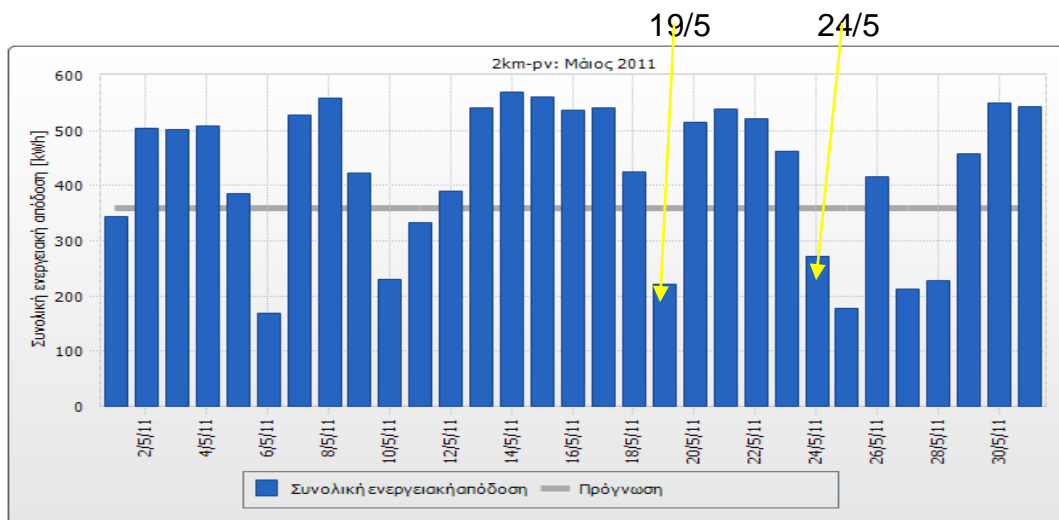
Σχ.4.6.22: Διάγραμμα ακτινοβολίας 19/5 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



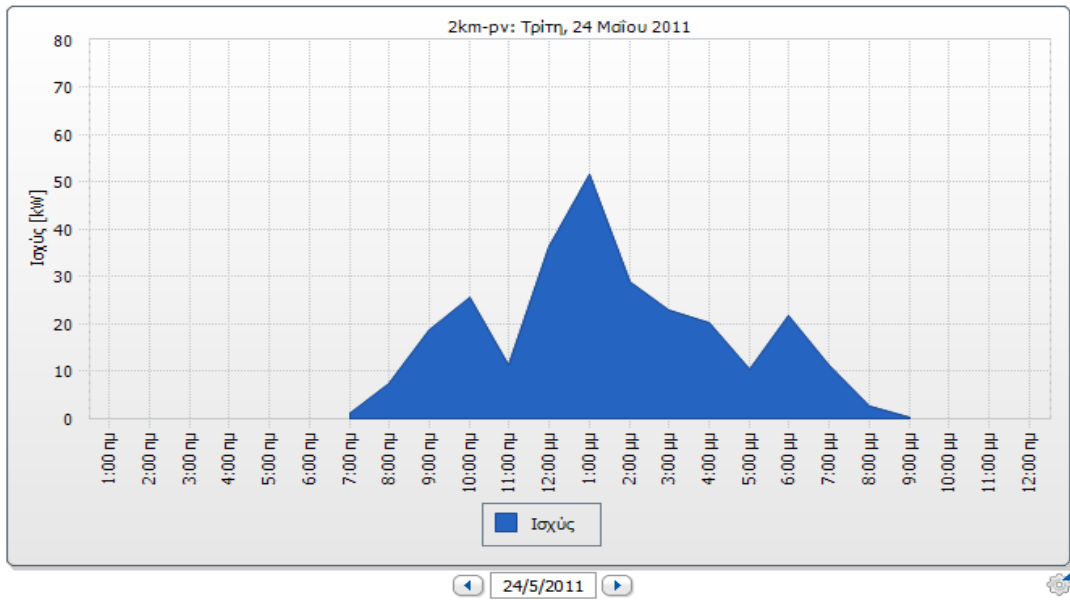
Σχ.4.6.23: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 19/5 ανά ώρα



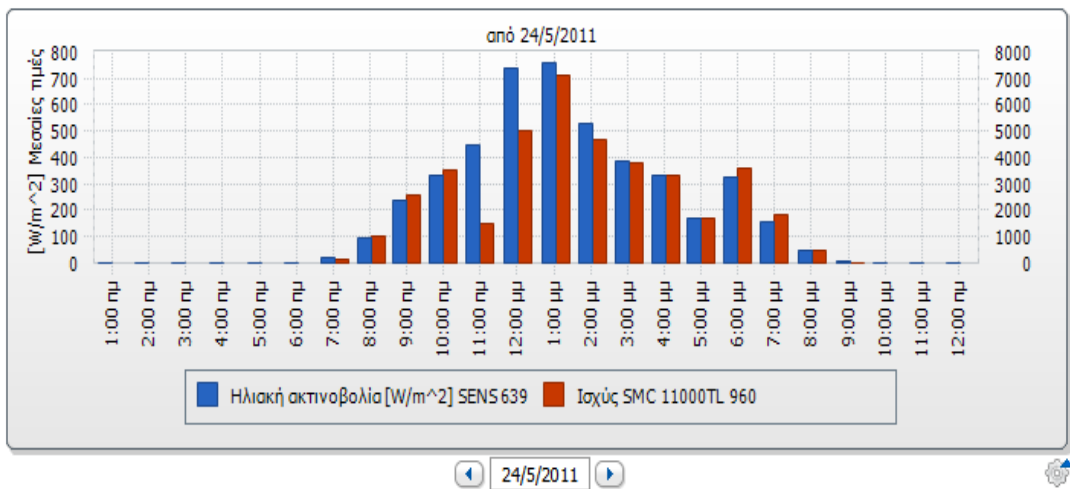
Σχ.4.6.24: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(19/05/2011)



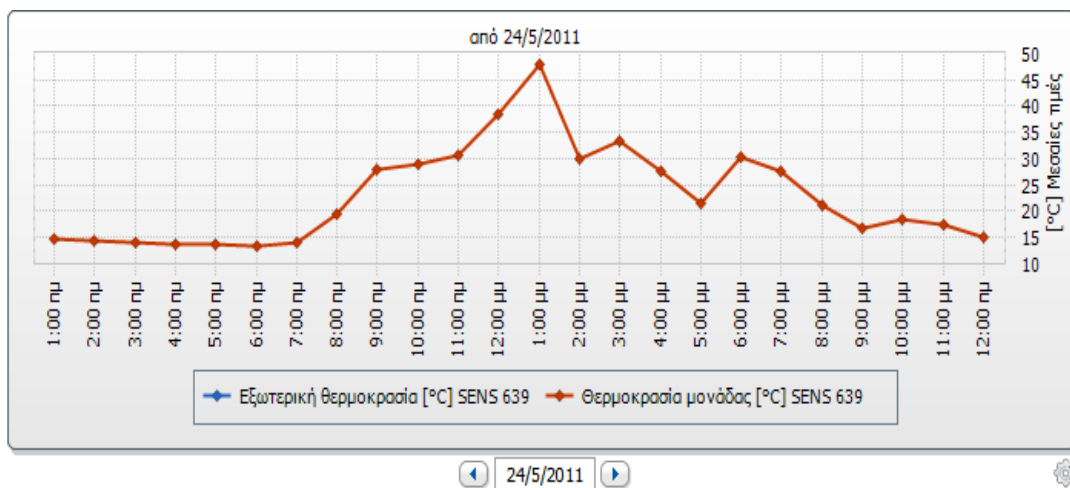
Σχ.4.6.25: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Μαΐου, ενέργεια(230KWh-19/5) και (280KWh-24/5)



Σχ.4.6.26: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(24/05/2011)



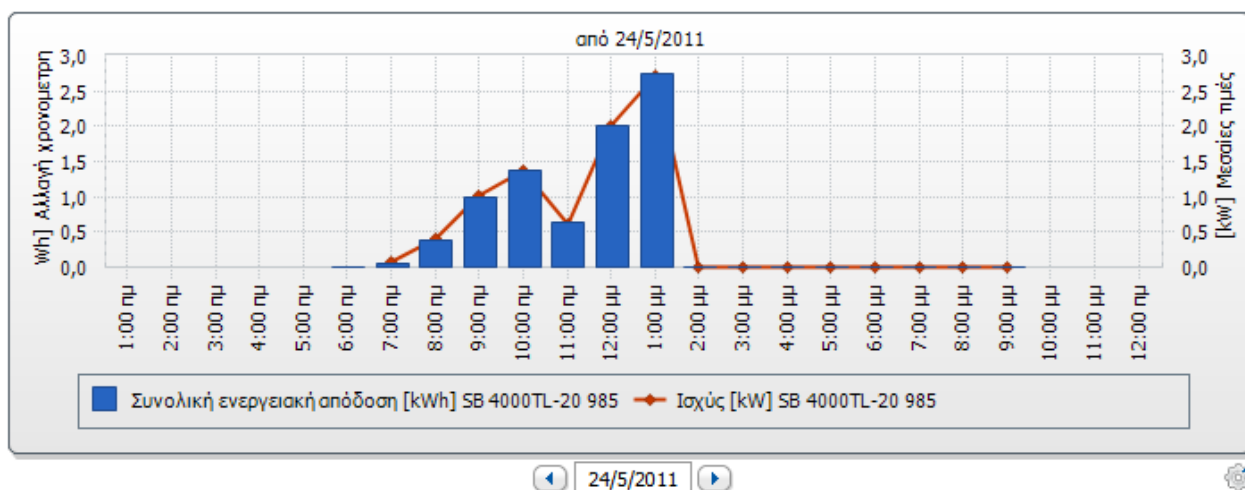
Σχ.4.6.27: Διάγραμμα ακτινοβολίας 24/5 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



Σχ.4.6.28: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 24/5 ανά ώρα

Για το Μάιο επιλέχθηκαν δύο μέρες με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τους προηγούμενους μήνες. Για τις 19/5, το αξιοσημείωτο κομμάτι της παραγωγής βρίσκεται στο χρονικό διάστημα 1μ.μ-3μ.μ όπου παρατηρείται καθολική μείωση της ακτινοβολίας η οποία οφείλεται σε σκίαση από σύννεφα και όχι από συστοιχία σε συστοιχία(όλοι οι αναστροφείς έχουν την ίδια ισχύ την ίδια χρονική στιγμή). Συγκεκριμένα στις 3μ.μ η ένταση της ακτινοβολίας είναι τόσο μικρή ώστε να θεωρείται αμελητέα για παραγωγή(30W/m<sup>2</sup>). Η ακτινοβολία επανήλθε σ'ένα μέτριο επίπεδο (300W/m<sup>2</sup>) μία ώρα αργότερα. Η θερμοκρασία σ'αυτό το διάστημα, όπως είναι προφανές, εμφανίζει μία πτώση από 28 °C στους 12 °C λόγω έλλειψης του ήλιου. Παρότι μία τέτοια μείωση της θερμοκρασίας θα αύξανε την τάση και άρα την ισχύ, η ολική έλλειψη ακτινοβολίας στο ίδιο διάστημα οδηγεί σε μηδενισμό του ρεύματος καθώς τα πλαίσια δεν τροφοδοτούνται από φωτόνια για παραγωγή φωτορρεύματος. Έτσι, η ισχύς στις 3μ.μ εμφανίζει ελάχιστο στα 2KW.

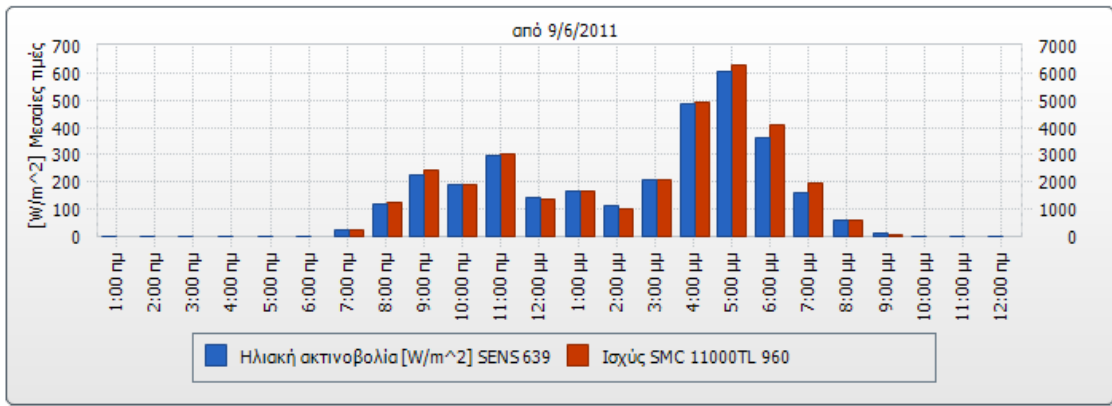
Για τις 24/5, παρά τη μείωση της ακτινοβολίας από τις 1μμ-2μμ από 750W/m<sup>2</sup> σε 550W/m<sup>2</sup> και την πτώση της θερμοκρασίας από 48°C σε 30°C, η μείωση της ισχύς(53KW σε 28KW) δεν οφείλεται μόνο σ'αυτούς τους παράγοντες. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα(Σχ.4.6.29), ο αναστροφέας SB 4000TL-20 985(αλλά και οι υπόλοιποι 2 SB 4000TL-20) σταμάτησε την τροφοδότηση ισχύος απ'τις 2μ.μ και μετά παρότι υπήρχε ακτινοβολία και οι υπόλοιποι αναστροφείς SMC 11000TL λειτουργούσαν κανονικά. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να προέκυψε κάποια βλάβη στους SB αναστροφείς. Επειδή όμως δεν καταγράφηκε στο βιβλίο ιστορικού του λογισμικού κάποια βλάβη εκείνη τη μέρα, πιο πιθανός λόγος φαίνεται να είναι η σκίαση των συστοιχιών 7,8,9 που τροφοδοτούν τους 3 αναστροφείς SB 4000TL είτε από κάποιο τοπικό σύννεφο είτε από τις συστοιχίες 5 και 6 που βρίσκονται νοτιότερα.



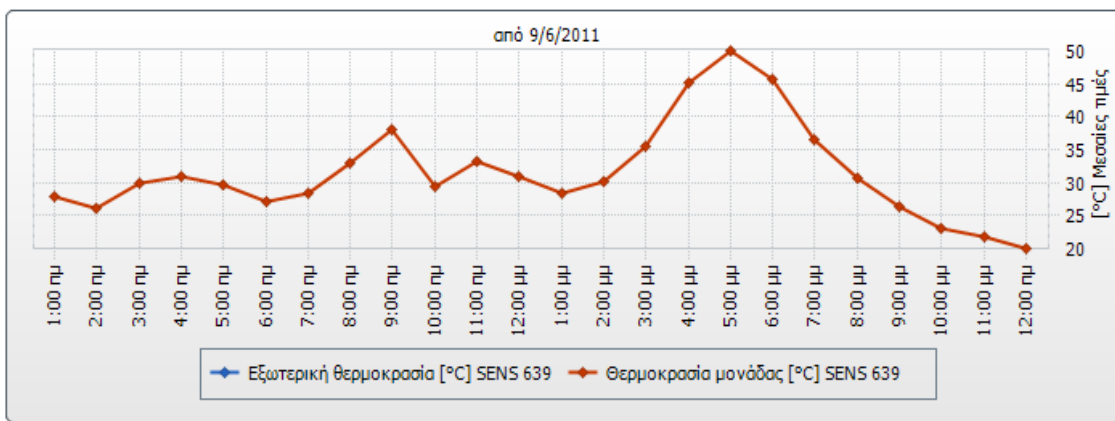
Σχ.4.6.29: Διάγραμμα ισχύος-ενέργειας αναστροφέα SB 4000TL-20 (24/5)



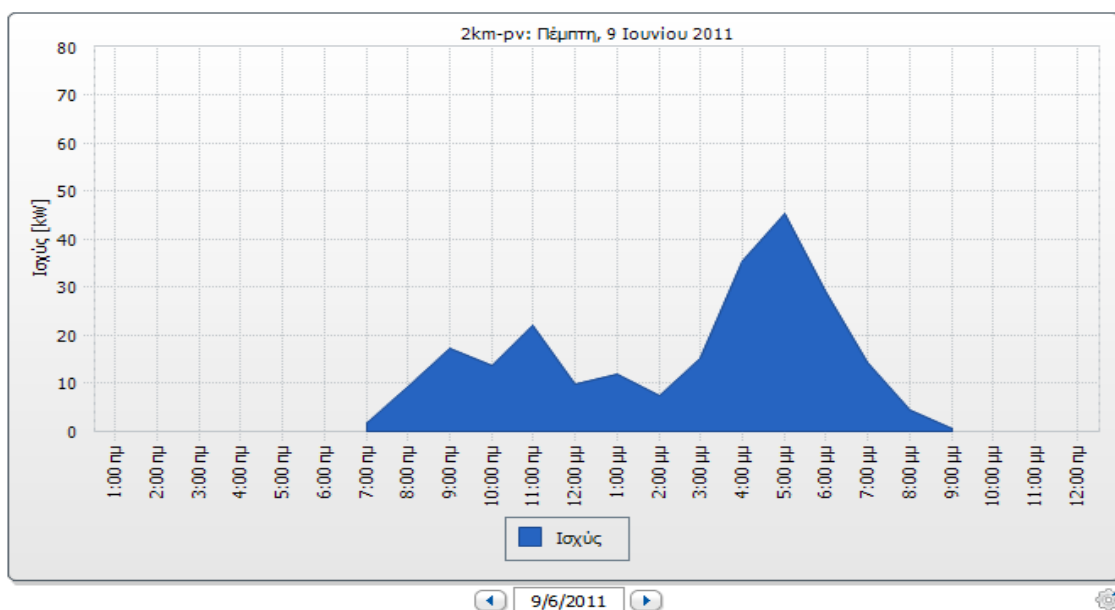
- Ιούνιος



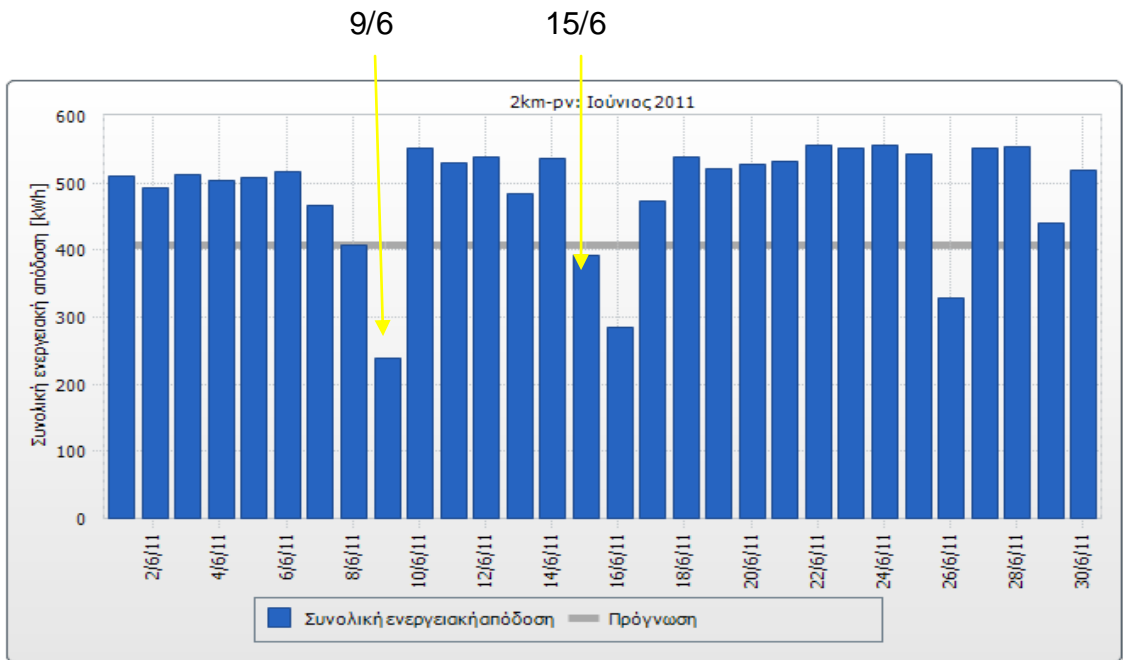
Σχ.4.6.30: Διάγραμμα ακτινοβολίας 9/6 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



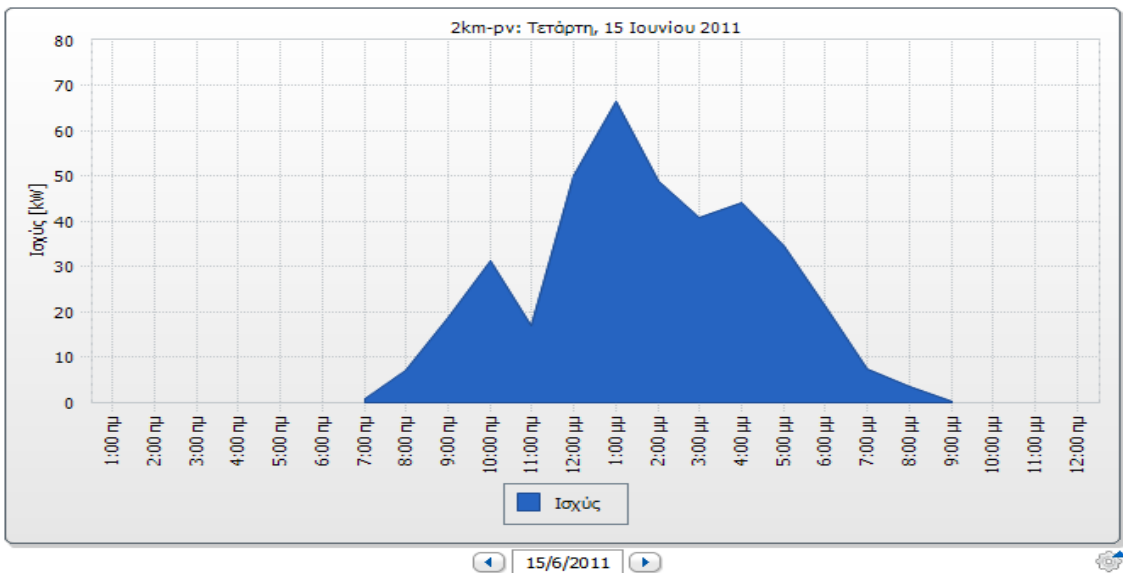
Σχ.4.6.31: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 9/6 ανά ώρα



