



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών**

**Τμήμα Ηλεκτρολογίας**

---

**Ανάπτυξη Διάταξης Πειραματικής Μελέτης Των Απωλειών Σκίασης  
Λόγω Της Διαδοχικής Διάταξης ΦΒ Συστοιχιών**



---

**Πτυχιακή Εργασία**

*Εισηγητές :*

Αθανάσιος Γ. Κουτσάκης, Α.Μ. : 4591

Γεώργιος Ε. Ζακάκης, Α.Μ. : 4602

*Επιβλέπων καθηγητής :* Ιωάννης Φραγκιαδάκης

Ηράκλειο Ιούνιος 2011

**Υπεύθυνη Δήλωση**: Βεβαιώνουμε ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχουμε αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνουμε ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολογίας του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Αθανάσιος Γ. Κουτσάκης

Γεώργιος Ε. Ζακάκης

Απόφοιτοι Του Τμήματος Ηλεκτρολογίας Του ΤΕΙ Κρήτης

*Copyright* © Αθανάσιος Γ. Κουτσάκης, Γεώργιος Ε. Ζακάκης 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. *All rights reserved.*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας πτυχιακής εργασίας, εξ' ολοκλήρου η 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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΤΕΙ Κρήτης.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιωάννη Φραγκιαδάκη για την επίβλεψη αυτής της πτυχιακής εργασίας και για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με το αντικείμενο των φωτοβολταϊκών καθώς και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους κ.κ. Φώτη Μαυροματάκη Επίκουρο Καθηγητή Γενικού Τμήματος Θετικών Επιστημών του Τ.Ε.Ι Κρήτης, Παντελή Συλλιγάρδο και Ιωάννη Τσάμπο εξωτερικούς συνεργάτες του ΦΒ Πάρκου του Τ.Ε.Ι Κρήτης, για τις καθοριστικές συμβουλές και την βοήθεια που μας παρείχαν σε διάφορα προβλήματα που παρουσιάστηκαν.

Θερμές ευχαριστίες στον φίλο και συνάδελφο Ευάγγελο Κουρμαδιά, για την ηθική συμπαράσταση και την πολύτιμη βοήθεια που μας πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής εργασίας, η συμβολή του οποίου υπήρξε καθοριστική στην περάτωσή της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον φίλο μας Ηλία Γάσπαρη για την σημαντική βοήθειά του στην δημιουργία των προγραμμάτων σε γλώσσα προγραμματισμού *Java*, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των μετρήσεων.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους συναδέλφους από το εργαστήριο Φωτοβολταϊκό Πάρκο, που άμεσα ή έμμεσα μας συμπαραστάθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ολόψυχα τους γονείς μας, οι οποίοι στέκονται αρωγοί κάθε προσπάθειάς μας, στους οποίους και αφιερώνεται η εργασία αυτή.

Αθανάσιος Γ. Κουτσάκης

Γεώργιος Ε. Ζακάκις

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των απωλειών λόγω σκίασης σε φωτοβολταϊκά πάρκα, που οφείλονται αποκλειστικά στη διαδοχική διάταξη των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Συγκεκριμένα η σκίαση που προκαλεί μια φωτοβολταϊκή συστοιχία στην αμέσως βορειότερή της κι έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της παραγόμενης ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με αυτή που θα απέδιδε αν δεν υπήρχε το εμπόδιο της προηγούμενης συστοιχίας.

Για τη μελέτη αυτή κατασκευάστηκε μία κεκλιμένη βάση, που αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της ΦΒ συστοιχίας (πάνελ). Κατά μήκος της κεκλιμένης βάσης, ολισθαίνει ένα ΦΒ πλαίσιο με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα, περνώντας από τις θέσεις που θα είχαν τα διαδοχικά ΦΒ πλαίσια σ' ένα ΦΒ πάνελ. Η παρουσία της αμέσως νοτιότερης ΦΒ συστοιχίας αντιπροσωπεύεται από ένα μακρύ αδιαφανές πέτασμα μπροστά από τη βάση. Η απόσταση της βάσης από το πέτασμα αλλάζει με σταθερό βήμα πάνω σε ένα οριζόντιο διάδρομο που έχει κατασκευαστεί, δίδοντας τη δυνατότητα μελέτης της σκίασης σε συγκρότημα ΦΒ συστοιχιών με διαφορετική απόσταση μεταξύ τους.

Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας καταγράφονται τα δεδομένα που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία στη θέση που βρίσκεται το ΦΒ πλαίσιο, τη θερμοκρασία και την ηλεκτρική ισχύ του, καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία στη θέση αναφοράς για κάθε θέση του κεκλιμένου επιπέδου πάνω από τον ορίζοντα. Από την επεξεργασία των δεδομένων αυτών προκύπτει η στιγμιαία και η ημερήσια απόκλιση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος από το ΦΒ πλαίσιο, από τις αντίστοιχες τιμές χωρίς την επίδραση της σκίασης της προηγούμενης συστοιχίας και φυσικά, η απώλεια σε κάθε θέση πλαισίου και συστοιχίας.

Αρχικά γίνεται μία σύντομη αναφορά στο ηλιακό δυναμικό και στα ΦΒ στοιχεία. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση στη σκίαση και τις επιδράσεις που έχει στα ΦΒ πλαίσια. Έπειτα γίνεται ανάπτυξη της διάταξης για τον πειραματικό έλεγχο των επιπτώσεων σκίασης σε διαφορετικές ΦΒ συστοιχίες. Τέλος, γίνεται επεξεργασία των μετρήσεων και προκύπτουν τα συμπεράσματα για την συμπεριφορά του ΦΒ πλαισίου σε κάθε θέση.