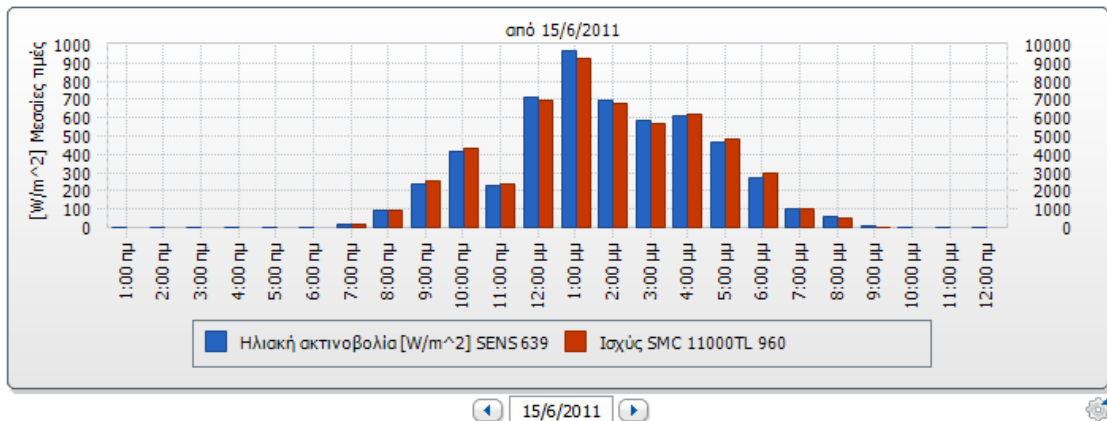
Σχ.4.6.32: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(9/6/2011)



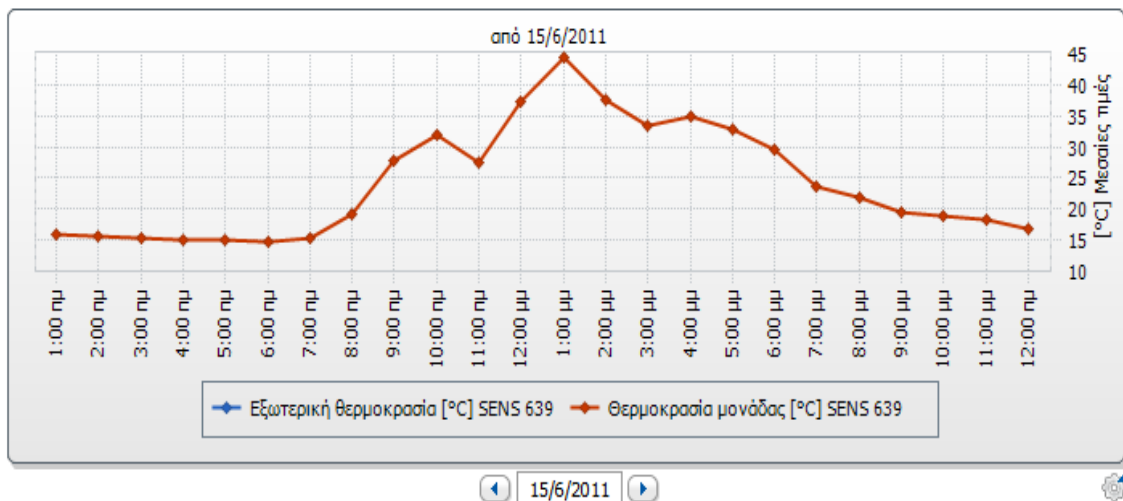
Σχ.4.6.33: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Ιουνίου, ενέργεια(250KWh-9/6) και (390KWh-15/6)



Σχ.4.6.34: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(15/6/2011)

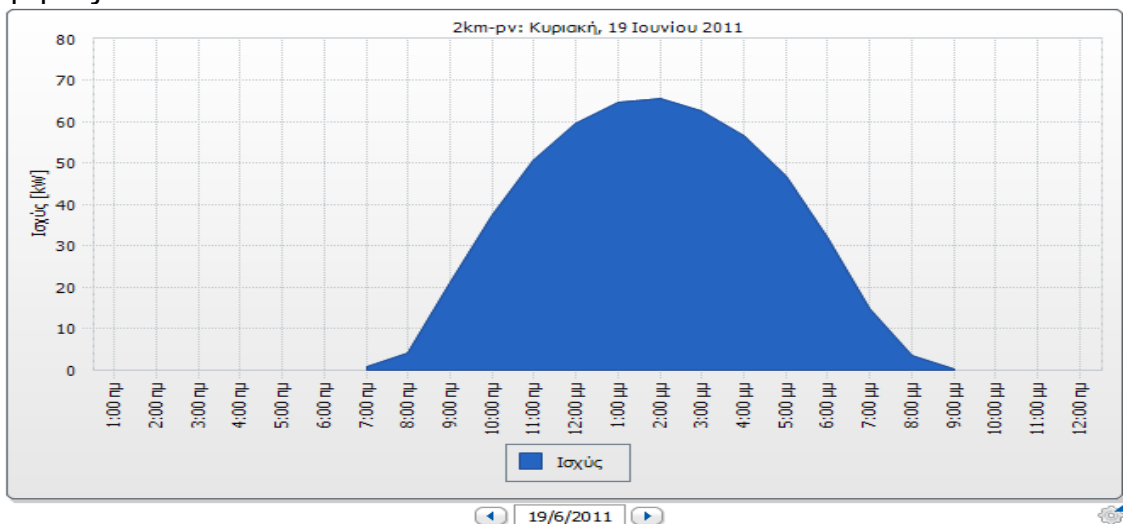


Σχ.4.6.35: Διάγραμμα ακτινοβολίας 15/6 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



Σχ.4.6.36: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 15/6 ανά ώρα

Τον Ιούνιο, όπως και όλη την περίοδο του καλοκαιριού, η κατανομή της παραγόμενης ισχύος τις περισσότερες μέρες είναι ομοιόμορφη με μέγιστα τις μεσημεριανές ώρες(σχ.4.6.37). Αυτό κάνει πιο εύκολο την εύρεση των ημερών που εμφανίζουν κάποια ιδιομορφία και επομένως οι δύο μέρες που επιλέχθηκαν αφορούν τις ημερομηνίες 9/6 και 15/6.



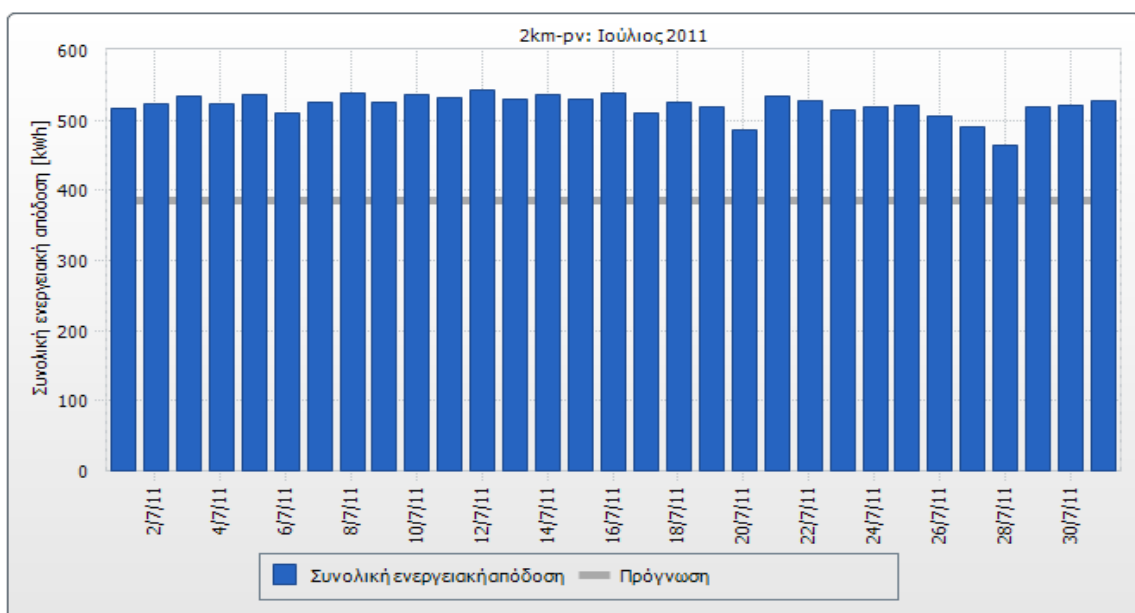
Σχ.4.6.37 :Ομοιόμορφη κατανομή στις περισσότερες ημέρες

Στις 9/6, παρατηρείται μία συννεφιασμένη μέρα(200-300W/m<sup>2</sup>) κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της ημέρας με μεσαίες θερμοκρασίες για τα πλαίσια(30-35 °C) και μικρή παραγωγή ισχύος για την εποχή(20KW). Κατά το χρονικό διάστημα από 3μ.μ-5μ.μ. η κατάσταση μεταβάλλεται καθώς η ένταση της ακτινοβολίας αυξάνεται σημαντικά(από 200 W/m<sup>2</sup> σε 600 W/m<sup>2</sup>) και η θερμοκρασία των πλαισίων φτάνει στις 5μ.μ τους 50 °C στη μέγιστη ακτινοβολία. Παρόλα αυτά, η ισχύς στις 5μ.μ κυμαίνεται σε σχετικά χαμηλή παραγωγή καθώς εκτός ότι η μεγάλη θερμοκρασία μειώνει την τάση που προκύπτει στα πλαίσια, η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει καλή απορρόφηση απ'τους κρυστάλλους πυριτίου. Το μεγαλύτερο μέρος της ανακλάται ή σκεδάζεται.

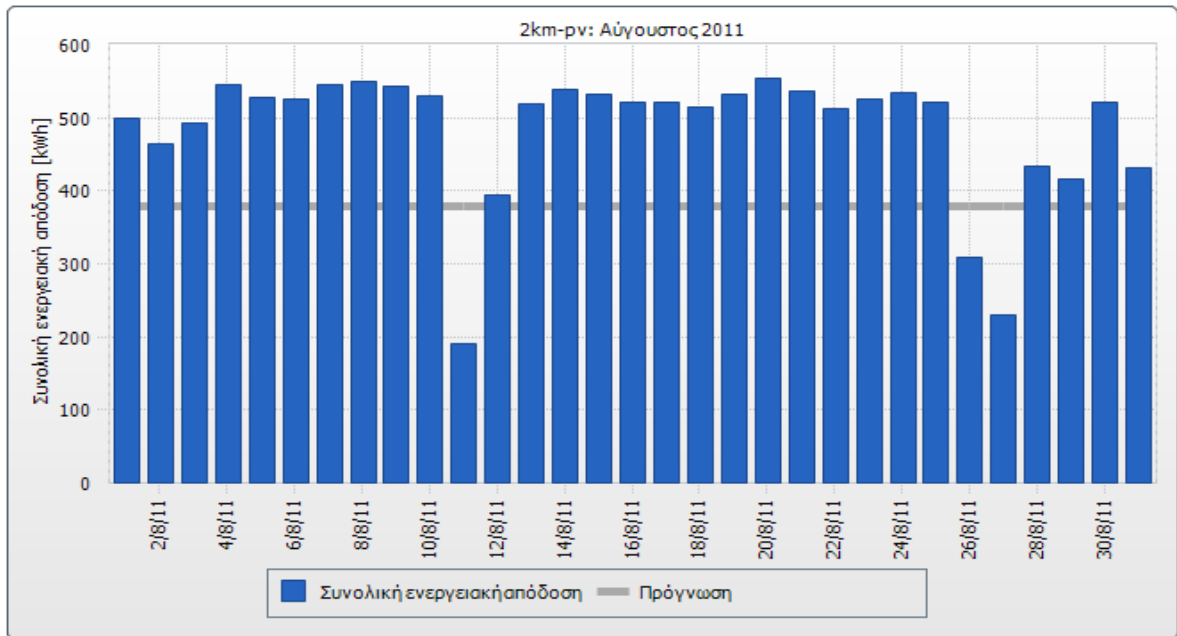
Στις 15/6, δεν υπάρχει κάτι το αξιοσημείωτο που να μην έχει αναφερθεί παραπάνω. Αποτελεί μία περίπτωση όπου αφενός στις 1μ.μ έχουμε το μέγιστο σημείο παραγωγής(περίπου 70KW) αφετέρου οι παράγοντες ακτινοβολία και θερμοκρασία λειτουργούν αντίθετα. Η μεν ακτινοβολία «παρασύρει» κατά τρόπο ανάλογο την ισχύ ενώ η δε θερμοκρασία, λόγω της μεγάλης τιμής της, μειώνει την τάση και άρα την ισχύ. Επίσης μπορεί εύκολα κάποιος να παρατηρήσει απ'το διάγραμμα 4.6.35 ότι η ακτινοβολία έχει γενικά μεγαλύτερη επίδραση στην διακύμανση της ισχύς-ενέργειας απ'ότι η θερμοκρασία καθώς η ισχύς του αναστροφέα μεταβάλλεται σχεδόν ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας.

#### • Ιούλιος-Αύγουστος

Ο λόγος που αναφέρονται μαζί αυτοί οι δύο μήνες έγκειται στο ότι και στους δύο δεν υπάρχει κάτι το αξιοσημείωτο αλλά σε γενικές γραμμές όλες σχεδόν τις μέρες τους εμφανίζουν την μέγιστη παραγωγή ενέργειας με υψηλή ένταση ακτινοβολίας και θερμοκρασία.



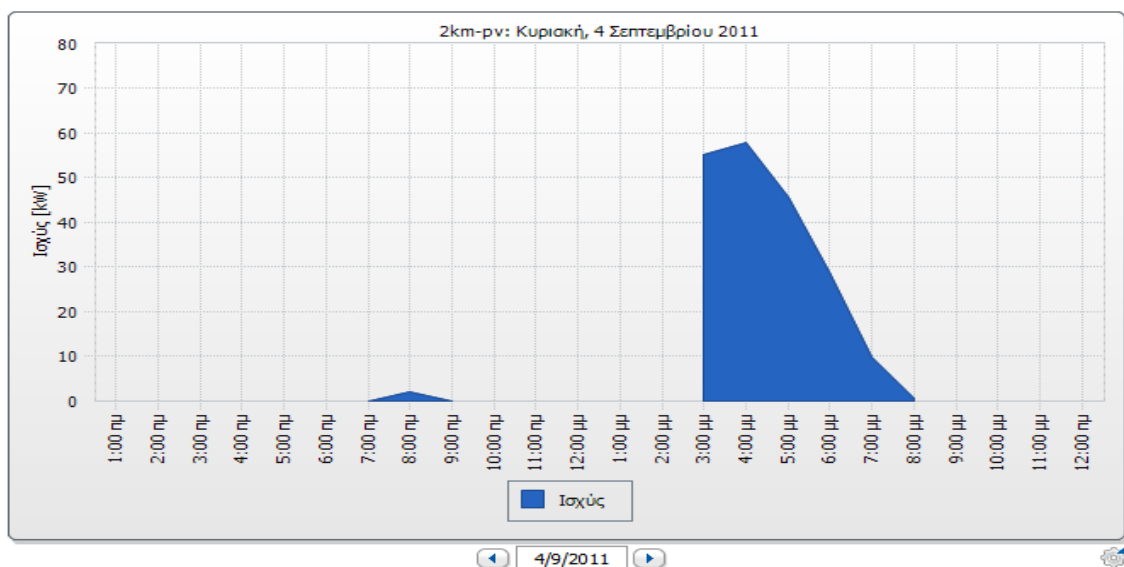
**Σχ.4.6.38:** Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Ιουλίου



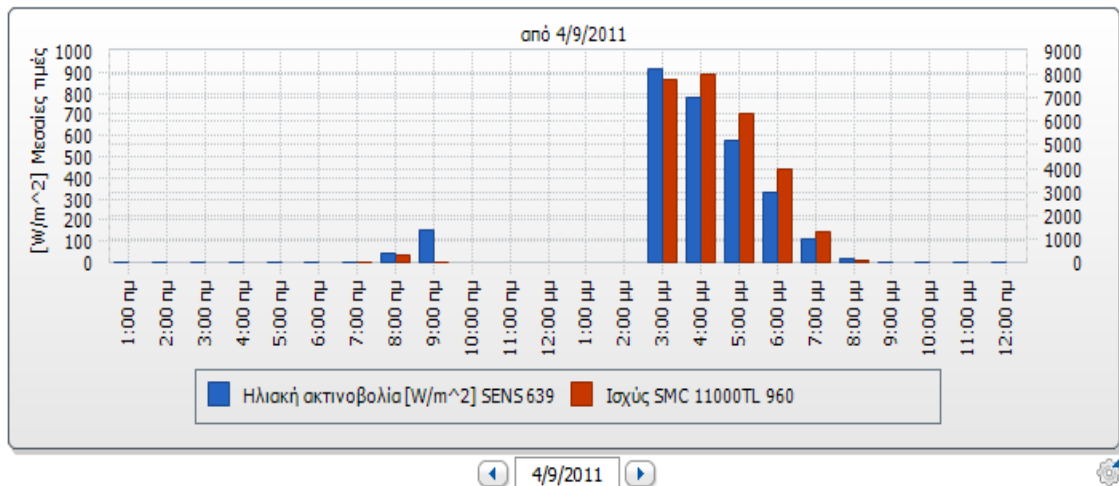
Σχ.4.6.39: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Αυγούστου

Και τους δύο μήνες, η ημερήσια παραγωγή ενέργειας ξεπερνά τις 500KWh με εξαίρεση κάποιες ελάχιστες μέρες του Αυγούστου(11/8,26/8,27/8) όπου λόγω των ισχυρών ανέμων που επικρατούν κάθε χρόνο την ίδια χρονική περίοδο και την εμφάνιση σύννεφων, η παραγωγή μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των μηνών αυτών είναι ότι στο μεν Ιούλιο όλες οι μέρες εμφανίζουν παραγωγή που ξεπερνά την πρόγνωση που έχει γίνει με μετεωρολογικά και μαθηματικά μοντέλα ενώ στο δε Αύγουστο εμφανίζονται τρεις ημέρες με μειωμένη παραγωγή(κάτω του αναμενόμενου) χωρίς όμως να «πέφτουν» κάτω από 200KWh.