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η πειραματική διάταξη είχε υλοποιηθεί στα πλαίσια προηγούμενης πτυχιακής εργασίας, από τον απόφοιτο του φυσικού τμήματος πανεπιστημίου Κρήτης Γεώργιο Ε. Χαλαμπαλάκη. Η συμβολή της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της διάταξης, όσον αφορά τα μηχανολογικά μέρη, η κατασκευή και ανακατασκευή ηλεκτρολογικών τμημάτων, ο προγραμματισμός ενός λογικού ελεγκτή (*Programmable logic controller – Logo*), ο οποίος κινεί την κατασκευή και δίνει εντολές για την καταγραφή των μετρήσεων. Τέλος, με τις βελτιώσεις αυτές η κατασκευή έχει το πλεονέκτημα να μετρά σε διαφορετικούς λόγους  $\tau$  (d / h) αυτοματοποιημένα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

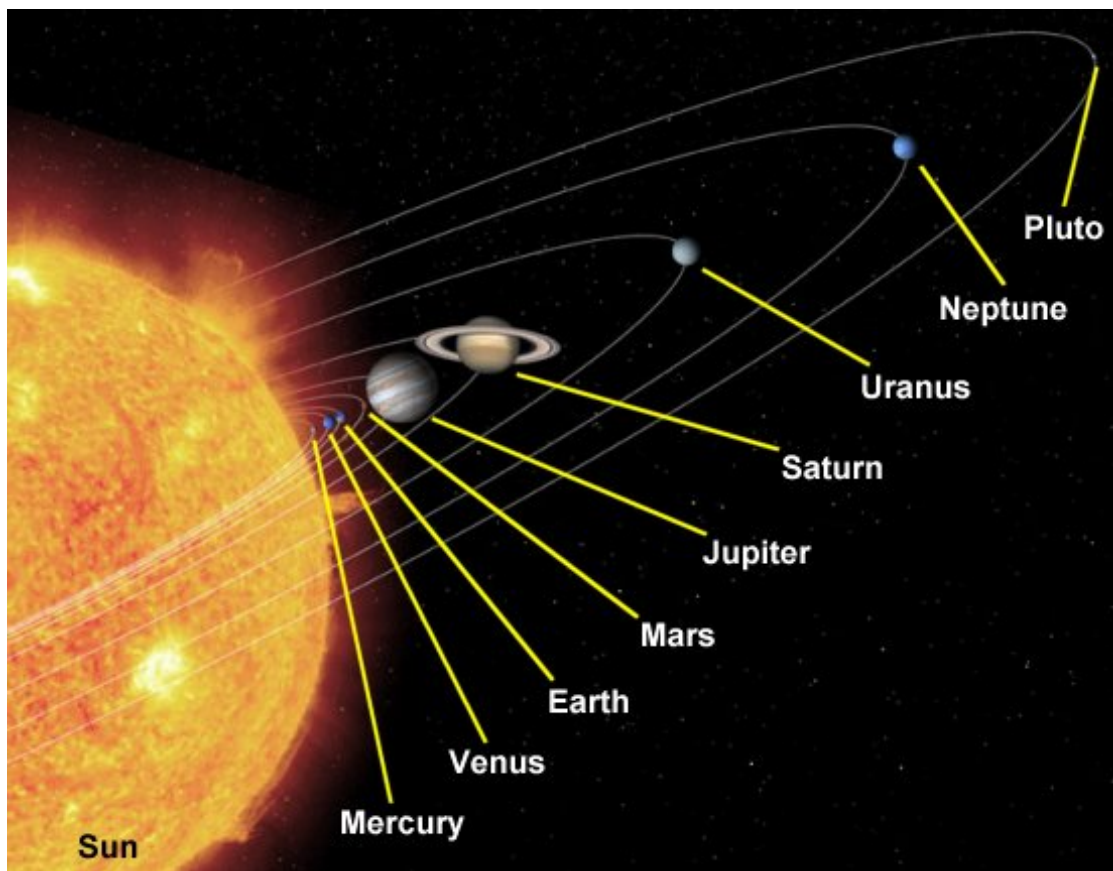
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – Το ηλιακό δυναμικό.....	1
1.1 Χαρακτηριστικά ηλιακής ακτινοβολίας.....	2
1.2 Ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας - Γεωγραφική κατανομή .....	4
1.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά.....	7
1.4 Φωτοβολταϊκό στοιχείο – πλαίσιο – <i>panel</i> – συστοιχία – ΦΒ σύστημα .....	7
1.4.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	7
1.4.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου .....	8
1.4.1.2 Πρότυπες συνθήκες ελέγχου – Καμπύλη $I - V$ ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	9
1.4.2 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο.....	11
1.4.3 Φωτοβολταϊκό <i>panel (PV panel)</i> .....	12
1.4.4 Φωτοβολταϊκή Συστοιχία ( <i>PV array</i> ) .....	12
1.4.5 Φωτοβολταϊκό Συγκρότημα ( <i>PV array field</i> ) .....	12
1.5 Αποδοτικότητα, Συντ. Χρησιμοποίησης ισχύος φωτοβολταϊκής συστοιχίας, $CF_{\Phi B}$ .....	13
1.6 Προσδιορισμός του $CF_{\Phi B}$ από πειραματικά δεδομένα .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Σκίαση σε ΦΒ πλαίσια .....	16
2.1 Σκίαση απ' ευθείας και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.....	17
2.2 Περιπτώσεις σκίασης.....	18
2.3 Επιπτώσεις στην αποδιδόμενη ισχύ και αντιμετώπιση .....	18
2.4 Θεωρητικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης .....	19
2.4.1 Θεωρητικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης σε οριζόντια επιφάνεια.....	20
2.4.2 Θεωρητικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης σε κεκλιμένη επιφάνεια.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Ανάπτυξη διάταξης πειραματικού ελέγχου των επιπτώσεων σκίασης σε διαδοχικές ΦΒ συστοιχίες .....	23