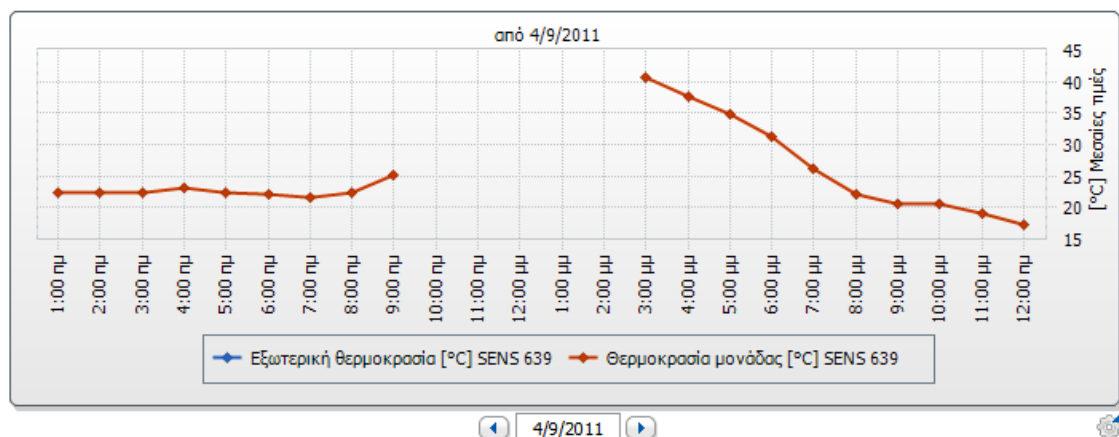
- Σεπτέμβριος



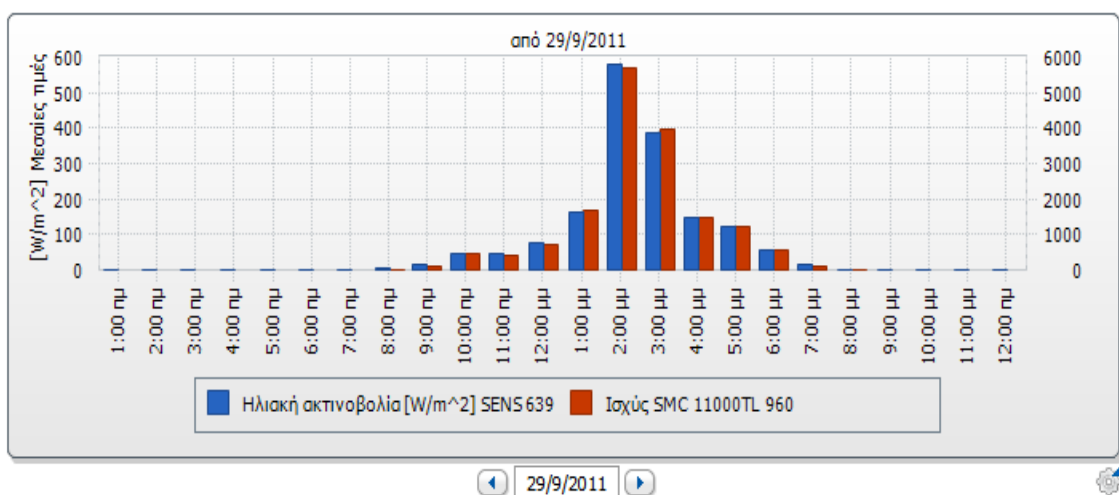
Σχ.4.6.40: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(4/9/2011)



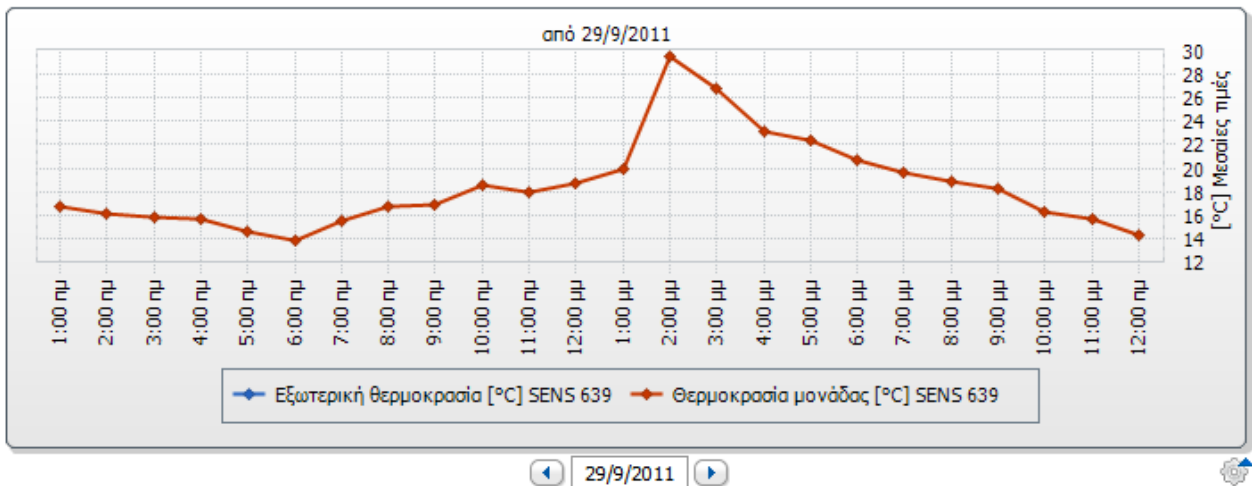
Σχ.4.6.41: Διάγραμμα ακτινοβολίας 4/9 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



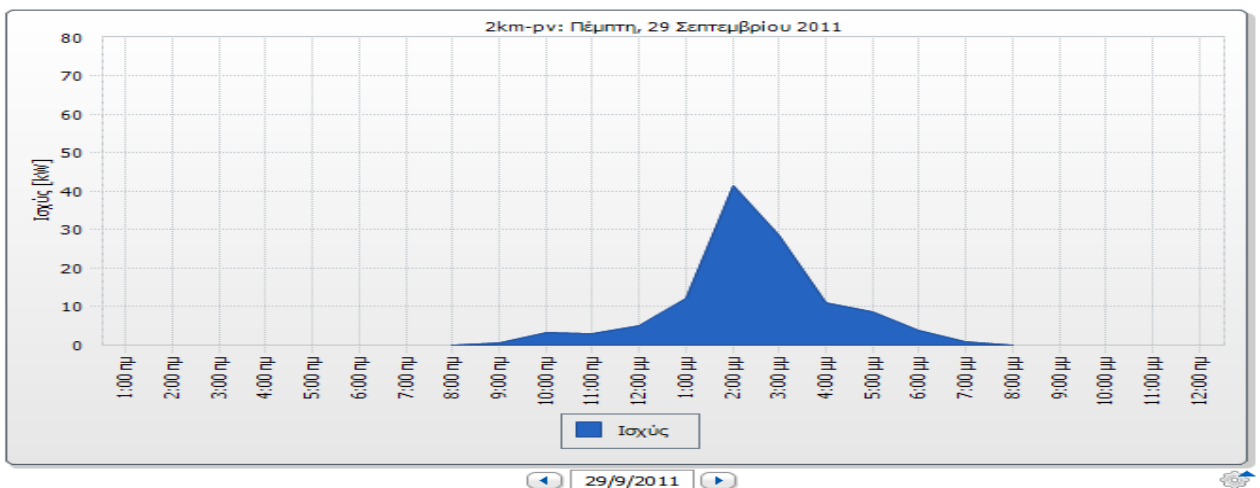
Σχ.4.6.42: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 4/9 ανά ώρα



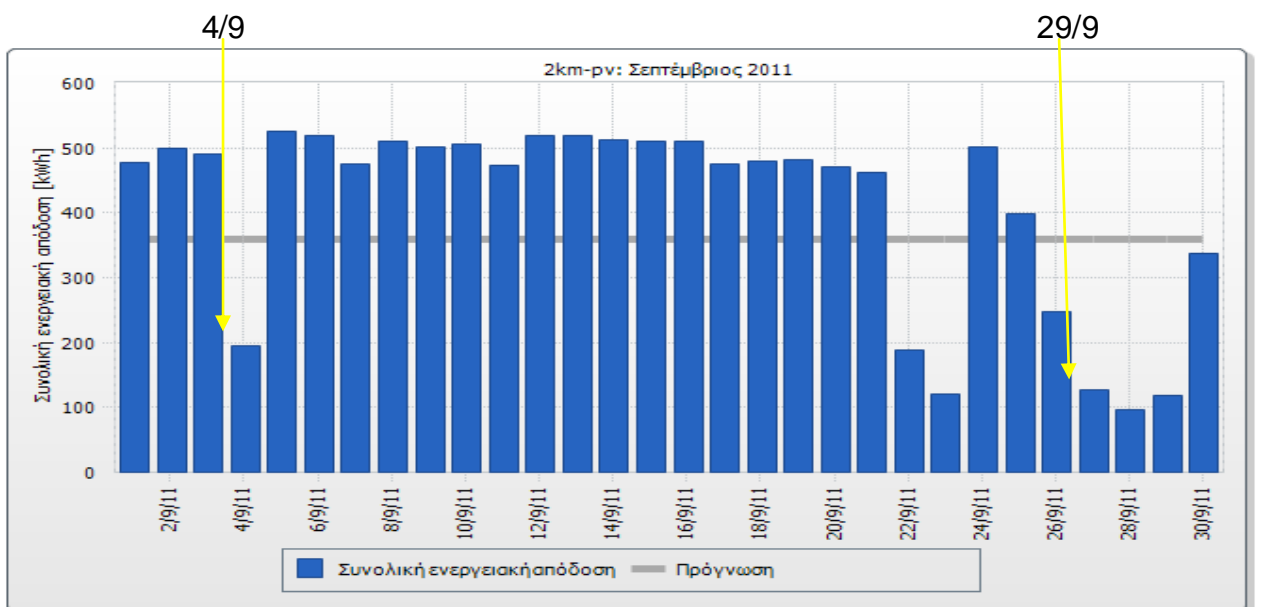
Σχ.4.6.43: Διάγραμμα ακτινοβολίας 29/9 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



Σχ.4.6.44: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 29/9 ανά ώρα



Σχ.4.6.45: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(29/9/2011)

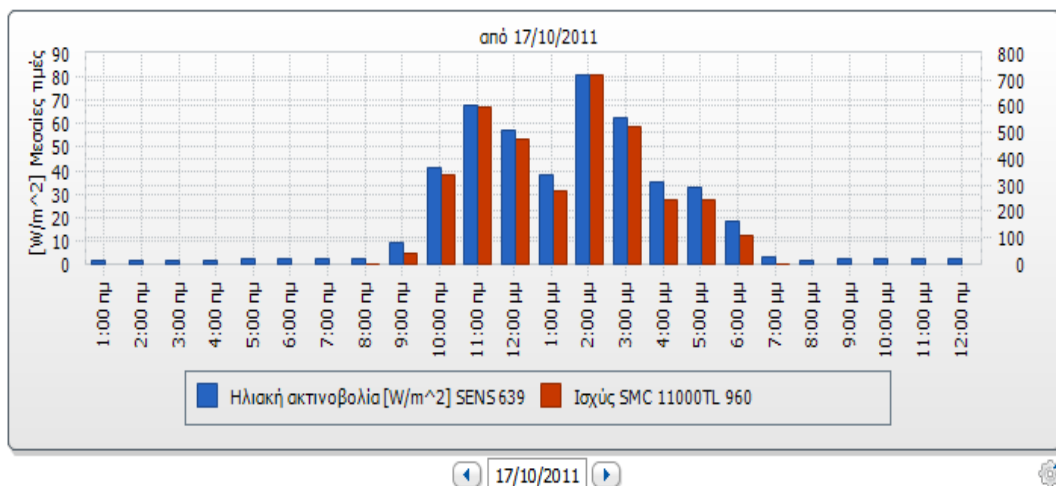


Σχ.4.6.46: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Σεπτεμβρίου, ενέργεια(200KWh-4/9) και (110KWh-29/9)

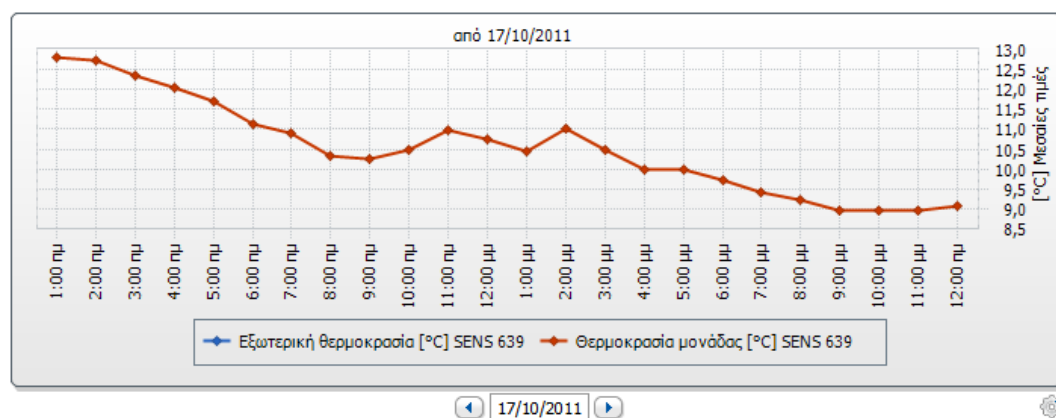
Η 4/9 επιλέχθηκε με μόνο στόχο να προβάλλει ένα κενό μετάδοσης δεδομένων καθώς όλα τα διαγράμματα, είτε αυτά αφορούν τους παράγοντες είτε την παραγόμενη ισχύ-ενέργεια, εμφανίζουν ένα κενό από τις 9π.μ.-3μ.μ. Η υπόθεση να υπήρξε απώλεια δικτύου οπότε λόγω νησιδοποίησης να σταμάτησε η τροφοδότηση απ'τους αναστροφείς δεν είναι πολύ πιθανή καθώς η ύπαρξη του UPS στην εγκατάσταση θα εγγυόταν την μεταφορά των δεδομένων θερμοκρασίας-ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της μη παραγωγής, κάτι που δε συμβαίνει τελικά. Αυτό δεν εμφανίζεται ούτε στο βιβλίο ιστορικού του λογισμικού επομένως πιο πιθανή είναι η υπόθεση βλάβης κατά τη μεταφορά των δεδομένων είτε από το Web box είτε απ'τον κεντρικό server που τα διανέμει διαδικτυακά.

Όσον αφορά την 29/9, το σημείο που έχει ενδιαφέρον είναι το χρονικό διάστημα 1μ.μ.-2μ.μ. κατά το οποίο πραγματοποιείται μια αύξηση της ισχύος από 10KW σε 40KW με παράλληλη αύξηση της ακτινοβολίας από 180W/m<sup>2</sup> σε 580 W/m<sup>2</sup> της θερμοκρασίας από 20 σε 30 °C. Σ'αυτήν την περίπτωση εμφανίζεται το φαινόμενο όπου τάση και ρεύμα αυξάνονται ταυτόχρονα δίνοντας αθροιστικό χαρακτήρα στην παραγωγή της ισχύος-ενέργειας. Είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται κυρίως το φθινόπωρο και την άνοιξη όταν υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια και η θερμοκρασία των πλαισίων είναι στο βέλτιστο επίπεδο οπότε και η ισχύς αυξάνεται σε μεγάλο ποσοστό. Το ποσοστό, βέβαια, δεν είναι τέτοιο που να συγκριθεί με το καλοκαίρι καθώς τότε παίζει σημαντικό ρόλο η θέση του ήλιου ως προς τη γη και η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας πάνω στα Φ/Β πλαίσια.

- **Οκτώβριος**

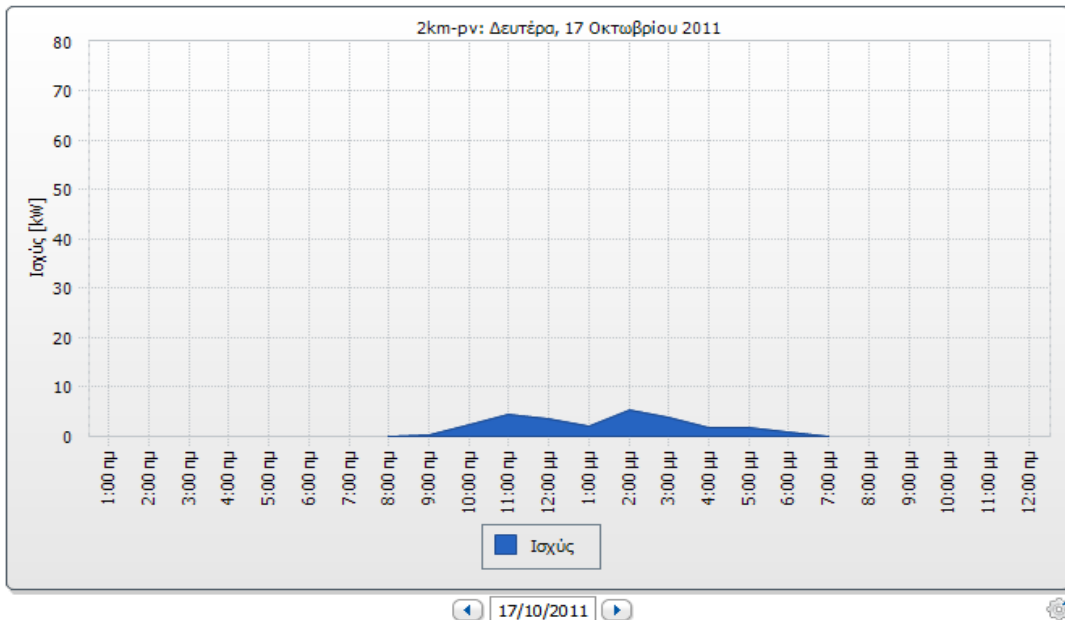


Σχ.4.6.47: Διάγραμμα ακτινοβολίας 17/10 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς

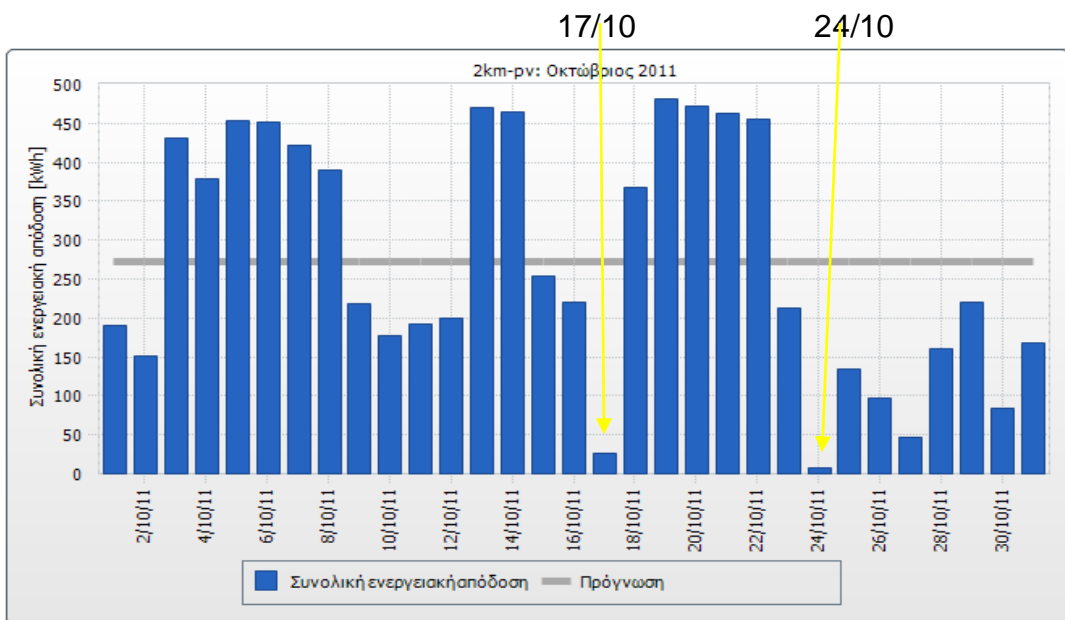


Σχ.4.6.48: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 17/10 ανά ώρα

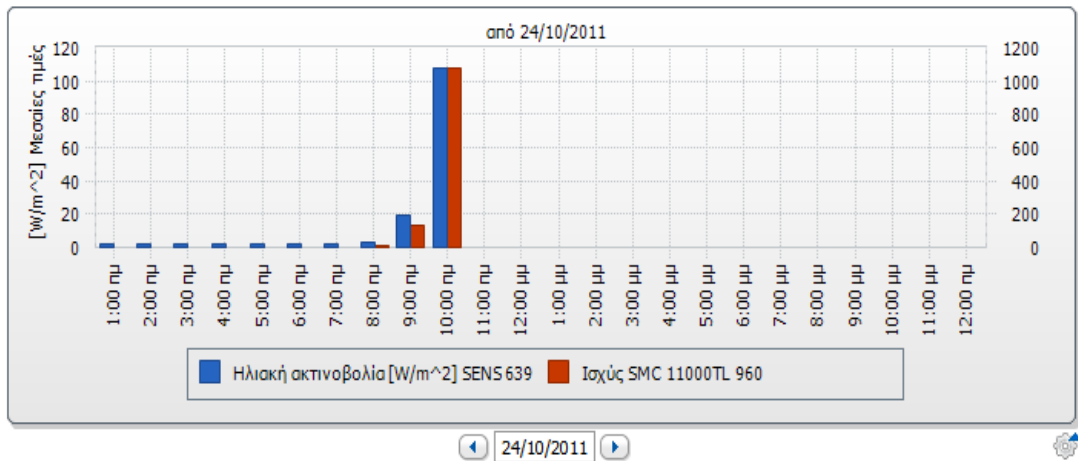




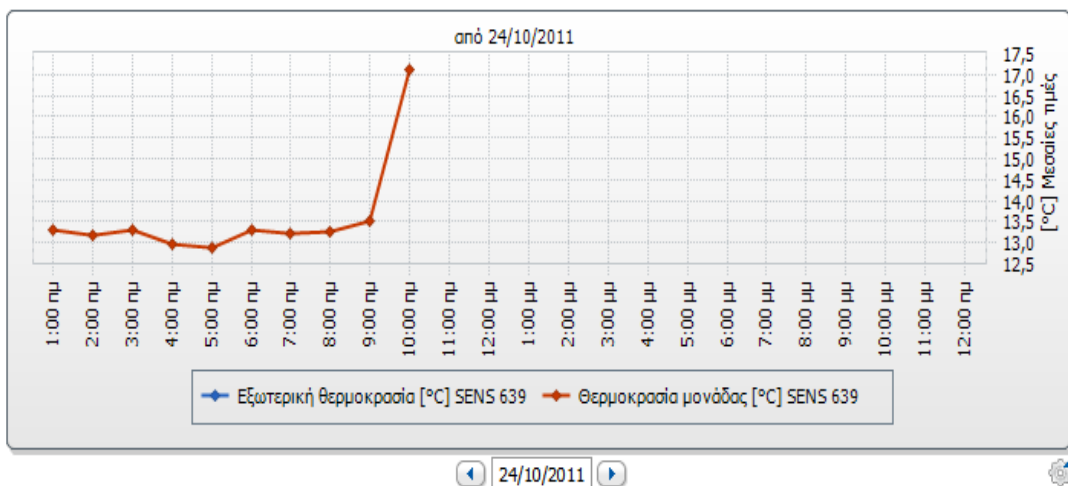
Σχ.4.6.49: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(17/10/2011)