3.1	Απαιτήσεις και τρόπος σχεδίασης της πειραματικής διάταξης.....	24
3.1.1	Απαιτήσεις της πειραματικής διάταξης.....	24
3.1.2	Τρόπος σχεδίασης της πειραματικής διάταξης .....	24
3.1.3	Λειτουργία της πειραματικής διάταξης.....	25
3.2	Κατασκευαστικές και λειτουργικές λεπτομέρειες της διάταξης.....	27
3.2.1	Μηχανική διάταξη.....	28
3.2.2	Ηλεκτρολογική διάταξη .....	31
3.2.2.1	Κυκλώματα ισχύος .....	32
3.2.2.2	Βοηθητικά κυκλώματα .....	33
3.2.2.3	Αυτονομία συστήματος.....	38
3.2.3	Το λογισμικό οδήγησης.....	43
3.2.3.1	Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής της <i>xLogic Super Relay</i> .....	43
3.2.3.2	Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής της <i>Siemens</i> .....	44
3.3	Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων .....	56
3.3.1	Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων $I - V$ .....	56
3.3.2	Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων της πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου.....	58
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Μετρήσεις και επεξεργασία μετρήσεων .....	62
4.1	Τρόπος επεξεργασίας των μετρήσεων.....	63
4.2	Προσδιορισμός απωλειών σκίασης σε ΦΒ συστοιχία.....	64
4.3	Διαγράμματα ενεργειακών απωλειών .....	66
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Συμπεράσματα.....	77
5.1	Σύγκριση αποτελεσμάτων με την πρόβλεψη της θεωρίας.....	78
5.2	Προβλήματα – Βελτιώσεις.....	79
5.3	Προτάσεις.....	81
	Παραρτήματα .....	82
	Παράρτημα Α – Πυρανόμετρο ‘θέσης – αναφοράς’ .....	83



Παράρτημα Β – Θέσης ΦΒ πλαισίου.....	84
Παράρτημα Γ1 – Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος.....	90
Παράρτημα Γ2 – Πίνακας Φόρτισης Συσσωρευτή.....	91
Παράρτημα Γ3 – Βοηθητικό κύκλωμα διάταξης.....	92
Παράρτημα Γ4 – Κύκλωμα ισχύος διάταξης.....	93
Παράρτημα Γ5 – Αισθητήρας εκκίνησης – λήξης της λειτουργίας του συστήματος..	94
Παράρτημα Γ6 – Ρυθμιστής τάσης ( <i>Regulator</i> ).....	95
Παράρτημα Γ7 –Ανυψωτής τάσης ( <i>Step up</i> ).....	96
Παράρτημα Δ1 – Πρόγραμμα <i>xLogic</i> .....	97
Παράρτημα Δ2 – Πρόγραμμα <i>Siemens</i> .....	98
Παράρτημα Ε - Διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων.....	99
Παράρτημα ΣΤ1 - ‘Ταξινόμηση $I - V$ ’.....	101
Παράρτημα ΣΤ2 - ‘Ταξινόμηση <i>Logger</i> ’.....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	111

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



## ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

## 1.1 Χαρακτηριστικά ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έχει ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν τις μεταβολές που προκαλεί στα διάφορα υλικά. Γενικά η ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται από τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του ήλιου. Σαν αποτέλεσμα των αντιδράσεων αυτών μεγάλες ποσότητες υδρογόνου μετατρέπονται σε ήλιο με τη σύγχρονη ελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας και με συνέπεια την ελάττωση της μάζας του ήλιου που συντελείται με ρυθμό 4.000.000 τόνους το δευτερόλεπτο. Σε αυτά τα ποσά ενέργειας που έφτασαν στη γη κατά το παρελθόν, οφείλεται και η δημιουργία όλων των ποσοτήτων πετρελαίου και άνθρακα που υπάρχουν στο εσωτερικό της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει προς τη γη με ταχύτητα περίπου 300.000 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο και μεταφέρει ενέργεια με τα κύματα (ή φωτόνια) της. Όταν γίνει φασματοσκοπική ανάλυση της ακτινοβολίας, εμφανίζονται τα διάφορα χρώματα που περιέχονται σε αυτή. Το σύνολο αυτών των χρωμάτων αποτελεί το φάσμα του ηλιακού φωτός. Σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί μια συχνότητα. Στο ένα άκρο του φάσματος υπάρχει το κόκκινο χρώμα με συχνότητα  $4,3 \times 10^{14}$  ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο και στο άλλο άκρο το ιώδες χρώμα με συχνότητα  $7,5 \times 10^{14}$  ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο.

Ο χρόνος μιας ταλάντωσης ενός σημείου που βρίσκεται στη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος ονομάζεται περίοδος ( $T$ ). Η περίοδος είναι  $1,3 \times 10^{-15}$  δευτερόλεπτα και για το κόκκινο  $2,3 \times 10^{-15}$  δευτερόλεπτα. Η σχέση μεταξύ συχνότητας και περιόδου είναι :

$$T = 1 / f \quad (1)$$

Το μήκος κύματος  $\lambda$  είναι η απόσταση που διανύει το κύμα μέσα στο χρόνο της περιόδου και βρίσκεται από τον τύπο.

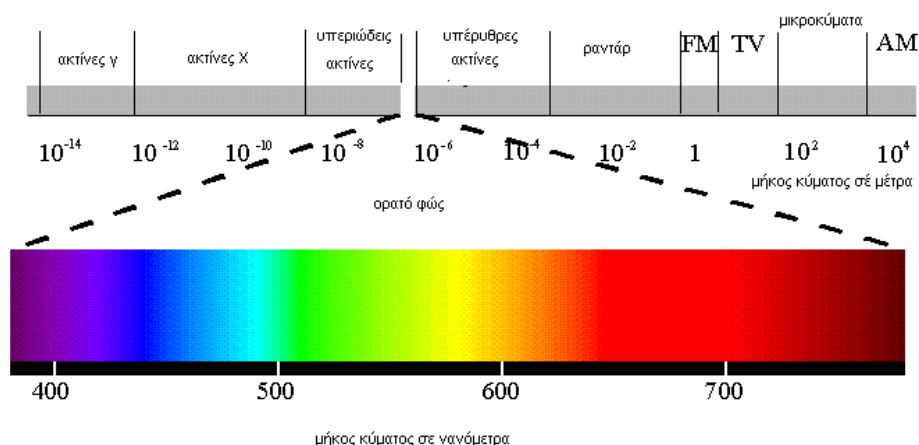
$$\lambda = U \times T \quad (2)$$

$$\text{Απόσταση} = \text{Ταχύτητα} \times \text{Χρόνος}$$

Ωστε το μήκος κύματος για το ιώδες είναι 400 nm και το μήκος κύματος για το κόκκινο είναι 700 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ )

Μεταξύ του κόκκινου και του ιώδους χρώματος περιλαμβάνεται το ορατό ηλιακό φάσμα που αποτελείται από όλα τα γνωστά χρώματα και περιλαμβάνει μόνο τα 44% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας δεν περιορίζεται μεταξύ του κόκκινου και ιώδους άκρου. Αυτό σημαίνει ότι εκτός από τις ακτινοβολίες της ορατής περιοχής υπάρχουν και ακτινοβολίες αόρατες. Έτσι μετά το άκρο που βρίσκεται το κόκκινο υπάρχει η αόρατη υπέρυθη ακτινοβολία με μήκος κύματός μεγαλύτερο των  $700\text{ nm}$ , που αποτελεί τα 50% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας. Τέλος, μετά το άκρο του ιώδους χρώματος υπάρχει η αόρατη υπεριώδης ακτινοβολία, με μήκος κύματος μικρότερο των  $400\text{ nm}$ , που αποτελεί τα 6% περίπου της ηλιακής ακτινοβολίας (Εικόνα 1.1)



Εικόνα 1.1 – Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας

Η ενέργεια  $E_\phi$  κάθε φωτονίου βρίσκεται από τον τύπο:

$$E_\phi = h \times f \quad (3)$$

Η σταθερά του *Plank*  $h$  έχει την τιμή  $6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \times \text{s}$ . Το  $f$  είναι η συχνότητα του κύματος στο οποίο ανήκει το φωτόνιο.

Εφαρμόζοντας τον τύπο βρίσκεται ότι η ενέργεια κάθε φωτονίου του ορατού ηλιακού φάσματος κυμαίνεται μεταξύ της τιμής  $2,85 \times 10^{-19} \text{ J}$  που έχει το φωτόνιο του κόκκινου χρώματος και της τιμής  $4,97 \times 10^{-19} \text{ J}$  που έχει το φωτόνιο του ιώδους χρώματος.

Από όλες τις συχνότητες του ηλιακού φάσματος μόνο οι μεγάλες συχνότητες στις οποίες αντιστοιχούν φωτόνια σχετικά μεγάλης ενέργειας είναι δυνατό να προκαλέσουν ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.

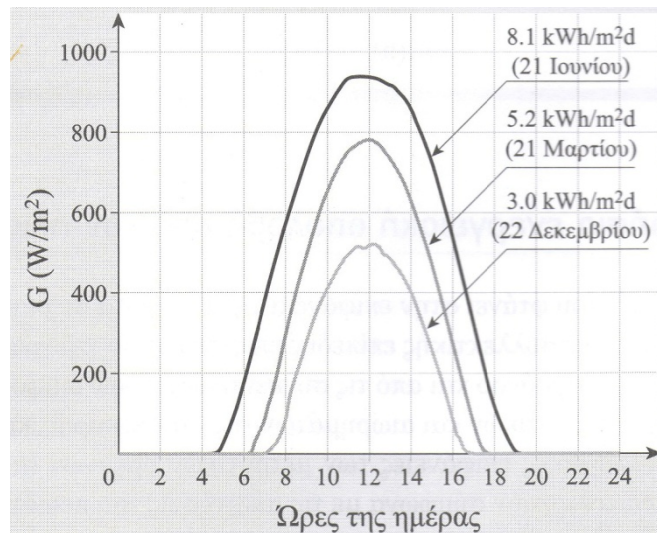
Οι συχνότητες αυτές αποτελούν το 75% του φάσματος περίπου ενώ οι υπόλοιπες δεν προκαλούν αξιοσημείωτα αποτελέσματα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

## 1.2 Ενεργειακή απολαβή ηλιακής ακτινοβολίας - Γεωγραφική κατανομή

Η ενέργεια ανά  $m^2$ , που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα, εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας, κατά την ημέρα εκείνη. Οι συλλεκτικές επιφάνειες των μετρητικών οργάνων (αισθητήρων), μπορεί να προσανατολιστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πειράματος και τις προδιαγραφές των οργάνων αυτών.

Προκειμένου, όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία, σε διεθνή κλίμακα, αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια, οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. σε ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις που να καλύπτουν περίοδο πολλών ετών (π.χ. 10 έως 30 ετών). Σε περιπτώσεις που λείπουν στοιχεία μακράς περιόδου για κάποιο τόπο, μπορούν να αξιοποιούνται στοιχεία που έχουν συλλεχθεί σε μικρότερες χρονικές περιόδους, με την επιφύλαξη τις μικρότερης αξιοπιστίας τους.