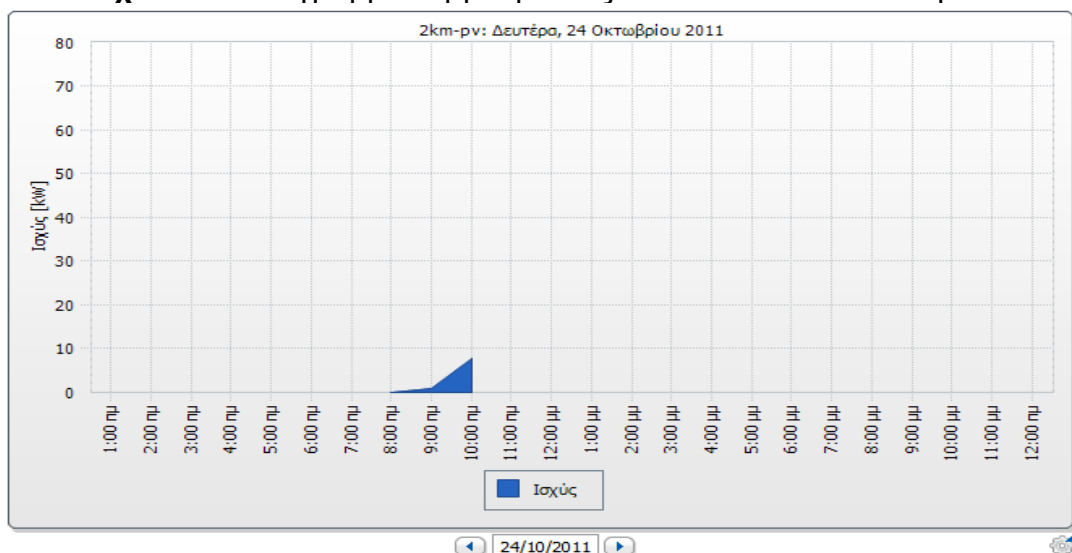
Σχ.4.6.50: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Οκτωβρίου, ενέργεια(25KWh-17/10) και (10KWh-24/10)



Σχ.4.6.51: Διάγραμμα ακτινοβολίας 24/10 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



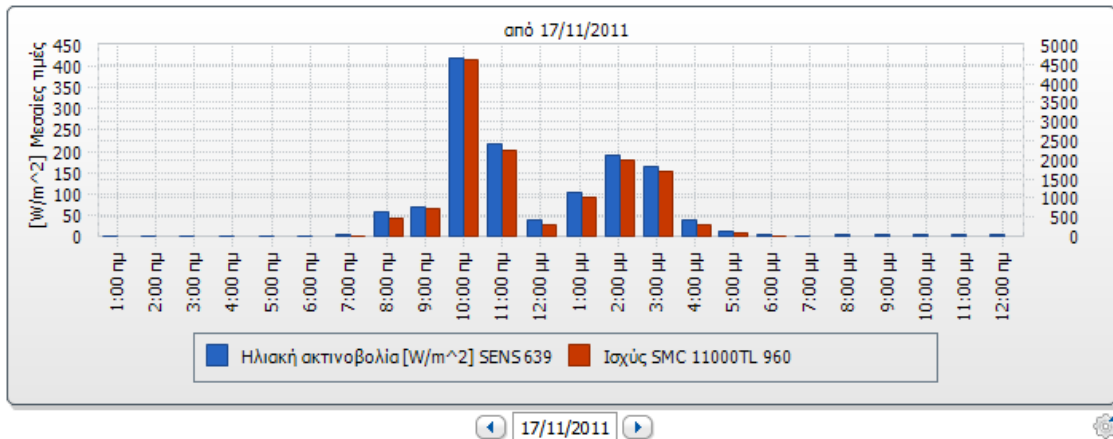
Σχ.4.6.52: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 24/10 ανά ώρα



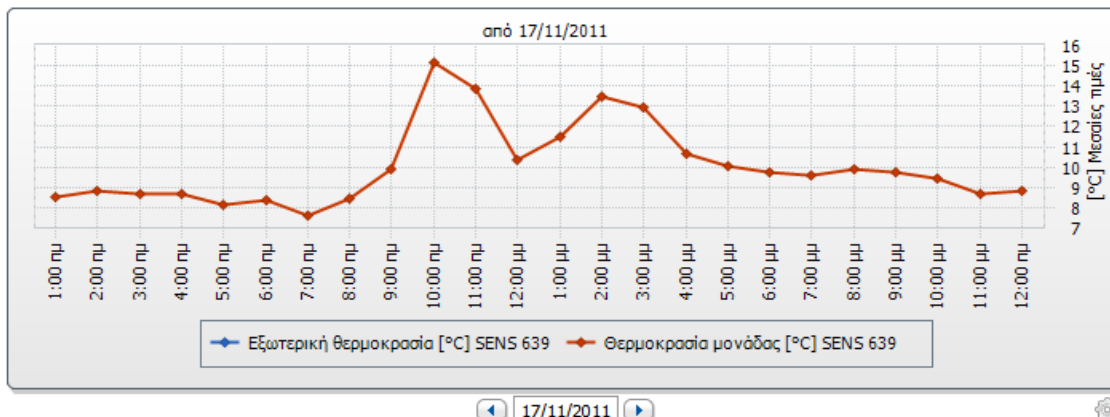
Σχ.4.6.53: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(24/10/2011)

Στις 17/10 η έλλειψη παραγωγής ισχύος-ενέργειας οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην έλλειψη ακτινοβολίας καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας με μέγιστη τιμή μόλις  $80\text{W/m}^2$ . Στις 24/10 δεν υπάρχει ουσιαστικά καθόλου μέτρηση καθώς από το πρωί δεν έχουν μεταφερθεί καθόλου δεδομένα προς το λογισμικό και επομένως υπάρχει ένα κενό παραγωγής για αυτή τη μέρα για λόγους που ειπώθηκαν σε προηγούμενους μήνες.

- **Νοέμβριος**

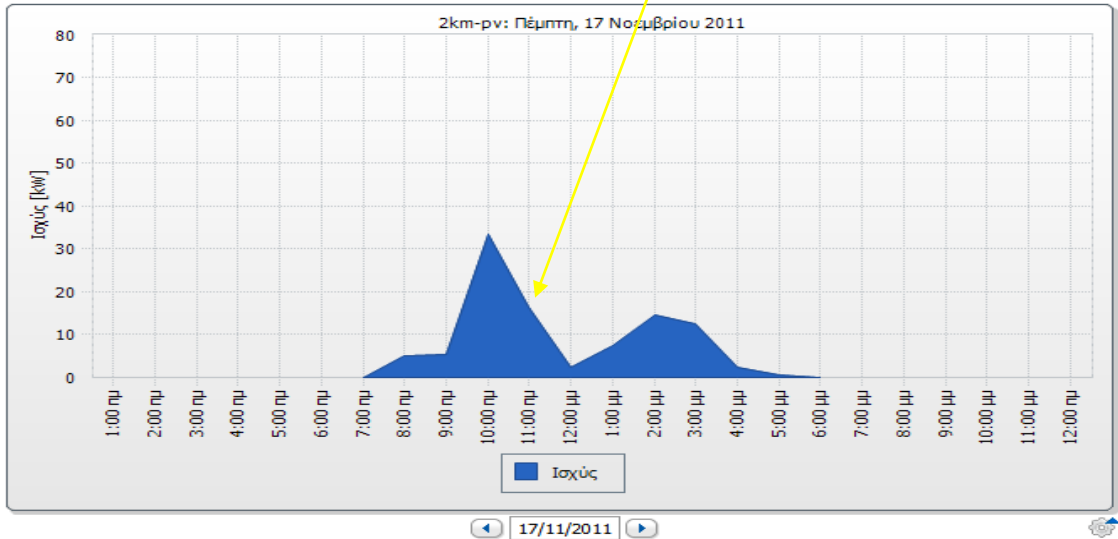


Σχ.4.6.54: Διάγραμμα ακτινοβολίας 17/11 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς

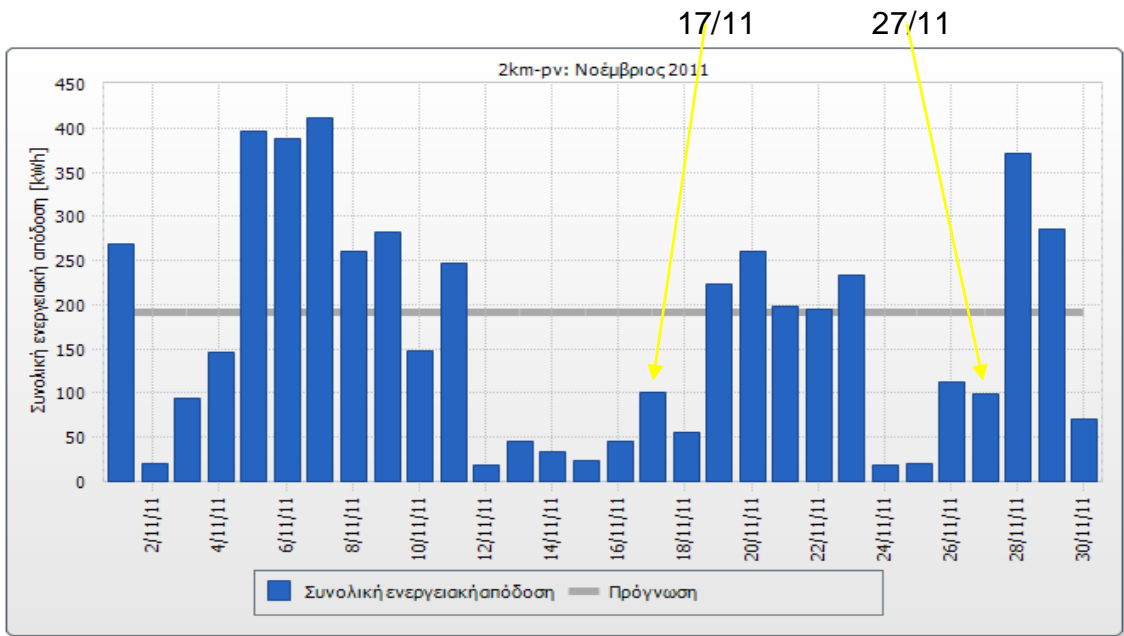


Σχ.4.6.55: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 17/11 ανά ώρα

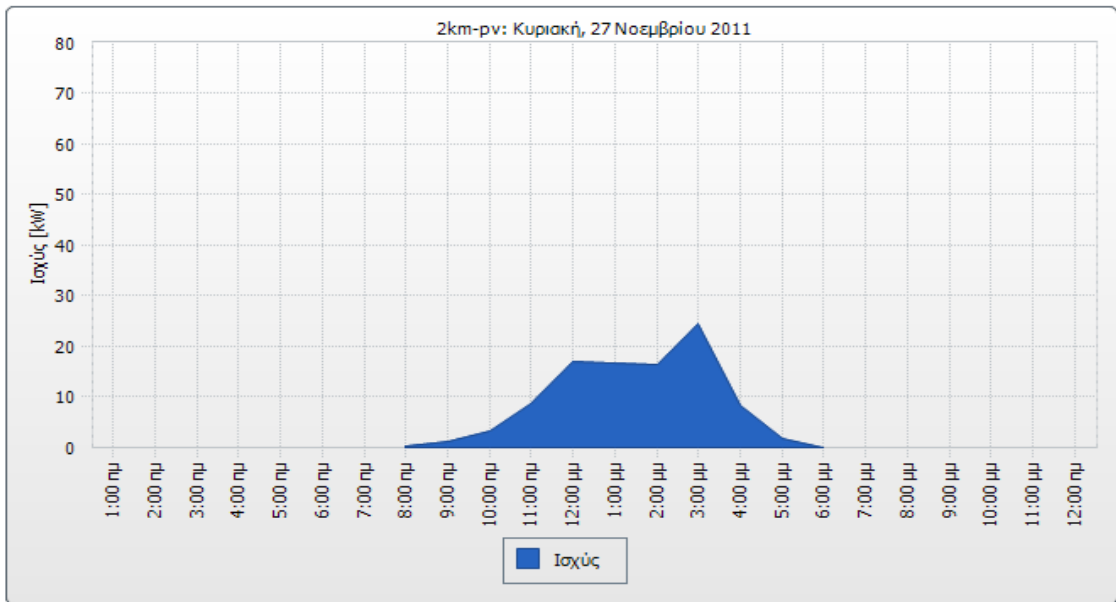
### Μεγάλη πτώση ισχύος από την ακτινοβολία



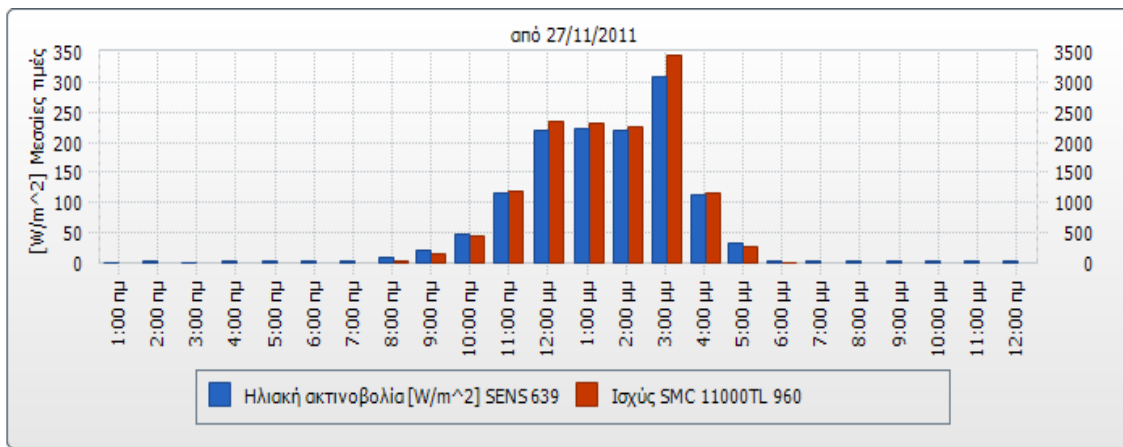
Σχ.4.6.56: Διάγραμμα ισχύος πάρκου ανά ώρα(17/11/2011)



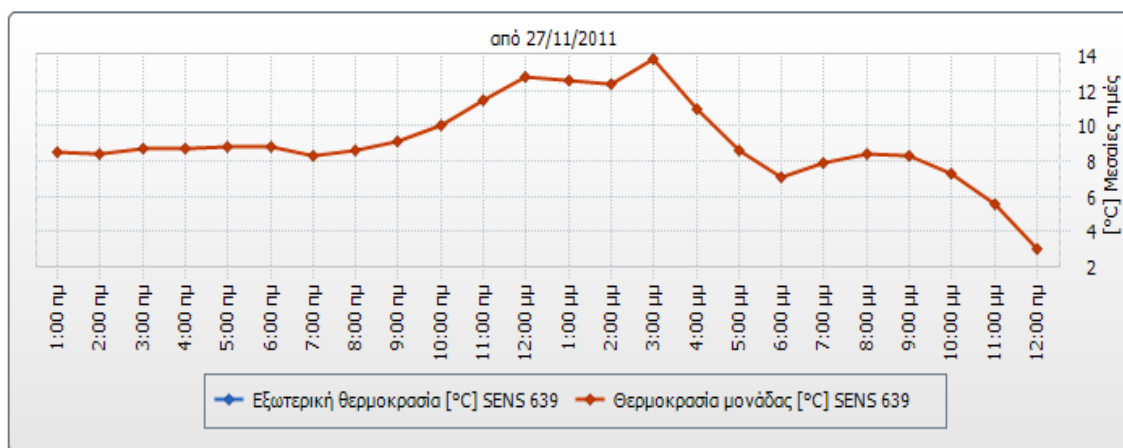
Σχ.4.6.57: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Νοεμβρίου, ενέργεια(100KWh-17/11) και (90KWh-27/11)



Σχ.4.6.58: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(27/11/2011)



Σχ.4.6.59: Διάγραμμα ακτινοβολίας 27/11 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς

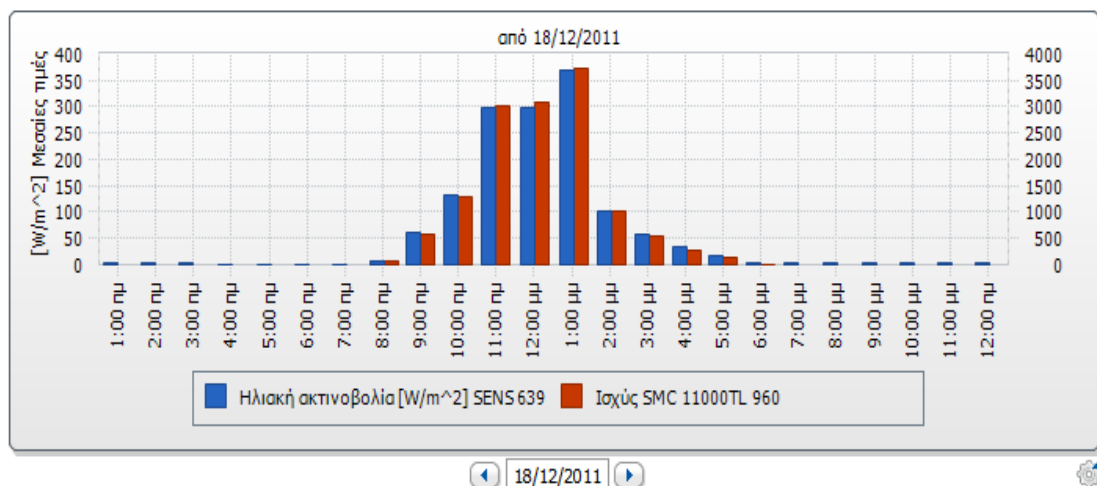


Σχ.4.6.60: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 27/11 ανά ώρα

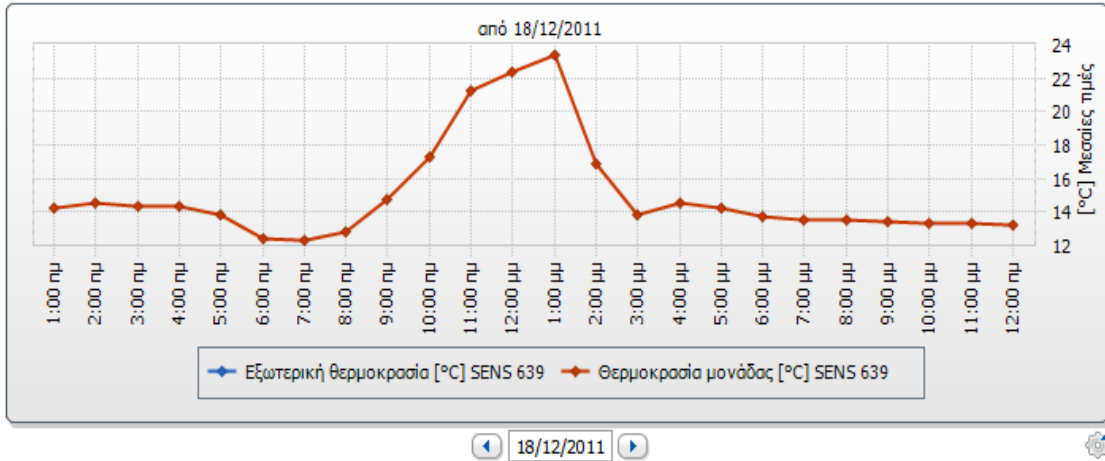
Το μήνα Νοέμβριο περιγράφονται δύο μέρες που εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά. Τόσο στις 17/11 όσο και στις 27/11, προβάλλεται η μεγάλη επίδραση της ακτινοβολίας απέναντι στην απόδοση ισχύς από τους αναστροφείς καθώς με μικρή μείωση της θερμοκρασίας(περίπου 4 °C), η ισχύς που αποδίδεται απ'τους αναστροφείς ακολουθεί όμοια πορεία με την αυξομείωση της έντασης του ήλιου. Συγκεκριμένα, στις 17/11, η συννεφιά απ'το πρωί επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την παραγωγή ισχύος στο πάρκο ενώ από το μεσημέρι αρχίζει ξανά η ανάστροφη πορεία με την εμφάνιση του ήλιου. Ενώ η θερμοκρασία εμφανίζει μικρή πτώση(15 °C σε 11 °C), εμφανίζεται μία απότομη κλίση στο διάγραμμα ισχύος την ίδια χρονική περίοδο(σχ.4.6.56). Στις 27/11 εμφανίζεται το ίδιο φαινόμενο με καίριο σημείο την αύξηση της ακτινοβολίας στις 3μ.μ, γεγονός που δεν είναι πολύ σύνηθες σε μήνες όπως ο Νοέμβριος. Βέβαια, παραγωγή ενέργειας όταν η ισχύς μεταβάλλεται για σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ.1 ώρα) δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία για τον παραγωγό, όχι όμως και για τη μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων και για την απόδοση των αναστροφένων που μεταβάλλεται ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ.

Τέλος, απ'το διάγραμμα ημερήσιας ενεργειακής απόδοσης προκύπτει ότι το μήνα Νοέμβρη το 50% των ημερών ξεπερνούν το όριο των 200KWh(θεωρητική πρόγνωση μήνα) ενώ το υπόλοιπο βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη απόκλιση για λόγους που θα εξηγηθούν σε επόμενη παράγραφο. Επίσης είναι ο μήνας μαζί με το Φεβρουάριο που δεν εμφανίζουν θετική απολαβή κιλοβατώραν σε σχέση με την πρόγνωση, χαρακτηριστικό που εμφανίζεται και σε άλλες τέτοιες εγκαταστάσεις στην Κρήτη.