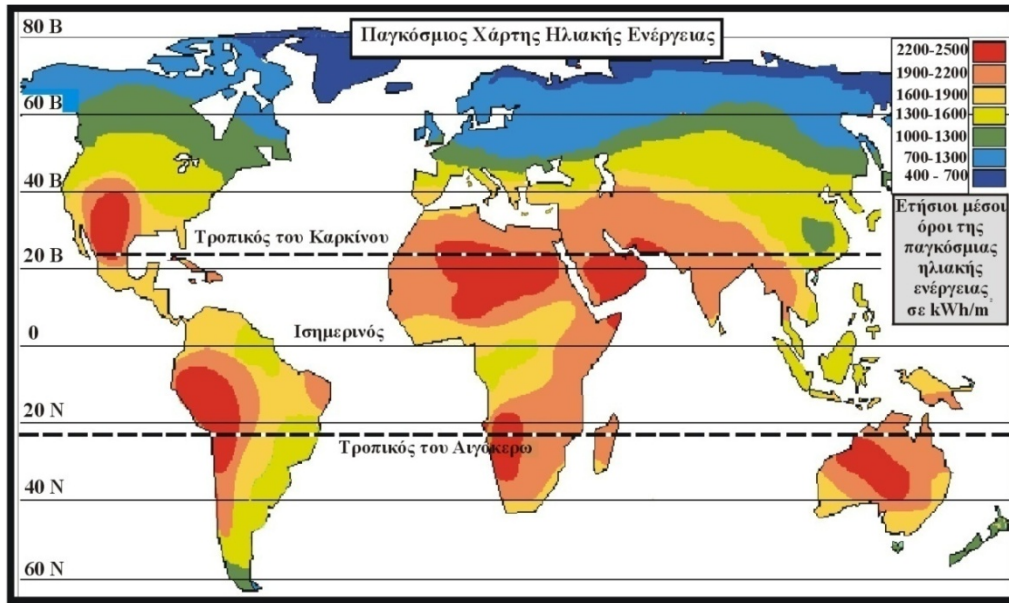
Τυπικές μορφές εξέλιξης μέσα στην ημέρα, της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο ( $G (W/m^2)$ ), απεικονίζονται στο σχήμα 1.1. Στο ίδιο σχήμα σημειώνονται και οι αντίστοιχες ενεργειακές πυκνότητες  $H$  (σε  $kWh/m^2d$ ), οι οποίες προκύπτουν ως ολοκλήρωμα ή «εμβαδόν» κάτω απ' την αντίστοιχη καμπύλη. Σημειώνεται πάντως, ότι, κατά τη διάρκεια μερικής παρουσίας σύννεφων, γύρω απ' την κατεύθυνση του ήλιου, μπορεί να παρατηρηθούν τιμές της πυκνότητας ισχύος μεγαλύτερες των τιμών που θα καταγράφονταν χωρίς την παρουσία τους. Οι συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις προέρχονται από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο "Φωτοβολταϊκό Πάρκο", στο Ηράκλειο της Κρήτης, με γεωγραφικό πλάτος  $35,5^\circ$  και γεωγραφικό μήκος  $25,2^\circ$ .



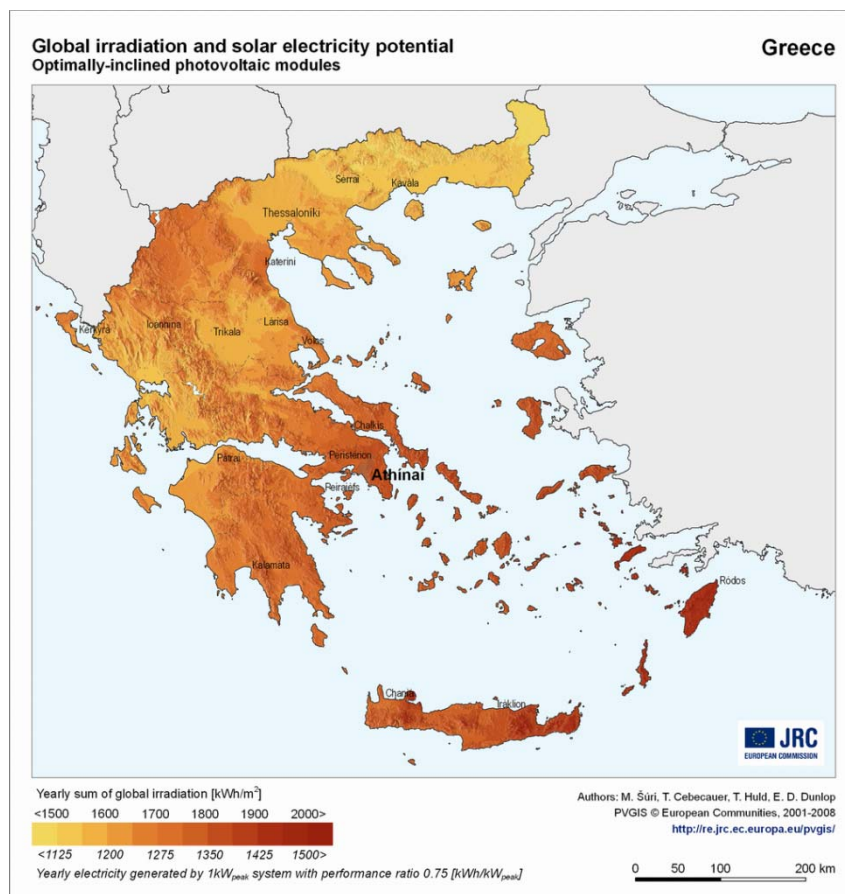
**Σχήμα 1.1.** Καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, σε πυρανόμετρο με οριζόντια επιφάνεια, στο Ηράκλειο της Κρήτης ( $\varphi = 35,5^\circ$ ), σε τρεις χαρακτηριστικές μέρες κατά τη διάρκεια του έτους