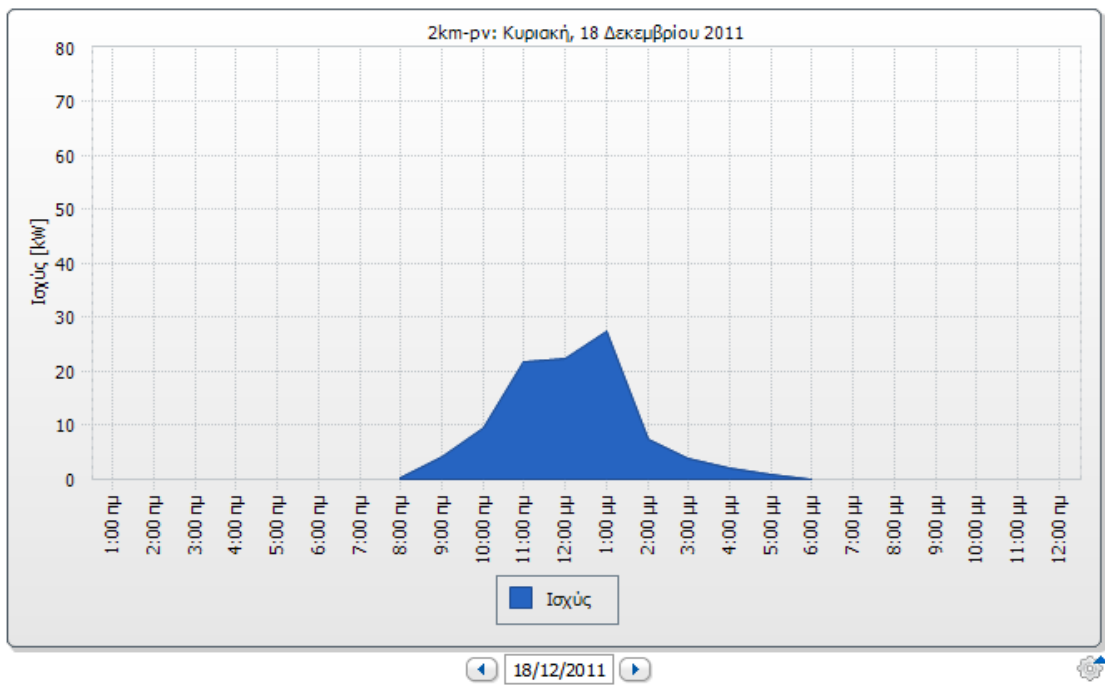
- **Δεκέμβριος**



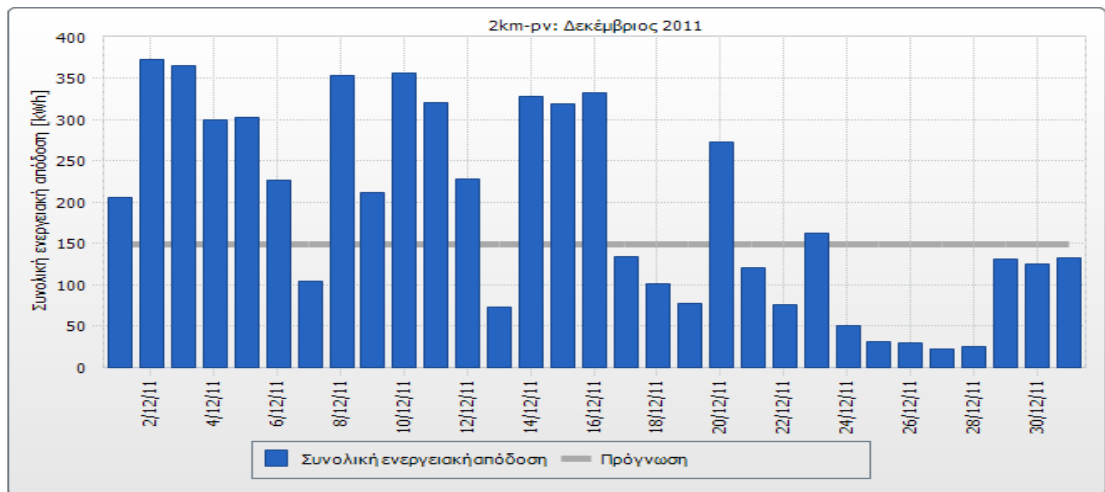
**Σχ.4.6.61:** Διάγραμμα ακτινοβολίας 18/12 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς



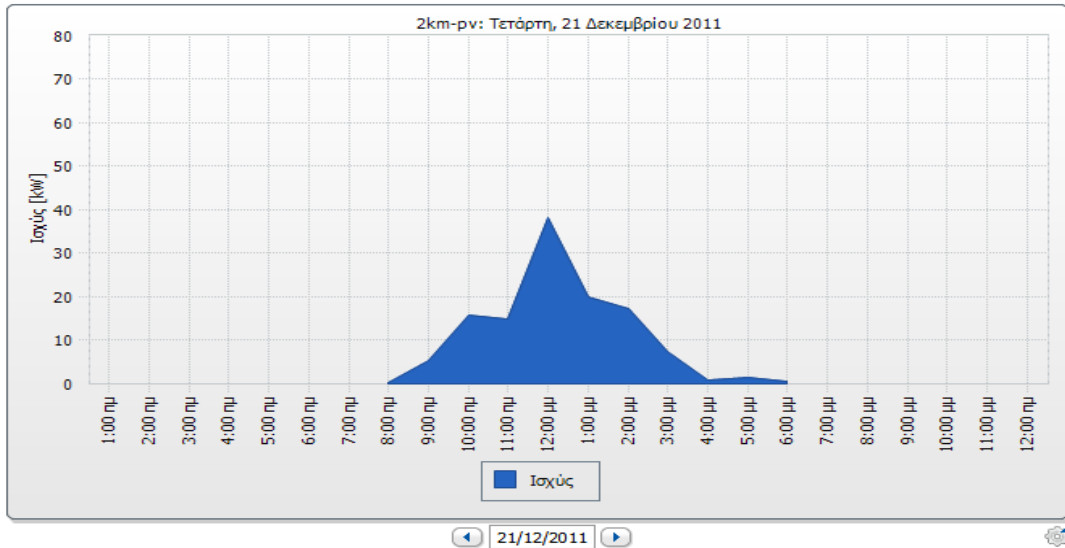
Σχ.4.6.62: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 18/12 ανά ώρα



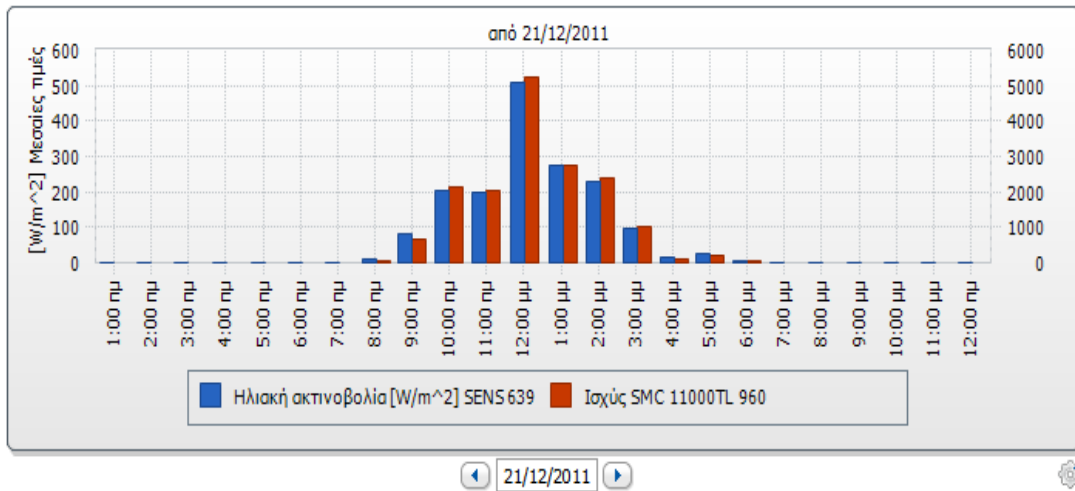
Σχ.4.6.63: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(18/12/2011)



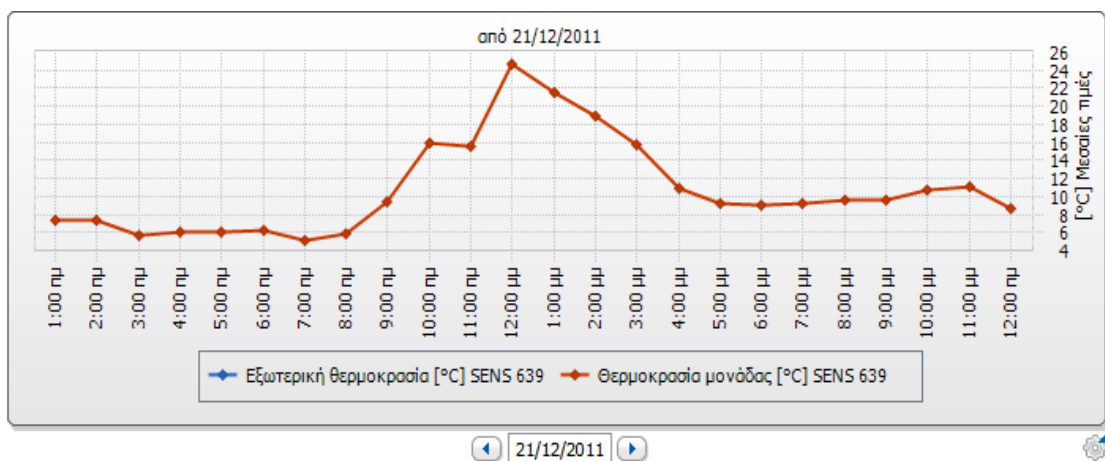
Σχ.4.6.64: Διάγραμμα ενέργειας(KWh) πάρκου ανά μέρα του Δεκεμβρίου, ενέργεια(100KWh-18/12) και (120KWh-21/12)



Σχ.4.6.65: Διάγραμμα ισχύς πάρκου ανά ώρα(21/12/2011)



Σχ.4.6.66: Διάγραμμα ακτινοβολίας 21/12 ανά ώρα και ισχύς ενός απ'τους αναστροφείς

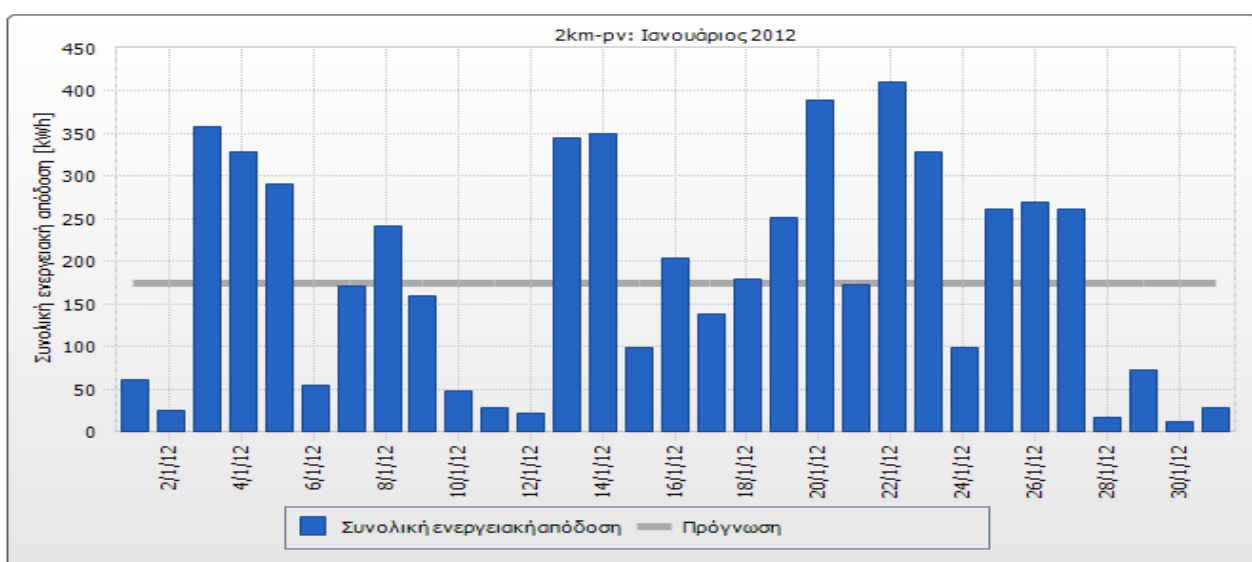


Σχ.4.6.67: Διάγραμμα θερμοκρασίας πλαισίων 21/12 ανά ώρα

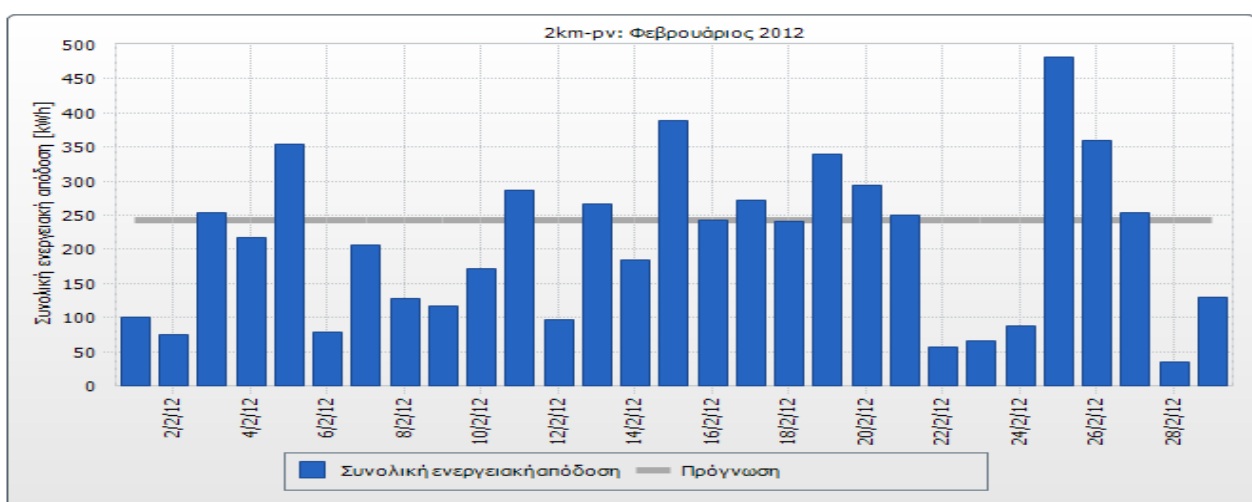


Το σημαντικό σημείο στις 18/12 είναι η πτώση της ακτινοβολίας τη χρονική στιγμή 1μ.μ-2μ.μ. η οποία προκαλεί μία σημαντική κλίση στο διάγραμμα ισχύος σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη πτώση της θερμοκρασίας κατά 7 °C. Αυτό είναι σύνηθες φαινόμενο τον Δεκέμβριο καθώς υπάρχουν συχνές συννεφίες, βροχοπτώσεις και ισχυροί βόρειοι άνεμοι. Στις 21/12 (χειμερινό ηλιοστάσιο) με τη μικρότερη μέρα του χρόνου και τις σκιάσεις στο μέγιστο βαθμό, εμφανίζεται ένα μέγιστο το μεσημέρι στις 12μ.μ. με αύξηση της θερμοκρασίας. Ολόκληρος ο μήνας απ'την πλευρά της ενέργειας, εμφανίζει αποκλίσεις(θετικές και αρνητικές με την πρόγνωση) και εισάγεται στους μήνες με θετικό πρόσημο σε σχέση με την πρόγνωση.

- **Ιανουάριος, Φεβρουάριος**



**Σχ.4.6.68** : Διάγραμμα ενεργειακής απόδοσης Ιανουαρίου 2012(14 μέρες με θετικό πρόσημο, 14 με αρνητικό, 3 πάνω στην πρόγνωση)



**Σχ.4.6.69** : Διάγραμμα ενεργειακής απόδοσης Φεβρουαρίου 2012(9 μέρες με θετικό πρόσημο, 15 με αρνητικό, 5 πάνω στην πρόγνωση)

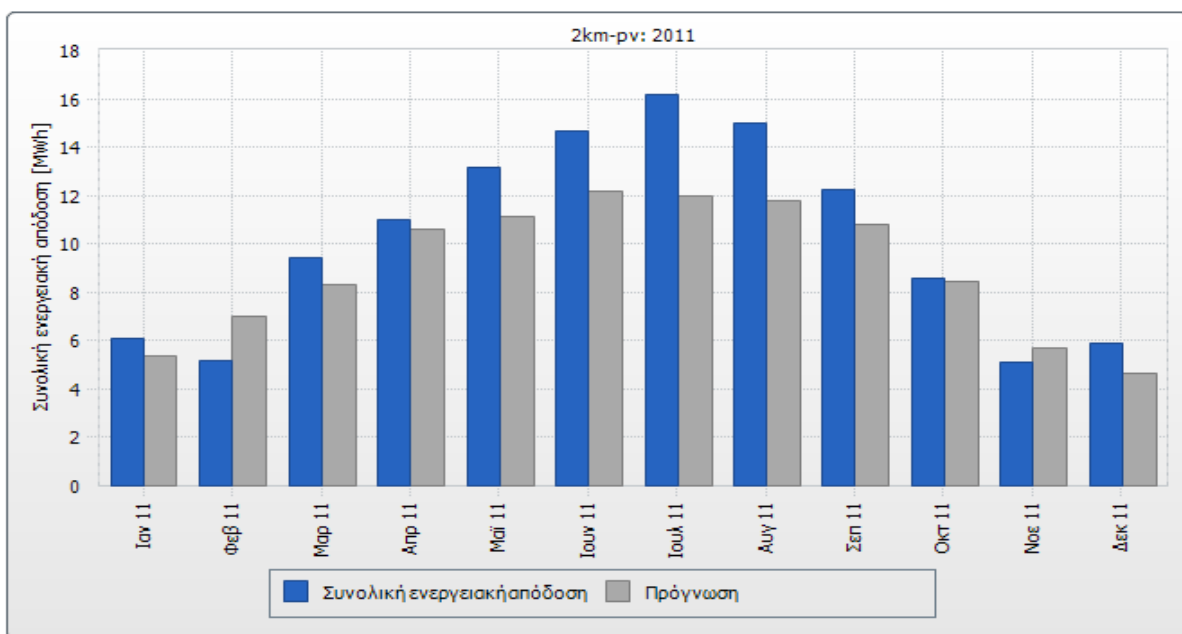
Το χαρακτηριστικό του Ιανουαρίου, σύμφωνα με το διάγραμμα ενεργειακής απόδοσης, είναι ότι ενώ οι μέρες που εμφανίζουν θετική ή αρνητική απόκλιση από την πρόγνωση είναι μοιρασμένες, ο μήνας τελειώνει με θετικό πρόσημο στη συνολική ενεργειακή απολαβή για τον παραγωγό με θεωρητικό στόχο τις 180KWh την ημέρα. Στο μήνα αυτό παρουσιάζονται απότομες αλλαγές στην παραγωγή ενέργειας(3-5/12, 13-14/12, 28-31/12 κ.λ.π) οι οποίες δικαιολογούνται απ'το γεγονός ότι οι καιρικές συνθήκες είναι πολύ ευμετάβλητες και οποιαδήποτε πρόγνωση(ενεργειακή ή μετεωρολογική) μπορεί να βρεθεί εκτός πραγματικότητας. Τα ίδιο συμβαίνει και με το μήνα Φεβρουάριο ο οποίος κάθε χρονιά κλείνει με αρνητικό πρόσημο χωρίς βέβαια να εμφανίζει τη μεγάλη τυχαιότητα του Ιανουαρίου στα αποτελέσματα.

#### 4.7 Εκτίμηση των αποτελεσμάτων της μελέτης- Πιθανές βελτιώσεις

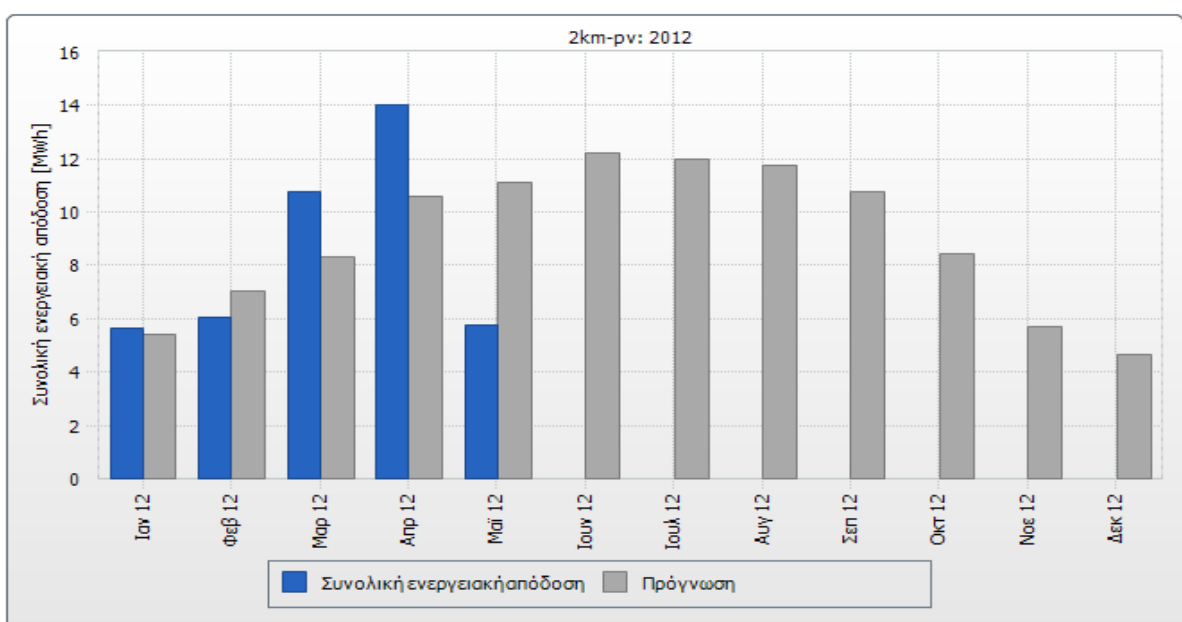
Με αφορμή την προηγούμενη παράγραφο που έγινε μία ετήσια παρουσίαση της ενεργειακής απόδοσης του Φ/Β πάρκου(2km-pv, κεφ.2) και των παραμέτρων καθορισμού της παραγόμενης ισχύος(κυρίως ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία), σ'αυτήν την παράγραφο θα δοθεί μία εικόνα της ετήσιας παραγωγής, της συμβολής κάθε μήνα στην παραγόμενη ενέργεια, οι αποκλίσεις από την πρόγνωση και κάποιες βελτιώσεις που θα μπορούσαν να γίνουν.