Στον τόπο αυτό, η μέση, καθ' όλο το έτος, ημερήσια τιμή της ηλιακής ενέργειας, σε οριζόντιο επίπεδο, για μια σειρά πέντε ετών, έχει προκύψει ίση με  $\bar{H}=5 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ . Τα ολοκληρώματα κάτω από τις καμπύλες του σχήματος, ισούνται με την αντίστοιχη ημερήσια ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος στο συλλέκτη ανά μονάδα επιφάνειας. Η ημερήσια μέση πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας τη συγκεκριμένη ημέρα, προκύπτει διαιρώντας το αντίστοιχο ολοκλήρωμα  $H$  (εκφρασμένο π.χ. σε  $\text{kWh/m}^2\text{d}$ ), δια των  $24 \text{ h}$  ( $\bar{G} = H/T$ , όπου  $T=24 \text{ h}$ ). Η μέση τιμή της πυκνότητας ισχύος αντιπροσωπεύει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, με την οποία αν ο τόπος φωτιζόταν όλο το εικοσιτετράωρο, η συνολική πυκνότητα ενέργειας ηλιακής ακτινοβολίας θα ήταν ίση με την πραγματικά αποδοθείσα κατά τη συγκεκριμένη μέρα. Αποτελεί τυπικό συγκριτικό στοιχείο ηλιακής ακτινοβολίας, για διαφορετικούς τόπους.

Σε περιοχές περί τους τροπικούς του Καρκίνου και του Αιγόκερω, η μέση ετησίως τιμή της είναι μεγαλύτερη (μέχρι και  $7 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ ) και αντίστοιχα, σε περιοχές στα όρια των Εύκρατων ζωνών, είναι μικρότερη ( $<3 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ ). Ο χάρτης στην εικόνα 1.2, δείχνει την κατανομή της μέσης, ετησίως, ημερήσιας ενεργειακής απολαβής από τον ήλιο, ανά τον κόσμο, ενώ στο εικόνα 1.3 ανά την Ελλάδα. Άξιο παρατήρησης είναι η ελαττωμένη τιμή της σε περιοχές της Τροπικής ζώνης (γύρω από τον Ισημερινό). Η υψηλή υγρασία των περιοχών αυτών, με την έντονη βλάστηση, έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή ελάττωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.2 Παγκόσμιος χάρτης κατανομής του ετήσιου ηλιακού δυναμικού σε οριζόντιο επίπεδο, σε  $kWh/m^2y$



Εικόνα 1.3 Κατανομή ετήσιων τιμών ενεργειακής απολαβής ( $kWh/m^2y$ ) ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια νότια προσανατολισμένου συλλέκτη σε βέλτιστη γωνία κλίσης και αντίστοιχης ενεργειακής αποδοτικότητας ( $kWh/kW_{p,y}$ ) ΦΒ στοιχείων, στην Ελλάδα

### 1.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά

Ένας τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, ο οποίος αναπτύχθηκε μέσα στο δεύτερο ήμισυ του 20<sup>ου</sup> αιώνα, είναι η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια με χρήση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (*photovoltaic cells*).

Στα πλαίσια μιας πρώτης γνωριμίας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο, στη συνήθη του μορφή, είναι απλά μια δίοδος επαφής δύο ημιαγωγών, τύπου  $p$  και  $n$  αντίστοιχα. Η περιοχή απογύμνωσής της έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε να καταλαμβάνει μεγάλη έκταση. Το πάχος του στρώματος του ημιαγωγού που πρωτοσυναντά το φως, είναι τόσο, ώστε να επιτρέπει στο φως, που θα συμβάλει στο ΦΒ φαινόμενο, να διεισδύει, τουλάχιστο στην περιοχή απογύμνωσης. Η περιοχή αυτή, αποτελεί την ενεργό περιοχή για το ΦΒ φαινόμενο. Τα δημιουργούμενα επιπλέον ελεύθερα ηλεκτρόνια στη μια μεριά της διάταξης και οι επιπλέον οπές, στην άλλη, ως αποτέλεσμα της απορρόφησης των φωτονίων, κυρίως μέσα στην περιοχή απογύμνωσης, ωθούνται από το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής, συνθέτοντας ηλεκτρικό ρεύμα, που καλείται φωτόρεύμα. Η συσσώρευση των φορέων αυτών στα δύο άκρα, συντηρεί, ανάλογα με την εξωτερική ηλεκτρική αντίσταση, μια αξιόλογη διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων τύπου  $n$  και τύπου  $p$ . Ως τελικό αποτέλεσμα έχουμε το ΦΒ φαινόμενο, που συνίσταται στη μετατροπή της ενέργειας της ΗΜ (ηλεκτρομαγνητικής) ακτινοβολίας σε ηλεκτρική. Η ένταση του ρεύματος που μπορεί να δώσει μια ΦΒ επαφή, εξαρτάται, κατά γενικό τρόπο, από την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ΗΜ ακτινοβολίας, από την έκταση της επαφής και από τη φύση και την θερμοκρασία των σωμάτων που την αποτελούν.

### 1.4 Φωτοβολταϊκό στοιχείο – πλαίσιο – *panel* – συστοιχία – ΦΒ σύστημα

#### 1.4.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120 – 160 *mm*. Το υλικό, που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των ΦΒ κυψελίδων, είναι το Πυρίτιο (*Si*) με πρώτη ύλη





την άμμο. Στην άμμο, το Πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου ( $SiO_2$ ). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή (99,99999% ή 7 εννιάρια, 7N) έως και πολύ υψηλή καθαρότητα (99,9999999% ή 9N).