Αρχικά, στα δύο παρακάτω διαγράμματα-ιστογράμματα(σχ.4.7,4.8) παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά μήνα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του πάρκου και η απόκλιση που εμφανίζει κάθε μήνας με τη θεωρητική πρόγνωση. Τα ενδιαφέροντα σημεία αυτών των ιστογραμμάτων είναι το αρνητικό πρόσημο του Φεβρουαρίου(2011 και 2012) και Νοεμβρίου 2011, τα αυξημένα θετικά πρόσημα των καλοκαιρινών μηνών που υπάρχει και η μέγιστη παραγωγή και η έγκυρη πρόγνωση για την άνοιξη και το φθινόπωρο. Επίσης, παρατηρείται ότι το έτος 2012 εμφανίζει έως τώρα καλύτερη ενεργειακή απόδοση από το 2011 με αποκορύφωμα την υψηλή παραγωγή το μήνα Απρίλιο.

Στο σχήμα 4.9, παρουσιάζεται το ποσοστό συνεισφοράς κάθε μήνα στην παραγωγή και η συνολική ενέργεια που παράγεται σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της πρόγνωσης. Η συνολική θεωρητική ετήσια παραγωγή, λοιπόν, για το πάρκο που μελετάται ανέρχεται στις **107.9MWh** ενώ η πραγματική για το έτος 2011 ανήλθε στις **122.4MWh**. Η απόκλιση της πραγματικής απ'τη θεωρητική τιμή ανέρχεται στις **+14.5MWh** γεγονός που καθιστά την παραγωγή αρκετά αποδοτική. Βέβαια, ένα αρνητικό στοιχείο στις μηνιαίες προγνώσεις είναι το γεγονός ότι η ημερήσια παραγωγή εμφανίζεται σταθερή και επομένως το στατιστικό λάθος είναι μεγάλο. Η πρόγνωση για να υποστεί βελτίωση, θα έπρεπε να εμφανίζει καθημερινή πρόβλεψη για την ενεργειακή παραγωγή λαμβάνοντας υπόψιν τα μετεωρολογικά δεδομένα της συγκεκριμένης περιοχής. Δεδομένου ότι η πρόγνωση που εμφανίζεται στα ιστογράμματα προέρχεται από μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού χρησιμοποιώντας καιρικές συνθήκες άλλης περιοχής (π.χ Ρόδου), είναι αναπόφευκτο να εμφανίζει σε κάποιες περιόδους μεγάλες αποκλίσεις απ'την πραγματικότητα όπως τον Φεβρουάριο και το Νοέμβριο. Σ'αυτούς τους μήνες, η πρόγνωση χρησιμοποιεί πιο αισιόδοξα αποτελέσματα απ'την πραγματική παραγωγή γεγονός που οφείλεται σε αποκλίσεις από τα μετεωρολογικά δεδομένα Ρόδου-Κρήτης.



Σχ.4.7 : Ιστογράμμα ετήσιας ενεργειακής απολαβής ανά μήνα για το 2011



Σχ.4.8 : Ιστογράμμα ετήσιας ενεργειακής απολαβής ανά μήνα για το 2012

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Σύνολο
σε %	5,00	6,50	7,70	9,80	10,30	11,30	11,10	10,90	10,00	7,80	5,30	4,30	100,00 ✓
σε kWh	5394,60	7012,98	8307,68	10573,42	11112,88	12191,80	11976,01	11760,23	10789,20	8415,58	5718,28	4639,36	107892,00

Σχ.4.9: Ποσοστό συνεισφοράς κάθε μήνα στην ετήσια παραγωγή σύμφωνα με την πρόγνωση

**Συνολική ενεργειακή απόδοση [MWh]**

	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Σύνολο
2010											4,13	5,69	9,83
2011	6,07	5,17	9,45	10,96	13,16	14,67	16,16	15,01	12,25	8,54	5,07	5,90	122,42
2012	5,67	6,03	10,77	14,04	5,77								42,27
													174,52
Μέση τιμή	5,87	5,60	10,11	12,50	13,16	14,67	16,16	15,01	12,25	8,54	5,07	5,80	124,74
Τμήμα έτους	4,71%	4,49%	8,11%	10,02%	10,55%	11,76%	12,96%	12,03%	9,82%	6,85%	4,07%	4,65%	100,00%
Πρόγνωση *	5,39	7,01	8,31	10,57	11,11	12,19	11,98	11,76	10,79	8,42	5,72	4,64	107,89

**Σχ.4.10:** Συνολική ενεργειακή απόδοση σε MWh για όλο το διάστημα λειτουργίας του Φ/Β πάρκου, μέση τιμή και πρόγνωση

Μήνες	Μέση τιμή 2011-2012 πραγματικής παραγωγής(MWh)	Πρόγνωση(Θεωρητικά αποτελέσματα)	Απόκλιση(MWh)
Ιανουάριος	5.87	5.39	0.48
Φεβρουάριος	5.6	7.01	-1.41
Μάρτιος	10.11	8.31	1.8
Απρίλιος	12.5	10.57	1.93
Μάιος	13.16	11.11	2.05
Ιούνιος	14.67	12.19	2.48
Ιούλιος	16.16	11.98	4.18
Αύγουστος	15.01	11.76	3.25
Σεπτέμβριος	12.25	10.79	1.46
Οκτώβριος	8.54	8.42	0.12
Νοέμβριος	5.07	5.72	-0.65
Δεκέμβριος	5.8	4.64	1.16

Πίνακας απόκλισης θεωρητικών-πραγματικών δεδομένων ανά μήνα

Για την απόκλιση των θεωρητικών τιμών των παραγόντων θερμοκρασίας-ακτινοβολίας σε σχέση με τις μετρήσιμες και οι σχέση τους με την παραγωγή είναι άλλο πολύ σημαντικό σημείο της μελέτης. Συγκεκριμένα, παίρνοντας τις τιμές της θερμοκρασίας μίας ημέρας του Απριλίου 2012 όπου έχουμε και δεδομένα για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος έχουμε το παρακάτω διάγραμμα(σχ.4.11). Απ'τη σχέση

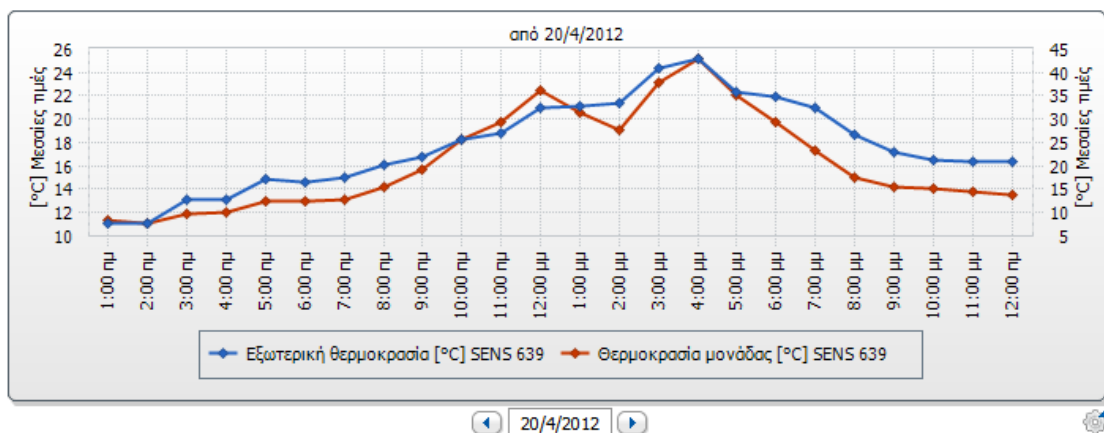
$$T_c - T_a = \frac{NOCT - 20}{0.8} \cdot G(KW / m^2) \text{ με } NOCT=46 \text{ } ^\circ\text{C} , \text{ προκύπτει ότι αν στις } 12\mu.\mu \text{ με}$$

$G=0.99KW/m^2$  και  $T_a=21 \text{ } ^\circ\text{C}$  (όπως φαίνεται στο σχ.4.11,4.12), τότε  $T_c= 53.17 \text{ } ^\circ\text{C}$ (θεωρητική τιμή) ενώ απ'το διάγραμμα προκύπτει η τιμή  $T_c=36 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Στις 2μ.μ έχουμε  $T_c=33.7^\circ\text{C}$ (θεωρητική τιμή) ενώ στο διάγραμμα  $T_c=27 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Αν γίνει η ίδια διαδικασία για τις 9/2/2012 στις 12μ.μ., τότε θα προκύψει:  $T_c=21.8^\circ\text{C}$  ενώ η πραγματική τιμή μετρήθηκε  $T_c=16^\circ\text{C}$ . Παρατηρείται μία σημαντική απόκλιση θεωρητικών και πραγματικών θερμοκρασιών ιδιαίτερα όταν έχουμε μεγάλη ένταση ακτινοβολίας και σχετικά υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επίσης παρατηρείται ότι κατά τις ώρες που δεν υπάρχει παραγωγή, οι θερμοκρασίες σχεδόν ταυτίζονται, γεγονός αναμενόμενο. Επομένως, η

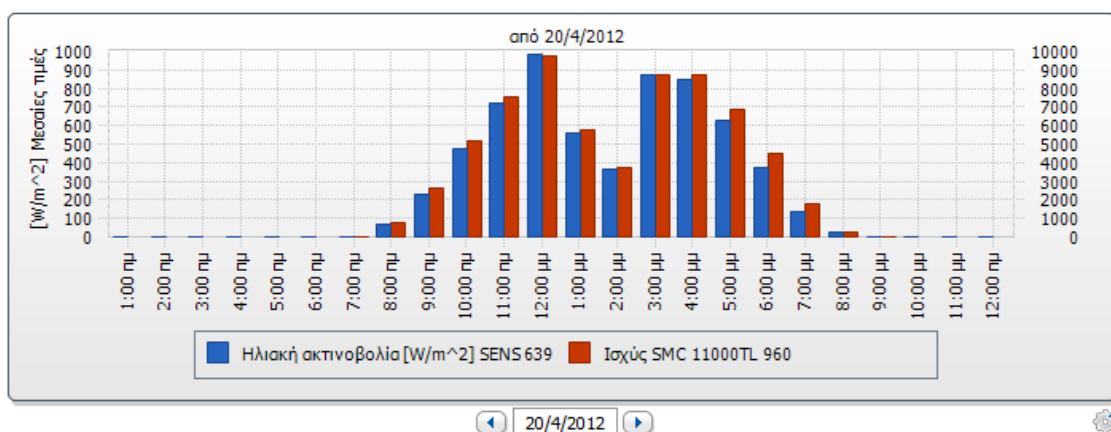
μεγάλη αυτή απόκλιση κατά τις ώρες παραγωγής μπορεί να οφείλεται είτε σε άλλους παράγοντες που η μαθηματική σχέση δε λαμβάνει υπόψιν, όπως κακή τοποθέτηση αισθητήρα θερμοκρασίας ή σφάλματα του οργάνου είτε στο γεγονός ότι η παραπάνω μαθηματική σχέση περιλαμβάνει δεδομένα για συγκεκριμένη θέση του ήλιου και ταχύτητας ανέμου κάτι που δεν έχει ληφθεί υπόψιν κατά τη μελέτη.

Όσον αφορά τις πιθανές βελτιώσεις που θα πρέπει να γίνουν ώστε να είναι πιο ακριβής η μελέτη, θα μπορούσαν να είναι οι εξής:

- Τοποθέτηση ανεμόμετρου και καταγραφή καιρικών συνθηκών για κάποια χρόνια
- Βελτίωση μοντέλου πρόγνωσης με περιγραφή ημερήσιας πρόβλεψης και όχι μηνιαίας χρησιμοποιώντας τα δεδομένα καιρικών συνθηκών που έχουν συλλεχθεί
- Χρησιμοποίηση και άλλων παραγόντων καθορισμού ενέργειας όπως κάθε είδους ρύπανσης των πλαισίων, γήρανσης και ηλεκτρικών απωλειών.
- Μετατροπή των ρυθμίσεων στο Web box ώστε να στέλνει δεδομένα ανά 15 λεπτά και όχι ανά ώρα ώστε τα δεδομένα να είναι περισσότερο ακριβή και συσχετισμένα μεταξύ τους
- Καταγραφή θερμοκρασίας περιβάλλοντος απ'την έναρξη λειτουργίας του πάρκου και όχι από το Ιανουάριο του 2012



Σχ.4.11: Σχέση θερμοκρασίας περιβάλλοντος-θερμοκρασίας πλαισίων



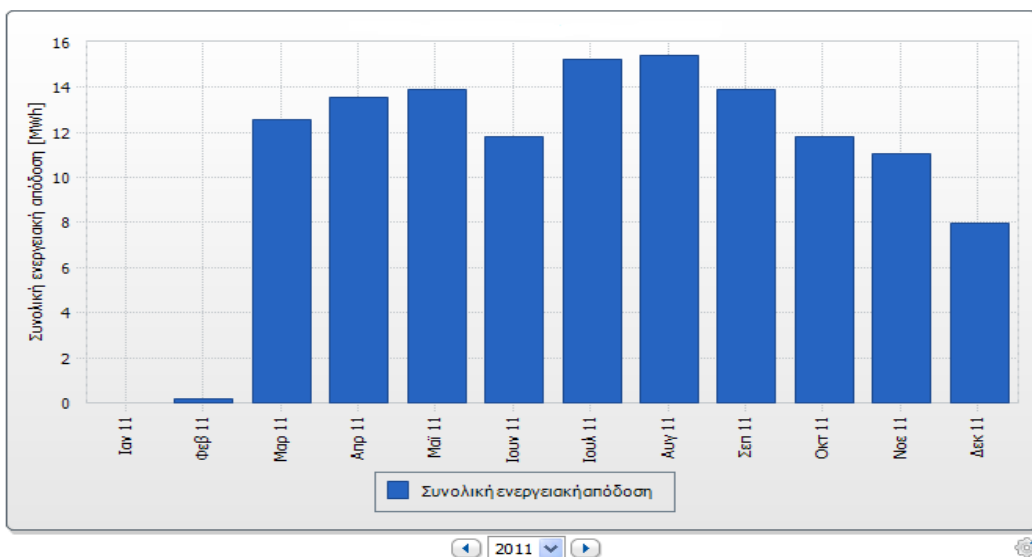
Σχ.4.12: Τιμές ηλιακής ακτινοβολίας G(W/m<sup>2</sup>) 20/4/2012

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

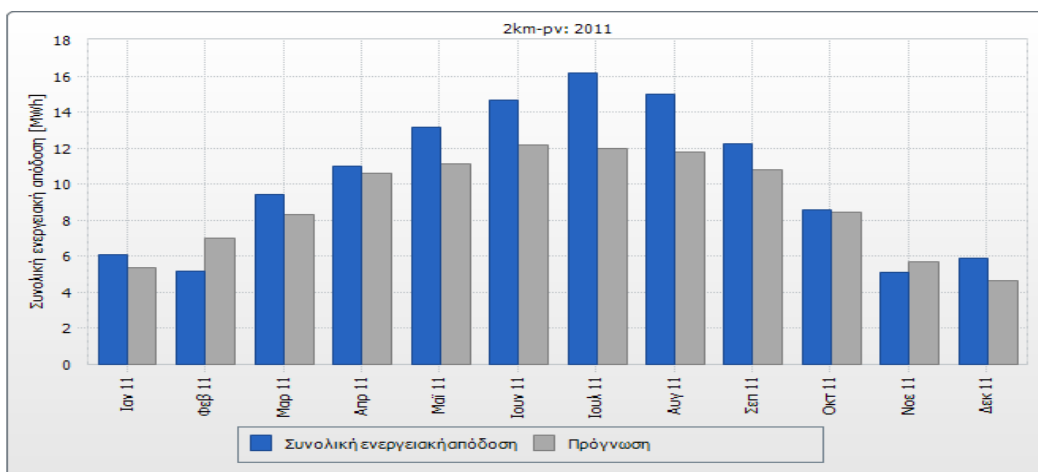
### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει μία απλή παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παραγόμενης ενέργειας από άλλο πάρκο(πάρκο 1) σε κοντινή περιοχή με το πάρκο 2km-ρν της εργασίας. Σκοπός αυτής της παρουσίασης είναι να δοθεί μία γενική εικόνα διαφορετικής παραγωγής δύο Φ/Β πάρκων ακόμα και όταν βρίσκονται σε κοντινές περιοχές και έχουν την ίδια ισχύ.

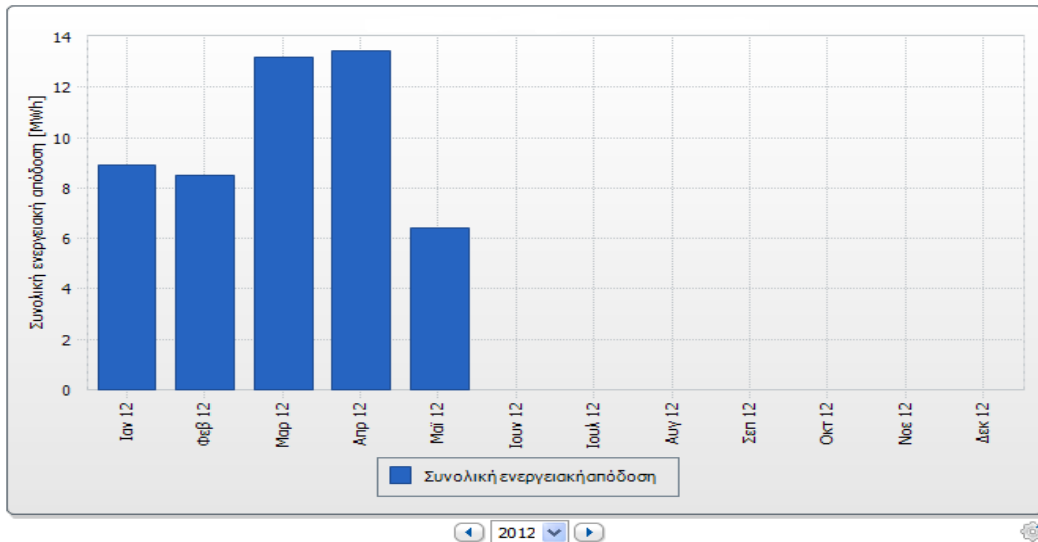
### 5.2 Παραγόμενη ενέργεια από Φ/Β πάρκο ίδιας ισχύος σε κοντινή περιοχή



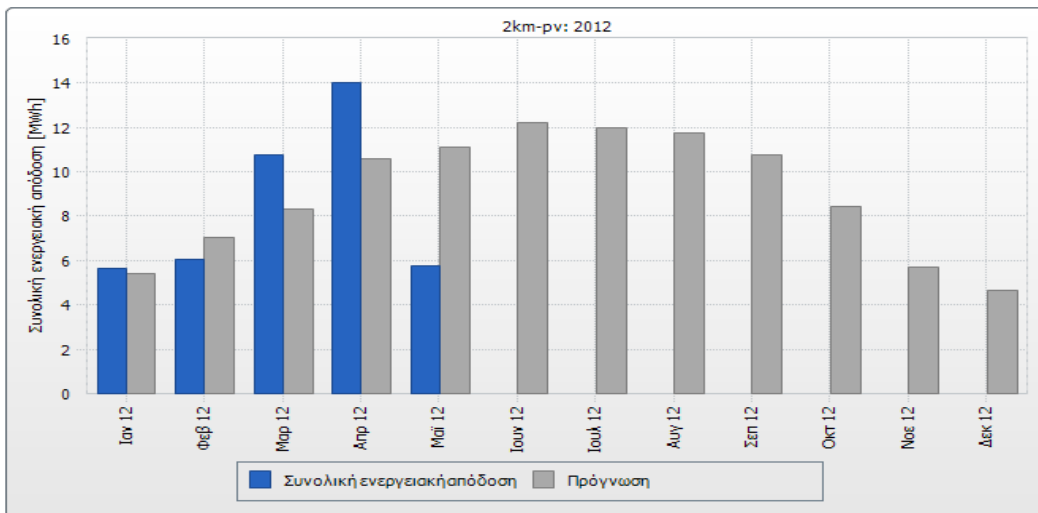
Σχ.5.1 : Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β πάρκο(πάρκο 1) στο Ρέθυμνο(2011)



Σχ.5.2 : Ετήσια παραγωγή ενέργειας από το 2km-pv πάρκο(2011)



**Σχ.5.3 :** Ετήσια παραγωγή ενέργειας από Φ/Β πάρκο(πάρκο 1) στο Ρέθυμνο(2012)



**Σχ.5.4 :** Ετήσια παραγωγή ενέργειας από το 2km-rn πάρκο(2012)

Απ'τα τέσσερα παραπάνω ιστογράμματα προκύπτουν κάποια εύλογα συμπεράσματα όσον αφορά τη σύγκριση παραγωγής των δύο πάρκων ίδιας ισχύος σε περιοχές με όμοια καιρικά φαινόμενα.

- Το πάρκο 1 παράγει περισσότερο την περίοδο Μαρτίου-Απριλίου και Οκτώβρη-Δεκέμβριο με διαφορά με το πάρκο 2km-rn που ξετάστηκε περίπου 2 MWh το μήνα
- Την περίοδο Μαΐου- Αυγούστου παράγουν περίπου την ίδια ενέργεια ενώ τον Ιούλιο το πάρκο που μελετήθηκε στην εργασία ξεπερνά το πάρκο 1
- Τους Μήνες Νοέμβρη και Φεβρουάριο που το πάρκο 2km-rn εμφανίζει αρνητική απόκλιση σε σχέση με την πρόγνωση, το πάρκο 1 έχει υψηλή για την εποχή παραγωγή

Δυστυχώς, η παραπάνω σύγκριση δεν είναι ιδιαίτερα ακριβής διότι εκτός ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες διαδικτυακά γι'αυτό, μπορεί να διαθέτει εντελώς διαφορετικές κατασκευαστικές προδιαγραφές από το πάρκο του κεφαλαίου 2.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1 Προδιαγραφές υλικών και εξαρτημάτων σε μια Φ/Β εγκατάσταση

Στην παρούσα παράγραφο εκτίθενται οι απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την κατασκευή και ολοκλήρωση ενός Φ/Β πάρκου μέχρι 100KWp καθώς επίσης και προδιαγραφές υλικών και εξαρτημάτων. Τοποθετώντας τα με μια σειρά προκύπτουν τα παρακάτω:

#### 1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΧΩΡΟΥ

Ο χώρος εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος πρέπει να προετοιμαστεί κατάλληλα για τη διευκόλυνση της εγκατάστασης των συστημάτων στήριξης των Φ/Β πλαισίων και του υπόλοιπου εξοπλισμού βάσει του σχεδίου χωροθέτησης, κάτι που θα εξασφαλίσει την στατική επάρκεια της εγκατάστασης και την ομαλή λειτουργία του Φ/Β σταθμού. Πριν από κάθε άλλη επέμβαση (διάνοιξη χανδάκων κλπ) θα προηγηθεί απαραίτητα αφαίρεση φυτικής γης και ισοπέδωση του εδάφους σε όλη την έκταση του γηπέδου (10-20 εκ βάθος) με τη χρήση κατάλληλων χωματουργικών μηχανημάτων.

Σε ειδικές περιπτώσεις γηπέδων που θα κριθεί, λόγω τοπικών συνθηκών απαραίτητο, μπορεί να γίνουν επιπλέον χωματουργικές εργασίες μετά από σχετική μελέτη και συνεννόηση με την επίβλεψη του έργου, όπως διάστρωση θραυστού υλικού, εσωτερική οδοποιία, αποστραγγιστικά έργα κλπ.

#### 2. ΠΕΡΙΦΡΑΞΗ

Η περίφραξη μπορεί να έχει 2,5 μέτρα ύψος από το έδαφος. Αποτελείται από γαλβανισμένο συρματόπλεγμα 55x55, Νο 16, ύψους 2 μέτρων και μεταλλικούς ορθοστάτες οι οποίοι είναι πάσσαλοι από γαλβανισμένους σωλήνες διαμέτρου Φ60 πάχους 1,5mm, ύψους 2,5 μέτρα με κεκλιμένη επέκταση 50 εκ.. Οι ορθοστάτες εκτείνονται ανά 2,5 μέτρα και στις γωνίες της περίφραξης θα υπάρχουν αντηρίδες. Στο επάνω μέρος της περίφραξης τοποθετούνται τρεις σειρές αγκαθωτό σύρμα γαλβανιζέ . Η θύρα της περίφραξης μπορεί να είναι συρόμενη ή ανοιγόμενη πλάτους 5μ για την εύκολη διέλευση βαρέων οχημάτων.

Οι ορθοστάτες της περίφραξης τοποθετούνται σε βάθος 50εκ και πακτώνονται μέσα σε βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα ή σε κατάλληλες γεώβιδες μετά από την απαιτούμενη γεωτεχνική μελέτη.

##### Προδιαγραφές Υλικών Περίφραξης

Συρματόπλεγμα ύψους 2,00μ, 55 x 55, πάχος σύρματος 2,7mm (N16)

Πάσσαλος από σωλήνα γαλβανιζέ Φ60 Β.Τ. (εν θερμώ - χωρίς ραφή) συνολικό ύψος 3,00μ με κάμψη 0,50μ,

Αντηρίδες από παρόμοιο σωλήνα ύψους 2,50μ.

Τάπα PVC στις οπές των σωλήνων.

Σύνδεσμοι γαλβανιζέ για τις αντηρίδες

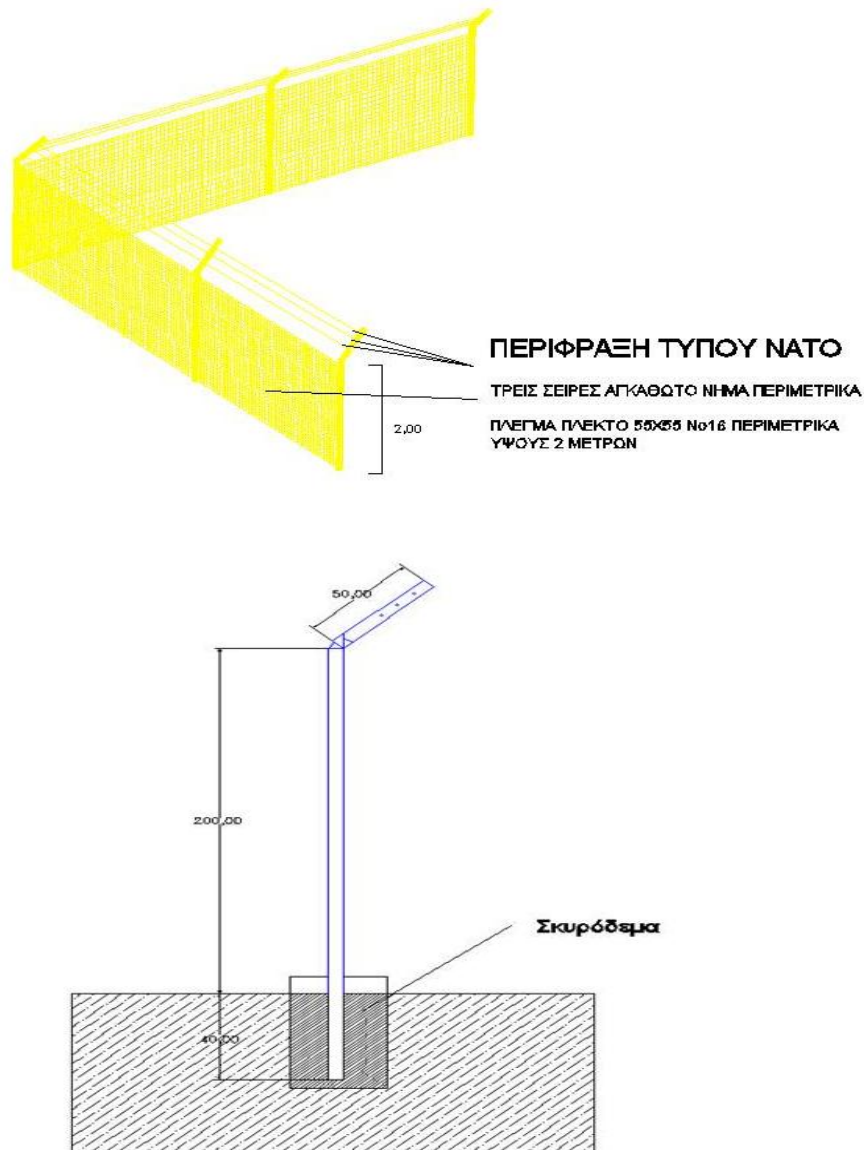
Σύρμα αγκαθωτό ,Σύρμα ούγιες N. 16

Σύρμα για δέσιμο N.11



Σκυρόδεμα C16/20

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται οι λοιπές προδιαγραφές.



Σχ. 6.1 : Προδιαγραφές και εμφάνιση ενδειγμένου τρόπου περίφραξης

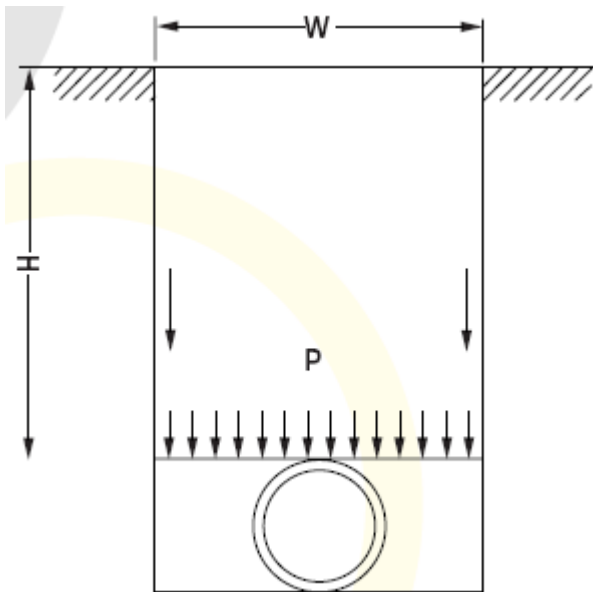
### 3. ΟΔΕΥΣΗ ΚΑΛΩΔΙΩΝ-ΣΩΛΗΝΕΣ

Η όδευση των καλωδίων πρέπει να γίνεται εντός σωλήνων προστασίας καλωδίων διπλού τοιχώματος από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (cavidotto). Εναλλακτικά γίνονται αποδεκτές σωληνώσεις από PVC-6atm ή τύπου Condur. Η όδευση των καλωδίων από τα φρεάτια στους υποπίνακες γίνεται σε σωλήνες οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε υπόγειες ηλεκτρικές και τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις. Όλες οι καταλήξεις των σωλήνων καλύπτονται από προστατευτικές ταινίες και κολάρα ώστε να διατηρούν τη συνοχή τους και να αποφεύγονται οι φθορές από εξωγενείς παράγοντες. Η

όδευση των καλωδίων ισχυρών ρευμάτων πρέπει να γίνει σε ξεχωριστό σωλήνα από τα καλώδια ασθενών ρευμάτων.

### Εγκατάσταση Σωλήνων

Για την εγκατάσταση των σωλήνων δημιουργείται τάφρος βάθους τουλάχιστον 60 εκ. και πλάτους 40εκ. Ο πυθμένας της τάφρου και το γέμισμα μέχρι 10εκ. πάνω από τον σωλήνα αποτελείται γενικά από άμμο για να δημιουργείται μια συνεχής και επίπεδη επιφάνεια. Η πλήρωση του υπολοίπου της τάφρου θα γίνεται από τα προϊόντα της εκσκαφής.



### Τεχνικά Χαρακτηριστικά Σωλήνων

**Κατασκευή:** Ο Σωλήνας Δομημένου Διπλού τοιχώματος, είναι κατασκευασμένος από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο με UV προστασία για υπόγεια ηλεκτρολογικά και τηλεφωνικά καλώδια. Είναι κατασκευασμένος από δύο δομημένα τοιχώματα: το εξωτερικό τοίχωμα είναι ελικοειδές (spiral) για να διαθέτει ελαστικότητα και για να εξασφαλίσει μεγαλύτερη αντοχή στην παραμόρφωση. Το εσωτερικό τοίχωμα είναι λείο ώστε να διευκολύνει την εισαγωγή των καλωδίων. Παράγεται σύμφωνα με CEI EN 50086-1(CEI 23-39),CEI EN 50086-2-4(CEI 23-46).

**Εφαρμογή:** Υψηλών απαιτήσεων προστασία για ηλεκτρολογικές και τηλεφωνικές εγκαταστάσεις. Κατάλληλος για κάθε είδους υπόγεια δίκτυα ηλεκτροφωτισμού & σηματοδότησεως με εξαιρετική αντοχή και μεγάλη ευκαμψία. Πρόσθετη εξωτερική προστασία για σωλήνες νερού ή φυσικού αερίου.

**Αντοχή θερμοκρασίας:** -25ο C/ +60ο C

**Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας:** 8 φορές την εξωτερική διάμετρο.

**Αντοχή παραμόρφωσης:** > 450 N με παραμόρφωση της εσωτερικής διαμέτρου ίση με 5% (σύμφωνη με την διάταξη EN 50086-2-4 CEI. 23-46).

**Μέγιστη αντοχή ελαστικότητας οδηγού καλωδίου:** > 650 N

**Εξαρτήματα:** Κάθε κουλούρα περιέχει και οδηγό (ατσαλίνα) για εύκολο τράβηγμα του καλωδίου, εξάρτημα σύνδεσης (μούφα), καθώς και προαιρετικά ελαστικό δακτύλιο για αεροστεγές σφράγισμα

**Διηλεκτρική αντοχή:** > 800 kv/cm.

**Ηλεκτρική αντοχή απομόνωσης:** >100 M Ω.

**Σύνθεση:** Πολυαιθυλένιο: 97%, Χρωστικές: 2%, Πρόσμικτα (UV προστασία): 1%

## 4. ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

### 4.1 Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ

Τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να είναι όλα της ίδιας ονομαστικής ισχύος, διακύμανση +/-3% ή καλύτερη και να έχουν όλα ακριβώς τις ίδιες γεωμετρικές διαστάσεις.

Τα Φ/Β Πλαίσια θα πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προδιαγραφές (ή αντίστοιχες) πιστοποιημένες από αναγνωρισμένο φορέα:

-IEC 61215 Mechanical stability : “Design qualification and type approval for crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules [1993-04].”

-Electrical – TUV Spec TZE/2.572.09 “Safety Class II Test on Photovoltaic (PV) Modules” ή αντίστοιχο.

-“Declaration of conformity CE” του κατασκευαστή σύμφωνα με την 2004/108/EC (ή 93/97/EC ή 89/336/EC) “Electromagnetic compatibility directive” και την 2006/95/EC (ή 93/68/EC ή 73/23/EC) “Low voltage directive”.

-IEC 61730 “Photovoltaic module safety qualification – part 1: Requirements for construction and part2: Requirements for testing”

-EN 50380 “Datasheets and nameplate information for photovoltaic modules”

Η ύπαρξη από τον κατασκευαστή διόδων παράκαμψης (by-pass diodes) είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η άψογη λειτουργία ακόμη και σε δυσμενείς συνθήκες εξαλείφοντας τον κίνδυνο υπερθέρμανσης των επιμέρους ηλιακών στοιχείων.

Τα Φ/Β Πλαίσια θα πρέπει συνοδεύονται από Flash Reports όπου θα αναγράφονται τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά όπως θα μετρώνται για το καθένα χωριστά (σε συνδυασμό με το μοναδικό αριθμό κατασκευαστή) πριν από την έξοδό τους από το εργοστάσιο κατασκευής τους. Η εγκατάσταση κάθε στοιχειοσειράς από Φ/Β πλαίσια θα γίνεται με κατάλληλη ομαδοποίηση, έτσι ώστε να περιορίζονται οι απώλειες λόγω ηλεκτρικής ανομοιομορφίας.

Τέλος τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να διαθέτουν κατ’ ελάχιστο τις παρακάτω εγγυήσεις:

- 5ετής εγγύηση προϊόντος
- Εγγύηση ισχύος: 10 έτη χρήσης στο 90% της ονομαστικής ισχύος
- 25 έτη χρήσης στο 80% της ονομαστικής ισχύος.

### 4.2 ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΙΣ ΙΣΧΥΟΣ – INVERTERS

Οι αναστροφείς θα είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί, θα συνδέουν τμήματα του Φ/Β συστήματος απευθείας στο δίκτυο και θα διαθέτουν προστασία (κλάση στεγανότητας) IP65 για εξωτερική τοποθέτηση (υπαίθρια εγκατάσταση). Σε περίπτωση που η προστασία των inverters είναι υποδεέστερη της IP65, τότε θα πρέπει να τοποθετηθούν μέσα σε κλιματιζόμενο οικίσκο.

Θα διαθέτουν όλες τις απαραίτητες από τη ΔΕΗ ασφάλειες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους στο ηλεκτρικό δίκτυο και θα είναι πλήρως συμβατοί με τους σχετικούς κανονισμούς. Θα έχουν ενσωματωμένες όλες τις διατάξεις ηλεκτρονόμων ορίου τάσης, ορίου συχνότητας, ασυμμετρίας τάσης και υπερέντασης ενώ υποχρεωτικά θα διαθέτουν προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης κάτι που σημαίνει ότι θα διακόπτουν αυτόματα τη λειτουργία τους σε περίπτωση διακοπής του δικτύου ΔΕΗ.

Επίσης θα πρέπει να διαθέτουν τις παρακάτω πιστοποιήσεις:

DIN VDE V 0126-1-1 και CE

Επιπλέον οι αντιστροφείς θα έχουν τις εξής παραμέτρους δικτύου:

Εύρος τάσεως εναλλασσόμενου ρεύματος: +15% έως -20% επί της ονομαστικής (230V)

Περιοχή συχνοτήτων εναλλασσόμενου ρεύματος:  $\pm 0,5\%$  Hz της ονομαστικής (50Hz)

Συντελεστής παραμόρφωσης ρεύματος: < 4%

DC-Current Injection: < 0,5 % του ονομαστικού ρεύματος

Τέλος θα πρέπει να διαθέτουν κατ' ελάχιστο 5ετή εγγύηση προϊόντος με δυνατότητα επέκτασης μέχρι 20 χρόνια.

### 4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η εγκατάσταση των Φ/Β πλαισίων μπορεί να γίνει σε σταθερές ή κινητές μεταλλικές βάσεις από γαλβανισμένο-εν-θερμώ χάλυβα ή από προφίλ κράματος αλουμινίου, έπειτα από αντίστοιχη εδαφοτεχνική μελέτη. Για την μελέτη των συστημάτων στήριξης πρέπει να θεωρηθούν τα μόνιμα φορτία, οι θερμοκρασιακές μεταβολές, το φορτίο χιονιού και το φορτίο ανέμου σύμφωνα με τις διατάξεις των ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΩΝ 1, 3 (βάσεις από χάλυβα) και 9 (βάσεις από αλουμίνιο). Επιπλέον πρέπει να ληφθούν υπόψη τα δυναμικά φορτία όπως προκύπτουν βάση του φάσματος σχεδιασμού του ισχύοντος Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού 2000 (ΕΑΚ-2000) με τις συμπληρώσεις του 2003.

Επίσης θα πρέπει στη φάση του σχεδιασμού και της εγκατάστασης των συστημάτων στήριξης και των Φ/Β Πλαισίων να ληφθεί μέριμνα για τη συμβατότητα των διαφόρων υλικών του εξοπλισμού (Φ/Β Πλαίσια, συστήματα στήριξης, μηχανικές συνδέσεις μεταξύ τους, κλπ) ώστε να μην εμφανίζονται ηλεκτροχημικές διαβρώσεις καθώς και για τη χρήση κατάλληλων υλικών, όπου αυτό είναι απαραίτητο, για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων (χρήση παρεμβύσματος EPDM, χρήση διμεταλλικών επαφών, κατάλληλες βίδες, κλπ).

Η πάκτωση των συστημάτων στήριξης μπορεί να γίνει είτε με την μέθοδο της πασσαλόμπτυξης, είτε μπετόμπτυξης, είτε με κατάλληλες γεωβίδες, σε τέτοιο βάθος ώστε να διασφαλίζεται η στατική επάρκεια. Στην περίπτωση που το έδαφος δεν είναι κατάλληλο για την έμπτηξη πασσάλων, η αγκύρωση μπορεί γίνει με τη βοήθεια αντίβαρων οπλισμένου σκυροδέματος και ειδικών χημικών βυσμάτων αφού προηγηθεί σχετική εδαφοτεχνική μελέτη.

Η απόσταση του κάτω μέρους κάθε συστοιχίας Φ/Β πλαισίων από το έδαφος μπορεί να είναι τουλάχιστον 50 εκ. Το σύστημα στήριξης πρέπει να έχει την απαραίτητη κλίση (περίπου 25° - 30°) σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ώστε οι συστοιχίες να εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία όσο το δυνατόν καλύτερα, ενώ θα είναι στραμμένες προς το Νότο.

Η στήριξη του παρελκόμενου εξοπλισμού (inverter, πινάκων κτλ) μπορεί να γίνει στο φέροντα οργανισμό του σκελετού.

Τα συστήματα στήριξης πρέπει να συνοδεύονται από:

- Μελέτη στατικής επάρκειας σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες μεταλλικών κατασκευών και αντίστοιχη εγγύηση.
- Εγγύηση έναντι διάβρωσης κατ' ελάχιστο για 20 έτη

### 4.4 ΛΟΙΠΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Όλη η ηλεκτρολογική εγκατάσταση θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τους κανονισμούς σχετικά με τις αρμονικές και την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα, την

Ελληνική νομοθεσία και τους σχετικούς κανονισμούς καθώς και με τους κανονισμούς της ΔΕΗ σχετικά με την ποιότητα του παρεχόμενου ρεύματος.

### **Γενικός Πίνακας AC**

Ο Γενικός Ηλεκτρικός Πίνακας προτείνεται να τοποθετηθεί εντός του Οικίσκου και θα περιλαμβάνει:

Γενικό Διακόπτη (Αυτόματο Διακόπτη Ισχύος)  
Τετραπολικούς Μικροαυτόματους των Πινάκων AC  
Επιτηρητή Τάσης  
Απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων τύπου T1+T2

### **Πίνακες AC**

Δίπλα στον κάθε inverter (από την πλευρά του AC και μέγιστη καλωδιακή απόσταση από τον inverter τα 10m) θα τοποθετηθεί μεταλλικός πίνακας ο οποίος θα φέρει :

Απαγωγούς Κρουστικών υπερτάσεων: T1 + T2  
Ασφαλαιοαποζεύκτες (ασφαλειοθήκες - fuseholder)  
Ασφάλειες : Τύπου aM ή gG  
Διακόπτη φορτίου (AC Isolator) για ασφαλή απόζευξη του εναλλασσόμενου ρεύματος

### **Πίνακες DC**

Δίπλα στον κάθε inverter (από την πλευρά των Φ/Β πάνελ και μέγιστη καλωδιακή απόσταση από τον inverter τα 10m) θα τοποθετηθεί μεταλλικός πίνακας ο οποίος θα φέρει :

Απαγωγούς Κρουστικών υπερτάσεων T1 + T2  
Ασφαλαιοαποζεύκτες (ασφαλειοθήκες – fuseholder).  
Ασφάλειες τύπου gPV @ 1000Vdc .  
Διακόπτη φορτίου (DC Isolator) για ασφαλή απόζευξη του συνεχούς ρεύματος

Όλοι οι παραπάνω πίνακες μπορούν να τοποθετηθούν εντός ή εκτός του Οικίσκου, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής της εγκατάστασης, που θα επιλεγεί. Διευκρινίζεται ότι για εξωτερική τοποθέτηση των πινάκων απαιτείται βαθμός προστασίας τουλάχιστον IP 65 και αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία.

## **4.5 ΚΑΛΩΔΙΑ**

### **Καλωδιώσεις DC**

Για την ηλεκτρολογική σύνδεση των Φ/Β πλαισίων μεταξύ τους πρέπει να χρησιμοποιηθεί ειδικού τύπου καλώδιο, με ενσωματωμένες τις επαφές θετικού και αρνητικού πόλου. Το αγώγιμο υλικό του καλωδίου είναι χαλκός, κατάλληλης διατομής. Η διατομή των καλωδίων θα υπολογιστεί έτσι ώστε η πτώση τάσης να μην υπερβαίνει το 2%. Η πολικότητα των καλωδίων πρέπει να είναι αναγνωρίσιμη όπως και τα σημεία σύνδεσής τους στις ηλεκτρικές συσκευές του Φ/Β συστήματος. Τονίζεται ότι απαιτείται ειδική σήμανση των καλωδίων για κάθε 'string'. Η όδευση των καλωδίων DC μπορεί να γίνει επί των μεταλλικών ικριωμάτων.

#### Λοιπά χαρακτηριστικά καλωδίων DC:

Πιστοποιημένα για εφαρμογές Φ/Β συστημάτων.

Αντοχή σε πολυετή έκθεση σε εξωτερικό χώρο.

Άριστη συμπεριφορά κατά την καύση, αναφορικά με την μετάδοση της φλόγας, την εκπομπή καπνού και την χαμηλή τοξικότητα.

Ελεγμένα και πιστοποιημένα από Διεθνή αναγνωρισμένα εργαστήρια  
Επιτρεπτή τάση λειτουργίας μέχρι 2kV DC και τάση δοκιμής 10kV DC.  
Εύρος θερμοκρασιών -40° C έως 100° C .  
Πιστοποίηση μεγάλης διάρκειας ζωής σύμφωνα με το IEC 60216.  
Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία UV.

### **Καλωδιώσεις AC**

Για το AC τμήμα ενός Φ/Β Σταθμού και συγκεκριμένα για τη σύνδεση των αναστροφένων DC/AC με τον κεντρικό πίνακα Χ.Τ. του Φ/Β Σταθμού χρησιμοποιούνται καλώδια τύπου NYG (J1VV-R) κατασκευασμένα σύμφωνα με το VDE-0271.

Η διατομή των καλωδίων θα υπολογιστεί έτσι ώστε η πτώση τάσης στο AC να μην υπερβαίνει το 1%.

### **Καλωδιώσεις ασθενών ρευμάτων**

Τα καλώδια ασθενών ρευμάτων τοποθετούνται σε ανεξάρτητους υπόγειους σωλήνες και θα είναι:

Καλώδια τύπου UTP ή S/FTP για την μετάδοση εικόνας από τις κάμερες και καλώδια τύπου LIYCY(TP) για τη μετάδοση σημάτων από τους αντιστροφείς και τους λοιπούς αισθητήρες προς το κέντρο ελέγχου.

Οι αποστάσεις μεταξύ ασθενών και ισχυρών ρευμάτων πρέπει να ακολουθούν τους Ελληνικούς κανονισμούς.

## **5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ**

Οι εγκαταστάσεις μπορούν να περιλαμβάνουν κατάλληλα επιλεγμένους αισθητήρες μέτρησης μετεωρολογικών παραμέτρων και δεδομένων της λειτουργίας του Φ/Β σταθμού, δηλ. αισθητήρες έντασης ηλιακής ακτινοβολίας, αισθητήρες εξωτερικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας λειτουργίας των Φ/Β γεννητριών, μετρητές στιγμιαίας ισχύος και ενέργειας στην έξοδο των Φ/Β και του αναστροφέα κλπ. Το σύστημα αδιάλειπτης καταγραφής της παραμέτρων λειτουργίας του συστήματος πρέπει να είναι συμβατό με την τεχνολογία του αναστροφέα. Το σύστημα επιτήρησης θα μπορεί να καταγράφει και να αποθηκεύει τα δεδομένα έτσι ώστε να επιτρέπει τη συνεχή ανάλυση της απόδοσης του Φ/Β πάρκου.

Οι αισθητήρες εγκαθίστανται απευθείας στα Φ/Β πλαίσια και μετρούν την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και τη θερμοκρασία του πλαισίου. Πραγματοποιούν μια συνεχή σύγκριση κανονικών/θεωρητικών τιμών της ισχύος της εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η εύκολη ανίχνευση σκιών, ακαθαρσιών ή μιας παρατεταμένης μείωσης ισχύος στο Φ/Β πλαίσιο. Οι πρόσθετες συνδέσεις των αισθητήρων για μέτρηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ή της ταχύτητας του ανέμου επιτρέπουν ακόμα πιο ακριβείς υπολογισμούς.

Το σύστημα επιτήρησης παρέχει την δυνατότητα παρακολούθησης της απόδοσης και της παραγωγής του συστήματος καθώς και όλων των παραμέτρων μέτρησης των αισθητήρων, οποιαδήποτε στιγμή και από οπουδήποτε, μέσω ενσύρματης ή ασύρματης μετάδοσης.

## 6. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ

### 6.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ

Για την ασφάλεια του σταθμού τοποθετείται σύστημα συναγερμού το οποίο αποτελείται από 4 ζευγάρια ανιχνευτών δέσμης – beams 2πλής ή 4απλής δέσμης (για καλύτερη προστασία) που θα καλύπτουν την περίμετρο του οικοπέδου. Ο αριθμός των beams μπορεί να αλλάξει ανάλογα με το σχήμα της περιμέτρου του οικοπέδου.

Το πληκτρολόγιο του πίνακα συναγερμού μπορεί να τοποθετηθεί εντός του οικίσκου, ο οποίος θα προστατεύεται με μαγνητική επαφή και ραντάρ με χρονοκαθυστέρηση. Η ενεργοποίηση-απενεργοποίηση του συστήματος συναγερμού θα μπορεί να γίνει και με ασύρματο χειριστήριο. Σε περίπτωση παραβίασης θα γίνονται τα ακόλουθα:

- Ενεργοποίηση σειρήνας συναγερμού.
- Εντολή ALARM IN στο καταγραφικό για συνεχή καταγραφή των γεγονότων.
- Ενημέρωση κέντρου λήψης σημάτων μέσω σταθερής ή κινητής γραμμής τηλεφώνου.
- Άμεσος εντοπισμός του συμβάντος και της καταγραφής από το Κέντρο Ελέγχου.
- Άμεση έναυση των προβολέων του πάρκου.

Λόγω της μη επάνδρωσης του πάρκου, θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα οπλισμού - αφοπλισμού του συστήματος από απόσταση, μέσω σταθερού ή κινητού τηλεφώνου.

#### Πίνακας Συναγερμού

Ο πίνακας συναγερμού μπορεί να τοποθετηθεί εντός του οικίσκου, θα πρέπει να έχει διαβάθμιση ασφαλείας 3, 8 ζώνες με δυνατότητα επέκτασης, 8 προγραμματιζόμενες εξόδους, δυνατότητα προγραμματισμού σε partition, 4 τουλάχιστον master κωδικούς χρηστών και 1 service, δυνατότητα κλήσεων σε 4 τηλ. αριθμούς και αποστολή μηνυμάτων sms.

Ο έλεγχος του πίνακα πρέπει να γίνεται μέσω TCP/IP, web Browser, mobile ή σταθερής τηλεφωνικής γραμμής για την απομακρυσμένη όπλιση και αφόπλιση του.

#### Δέσμες IR διπλής ή τετραπλής ακτίνας

Οι δέσμες έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Συναγερμό με την ταυτόχρονη διακοπή όλων των δεσμών για την αποφυγή ψευδοσυναγερμών

Προγραμματιζόμενη ανταπόκριση 50ms - 700ms

Έξοδο ψυχρής επαφής

Προστασία TAMPER

Ένδειξη εξασθένισης δέσμης στο Δέκτη με ένδειξη LED

Ένδειξη ALARM στο Δέκτη με ένδειξη LED

Κατάλληλη προστασία για εξωτερική τοποθέτηση

## 6.2 ΣΥΣΤΗΜΑ CCTV

Για την ασφάλεια του πάρκο τοποθετούνται περιμετρικά κάμερες παρακολούθησης και μονάδα καταγραφής DVR. Τόσο οι κάμερες όσο και το καταγραφικό θα φέρουν τα κατάλληλα πιστοποιητικά ώστε να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία.

### **Κάμερα εξωτερικού χώρου τύπου IR Bullet.**

Η κάμερα πρέπει να είναι τύπου Bullet κατάλληλη για εξωτερικές συνθήκες λειτουργίας και κυρίως για νυχτερινή λειτουργία (night vision camera). Θα έχει τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά κατ' ελάχιστο:

Day /night

Υψηλής ανάλυσης 600 γραμμών έγχρωμο / 700 B/W

Φακός 1/3"

Ανθεκτικό κέλυφος προστασίας τουλάχιστον IP 66

Σκίαστρο και αντίσταση θερμοαντική

Μηχανικό IR Cut - Filter

Ψηφιακή μείωση θορύβου

Τουλάχιστον 42 ενσωματωμένα IR leds

Δέσμη IR τουλάχιστον 60°

Απόσταση κάλυψης με IR led τουλάχιστον 30μ σε ιδανικές συνθήκες

Super Dynamic

Ψηφιακή σταθεροποίηση εικόνας

Επιλογή gain control

Ελάχιστος φωτισμός 0,15 LUX έγχρωμο / 0,0002 LUX B/W, 0 LUX με IR LENS λειτουργία

Back light Compensation

Ανίχνευση Κίνησης

Σύνδεση 1Vp-p / 75Ω

Θερμοκρασία λειτουργίας -20C / + 50C

Τάση λειτουργίας 12VDC / 24V AC

### **Καταγραφικό DVR**

Το ψηφιακό καταγραφικό μπορεί να τοποθετηθεί εντός του οικίσκου, να είναι quadruplex τυποποιημένο για 4/8 ή 16 κάμερες και να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Συμπίεση H.264

Θα έχει 4/8 ή 16 εισόδους και αντίστοιχες εξόδους loop through

Ταχύτητα εγγραφής 100FPs το 4αρι, 200 FPs το 8αρι, 400 FPs το 16αρι

Προγραμματισμός εγγραφής συνεχόμενα ή μέσω alarm, με χρονικό περιορισμό,

Ανίχνευση κίνησης

Δυνατότητα αναζήτησης εγγραφής με Ημερομηνία, Χρόνο, Γεγονός, smart search

5 Κωδικοί χρηστών

Δικτύωση 10/100Mb Ethernet Base-T, υποστήριξη DHCP, DDNS, PPOE, TCP/IP, E-mail Notification

Ενσωματωμένο DVD-RW, USB memory stick, External HDD

Ενσωματωμένο σκληρό δίσκο 500GB ή μεγαλύτερο

Λογισμικό ελέγχου – προγραμματισμού μέσω H/Y

Δυνατότητα ελέγχου μέσω πληκτρολογίου, remote control, mouse, client



### 6.3 ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Επί των ιστών των καμερών τοποθετούνται προβολείς HQI μειωμένης κατανάλωσης. Σε περίπτωση συναγερμού θα δίνεται εντολή για την έναυση των προβολέων.

Εντός του οικίσκου ή σε ειδικό πίνακα τοποθετείται UPS 1KVA για την τροφοδότηση των συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης του πάρκου σε περίπτωση διακοπής της παροχής του δικτύου.

### 6.2 Συμπεράσματα

Η σχεδίαση και κατασκευή ενός Φ/Β σταθμού είναι ένα σύνθετο πρόβλημα με πολλές παραμέτρους που σίγουρα δεν έχει μία μόνο λύση. Η αγορά παρέχει πληθώρα υλικών που επιτρέπει την ανάπτυξη σταθμών με πολλές παραλλαγές. Επιπλέον, οι μετρήσεις των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια έχουν άμεση σχέση με την τοπολογία και την τελική κατασκευή ενός Φ/Β πάρκου. Αυτό, όμως, που έχει τη μεγαλύτερη σημασία είναι να βρεθούν οι προτάσεις εκείνες που για ένα δεδομένο πάρκο να μπορεί κάποιος να πραγματοποιήσει μία ακριβή και λεπτομερή μελέτη για την παραγόμενη ισχύ έτσι ώστε να μπορεί να συμπεράνει ποιος ή ποιοι παράγοντες επηρεάζουν και σε τι ποσοστό το βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης και άρα της επένδυσης.

Απ'τη σύγκριση των δύο πάρκων των κεφαλαίων 2 και 3, συμπεραίνεται ότι κάθε μελετητής επιλέγει το δικό του τρόπο κατασκευής έτσι ώστε να προκύψει μία ασφαλής και λειτουργική παραγωγική μονάδα με το μικρότερο δυνατό κόστος. Δυστυχώς, για το πάρκο του κεφαλαίου 3 δεν υπάρχουν έως τώρα δεδομένα μετρήσεων(κατασκευάστηκε πριν 1 μήνα) ούτως ώστε να γινόταν επιπλέον μία ενεργειακή σύγκριση διαθέτοντας πλήρως όλους τους παράγοντες που επιβάλλουν τις μεταβολές.

Όσον αφορά το πάρκο του κεφαλαίου 2 στο οποίο έγινε και η μελέτη, το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε έδωσε μία ακριβή εικόνα για την εξέλιξη της παραγόμενης ισχύος-ενέργειας παρότι με κάποιες βελτιώσεις θα μπορούσε να γίνει πιο ακριβές και λεπτομερειακό. Οι βελτιώσεις αυτές έγκεινται τόσο στις τροποποιήσεις που μπορούν να γίνουν στο όργανο μετρήσεων για πιο λεπτομερείς καταγραφές κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και σε προσθήκες οργάνων(π.χ. ανεμόμετρου) στην εγκατάσταση. Η απουσία μέτρησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έκανε ακόμα πιο δύσκολη και ελλιπή την καταγραφή της μελέτης. Απ'την άλλη μεριά, η ακρίβεια και οι δυνατότητες του λογισμικού σταματούν στο σημείο που είναι πλήρεις για τον ενδιαφερόμενο-παραγωγό με αποτέλεσμα να μην καλύπτουν επαρκώς τη διαδικασία μελέτης της ενεργειακής παραγωγής. Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο λανθασμένου συμπεράσματος και μεγαλύτερου στατιστικού λάθους. Αυτό σημαίνει ότι για να πραγματοποιηθεί μία μελέτη με μεγαλύτερη ακρίβεια και εγκυρότητα θα έπρεπε ίσως να διατεθεί περισσότερος εξοπλισμός στην εγκατάσταση, να ληφθούν μετεωρολογικά δεδομένα αρκετών ετών, να γίνει ρύθμιση των παραμέτρων του λογισμικού με περισσότερες επιλογές και με μεγαλύτερη ευελιξία(όπως συσχέτιση πραγματικής τιμής ρεύματος βραχυκύκλωσης-ακτινοβολίας ή θερμοκρασίας πλαισίων-τάσης) κ.ά.

Ο τρόπος επεξήγησης και κρίσης των αποτελεσμάτων από τη μελέτη δεν είναι ο μοναδικός, ούτε απαραίτητα ο βέλτιστος. Παρόλα αυτά, όμως, δόθηκε κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε να αποκτηθεί μία γενική εικόνα στον τρόπο που επηρεάζουν τα

πραγματικά δεδομένα την παραγόμενη ενέργεια μέσα από υποθέσεις και πώς αυτά αποκλίνουν απ'τα θεωρητικά αποτελέσματα που στηρίζονται σε μαθηματικές σχέσεις. Οι υποθέσεις αυτές μπορούν να ανατραπούν ή να αμφισβητηθούν. Διαθέτουν ωστόσο ένα ισχυρό επιχειρηματικό υπόβαθρο και μας δίνουν περισσότερη εμπειρία για επόμενες μελέτες σε περιοχές με διαφορετικό μετεωρολογικό υπόβαθρο ή σε εγκαταστάσεις όπου παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες όπως η γήρανση του εξοπλισμού, η ρύπανση κ.ά.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) **Planning and Installing Photovoltaic Systems – A Guide for Installers, Architects and Engineers** , Second Edition , International Solar Energy Society, German Section, ISBN 978-1-84407-442-6
- 2) **Εισαγωγή στα Ημιαγώγιμα Υλικά και Φωτοβολταϊκές Διατάξεις** , Κ.Θ. Δέρβος, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011
- 3) **Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών**, Π. Ντοκόπουλος, , Εκδόσεις Ζήτη, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Νοέμβριος 2009, ISBN 960-431-943-4
- 4) **Ελληνικό Πρότυπο(Απαιτήσεις για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις)**, ΕΛΟΤ HD 384, Έκδοση 2<sup>η</sup> , Απρίλιος 2004
- 5) **Θεμελιακή Γείωση**, Δ.Κόκκινου, Εκδόσεις ΕΛΕΜΚΟ, Ιούνιος 2006, ISBN 960-87483-5-6
- 6) **Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία** , Κ. Καγκαράκη , Καθηγητή Ε.Μ.Π., Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992
- 7) **Επίδραση Σκίασης και Ρύπανσης στην Ενεργειακή Απόδοση Φωτοβολταϊκού Σταθμού** , Ιάσων Α. Ρουτσολιάς , Διπλωματική Εργασία
- 8) **Solar Engineering of Thermal Processes**, Duffie, J. A. & Beckman, W. A., 2η Έκδοση, Wiley, New York 1991
- 9) **Ηλεκτρισμός Από Ηλιακή Ενέργεια** ,Markvart, T., Εκδόσεις ΙΩΝ, 2003, ISBN 960-411-381-X
- 10) **Handbook of Photovoltaic Science and Engineering**, Luque, A. & Hegedus, S., Έκδοση Wiley, 2003, ISBN 0471491969
- 11) **Photovoltaics: Design and Installation Manual : Renewable Energy Education for a Sustainable Future**, Solar Energy International, Έκδοση New Society Publishers, 2004, ISBN 0865715203
- 12) **Φωτοβολταϊκά Συστήματα**, Ι. Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Έκδοση 2<sup>η</sup>, Θεσσαλονίκη 2007, ISBN 978-960-456-007-3
- 13) **Η αγορά φωτοβολταϊκών-Τάσεις και προοπτικές**, Ψωμάς Σ., Σύμβουλος Συνδέσμου Εταιριών Φωτοβολταϊκών ,Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2006.
- 14) **Increased energy yield of 50% at flat roof and field installations with optimized module structures**, Volker Quaschnig and Rolf Hanitsch, Berlin University of Technology · Institute of Electrical Power Engineering Renewable Energy Section, 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion · Vienna · Austria · 6-10 July 1998

## Ιστοσελίδες

- 1) [www.sunnyportal.com](http://www.sunnyportal.com)
- 2) [www.abb.com](http://www.abb.com)
- 3) <http://www.aros-solar.com>
- 4) <http://beta.akep.gr/AkepFiles/fotovoltaika.pdf>
- 5) <http://www.renesola.com>
- 6) <http://www.sma-hellas.com>
- 7) [www.sma.de/en/products/monitoring](http://www.sma.de/en/products/monitoring)
- 8) [www.solar-bazaar.com](http://www.solar-bazaar.com)
- 9) [http://www.posharp.com/s18220-solar-panel-from-aleo-solar\\_p861238833d.aspx](http://www.posharp.com/s18220-solar-panel-from-aleo-solar_p861238833d.aspx)

- 10) <http://sunbird.jrc.it/pvgis/cmmaps/eur.htm>
- 11) <http://www.telecables.gr>
- 12) [www.rethimno.gr/](http://www.rethimno.gr/)