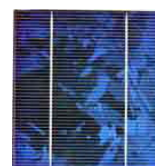
### 1.4.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου

Τα ΦΒ στοιχεία Πυριτίου διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

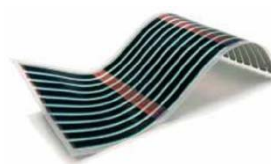
I. ΦΒ στοιχεία κρυσταλλικού Πυριτίου (*Single Crystal Silicon*): Το βασικό υλικό είναι μονοκρυσταλλικό. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (*Wafer* ~ 300  $\mu m$ ). Η απόδοσή τους, με τη μορφή κυψελίδας, κυμαίνεται από ~21% έως ~24%, ενώ με τη μορφή των ΦΒ πλαισίων, μεταξύ 13% έως 18%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής. Το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε.



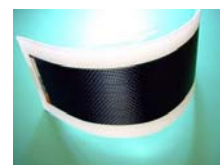
II. ΦΒ στοιχεία πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (*Multicrystalline Silicon mc-Si*): Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50  $\mu m$ . Η απόδοσή τους, κυμαίνεται από 17% έως ~20%, σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας και από 10% έως και 14%, σε βιομηχανική μορφή ΦΒ πλαισίου. Χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα. Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο.



III. ΦΒ στοιχεία ταινίας (*Ribbon Silicon*): Δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περί το 13%. Μέθοδος υψηλού κόστους και, προς το παρόν, περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.



IV. ΦΒ στοιχεία άμορφου Πυριτίου (*Amorphous* ή *Thin Film Silicon*): Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (*films*), θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας την μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Η απόδοση των ΦΒ στοιχείων



αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6% έως 8%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών ΦΒ στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες ΦΒ πλαισίων.

#### 1.4.1.2 Πρότυπες συνθήκες ελέγχου – Καμπύλη $I - V$ ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

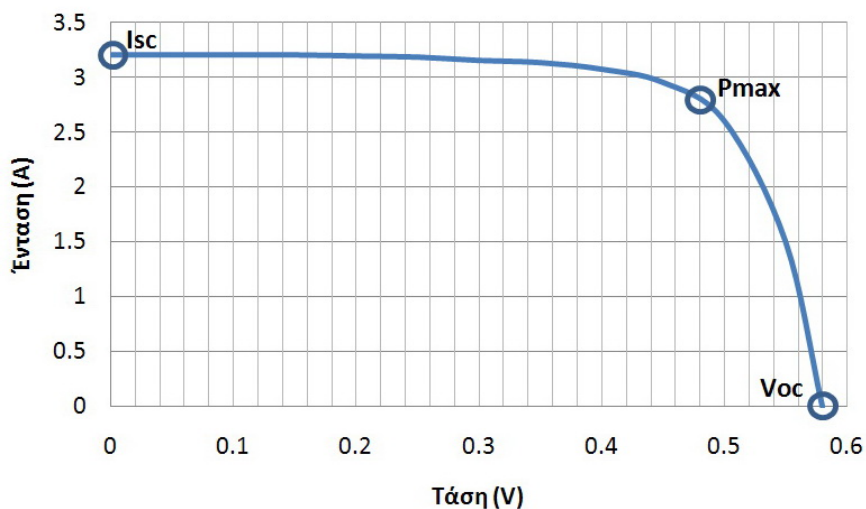
Για την ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχει διεξαχθεί πλήθος εργαστηριακών δοκιμών και έχουν καθιερωθεί κάποιες συνθήκες ως βιομηχανικά πρότυπα για τις δοκιμές, οι Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (ΠΣΔ ή  $STC$ ), συγκεκριμένα:

- Θερμοκρασία κυψελίδας :  $25^{\circ}C$
- Πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας :  $1000 W/m^2$
- Αέρια μάζα = AM 1,5

Η αέρια μάζα αναφέρεται στο πάχος της ατμόσφαιρας το οποίο διαπερνά το ηλιακό φως και αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη των χαρακτηριστικών του διαθέσιμου φωτός, αφού οι ηλιακές κυψέλες αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Εάν ο ήλιος βρίσκεται κατ' ευθείαν από πάνω, η αέρια μάζα ισούται με 1.

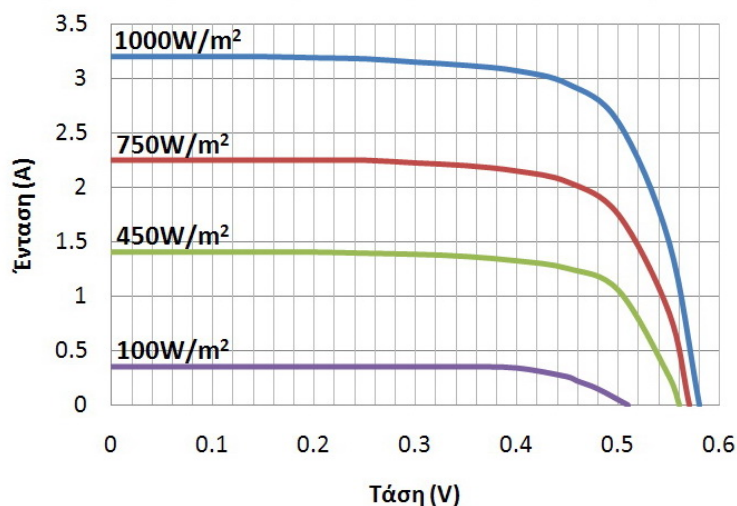
Η ποσότητα του παραγόμενου ρεύματος εξαρτάται από την τάση, και η σχέση αυτή απεικονίζεται στην καμπύλη  $I - V$  του στοιχείου. Αυτή χρησιμοποιείται για να καθοριστεί η απόδοση του στοιχείου και για τη σύγκριση μεταξύ των στοιχείων υπό ορισμένες συνθήκες. Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η καμπύλη  $I - V$  ενός στοιχείου κρυσταλλικού πυριτίου στις ΠΣΔ. Παρατηρείται ότι, αριστερά του γόνατος της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ στα δεξιά μεταβάλλεται σημαντικά με μικρές μεταβολές αυτής. Γι' αυτόν τον τύπο στοιχείου εν γένει ισχύουν:

- $I_{sc}$  (ρεύμα βραχυκυκλώματος) =  $3,36 A$
- $V_{oc}$  (τάση ανοιχτού κυκλώματος) =  $0,6 V$
- $P_{max}$  (σημείο μέγιστης ισχύος) =  $1,5 W$
- $I_{max}$  (ρεύμα στο  $P_{max}$ ) =  $3 A$
- $V_{max}$  (τάση στο  $P_{max}$ ) =  $0,5 V$



Σχήμα 1.2 Η καμπύλη  $I - V$  ενός τυπικού στοιχείου κρυσταλλικού πυριτίου σε ΠΣΔ

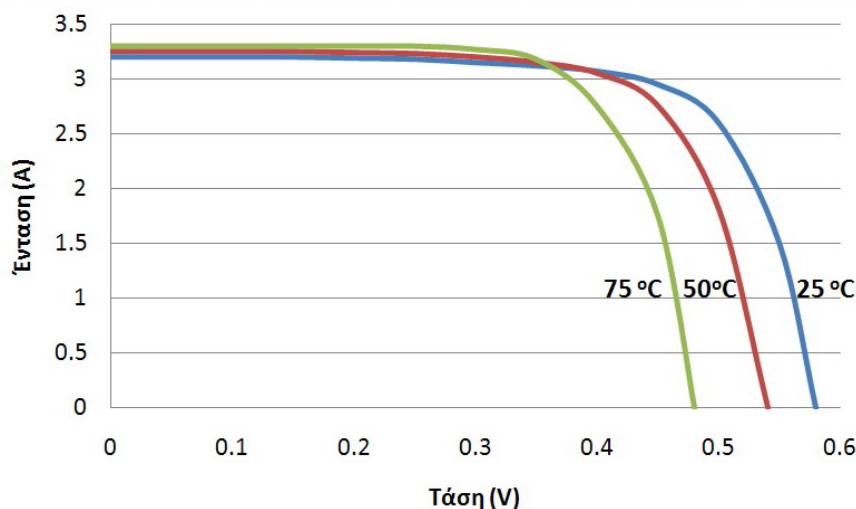
Η παραγόμενη ισχύς από το στοιχείο είναι σχεδόν ευθέως ανάλογη προς την πυκνότητα ισχύος του ηλιακού φωτός. Ένα σημαντικό γνώρισμα των ΦΒ στοιχείων είναι ότι η τάση του στοιχείου δεν εξαρτάται από το μέγεθός του, και παραμένει σχετικά σταθερή με τη μεταβολή της πυκνότητα ισχύος του φωτός. Εντούτοις, το ρεύμα σε μια διάταξη είναι σχεδόν ευθέως ανάλογο προς την πυκνότητα ισχύος του φωτός και το μέγεθός της. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3 Παραγωγή ρεύματος και τάσης ενός ηλιακού στοιχείου υπό διαφορετικές πυκνότητες ισχύος φωτός

Η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή σε υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά η τάση μειώνεται (κατά 0,0023 Volt περίπου για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου), προκαλώντας έτσι τη μείωση της ισχύος με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Το σχήμα 1.4 απεικονίζει τα χαρακτηριστικά ενός στοιχείου σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες.



Σχήμα 1.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες  $I - V$  ενός τυπικού στοιχείου κρυσταλλικού πυριτίου

### 1.4.2 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Τα ηλιακά στοιχεία συνδέονται συνήθως σε σειρά, διαμορφώνοντας ένα σύνολο που ονομάζεται πλαίσιο. Το ΦΒ πλαίσιο εν γένει αποτελεί τη μικρότερη αυτοτελή μονάδα σε μια συστοιχία, καθώς είναι μία ομάδα στοιχείων που έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και στη συνέχεια τοποθετηθεί σε ένα κέλυφος ως αυτόνομη μονάδα. Ο αριθμός των στοιχείων ενός πλαισίου καθορίζεται συνήθως από τις ανάγκες τάσης του συστήματος και οι περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλαίσια τα οποία διαστασιοποιούνται σύμφωνα με τις τάσεις των χρησιμοποιούμενων μπαταριών. Ένα τυπικό πλαίσιο για φόρτιση ενός συσσωρευτή 12 Volt έχει 33 έως 36 στοιχεία (πρέπει να παρέχει πάνω από 12 Volt για να φορτίσει το συσσωρευτή).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απόδοση του πλαισίου τελικά είναι μικρότερη από αυτήν του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό είναι οι εξής :

- Η μη πλήρης κάλυψη του πλαισίου με στοιχεία
- Τα στοιχεία ενώ είναι θεωρητικά ίδια, στην πράξη παρουσιάζουν αποκλίσεις στη λειτουργία τους. Έτσι, επειδή είναι συνδεδεμένα σε

σειρά, ενώ κάποια λειτουργούν στο βέλτιστο σημείο κάποια άλλα υπολειτουργούν

- Ο υαλοπίνακας του πλαισίου έχει κάποια ανακλαστικότητα με αποτέλεσμα να μη φτάνει όλη η ακτινοβολία του ηλίου στα στοιχεία

### 1.4.3 Φωτοβολταϊκό *panel* (*PV panel*)

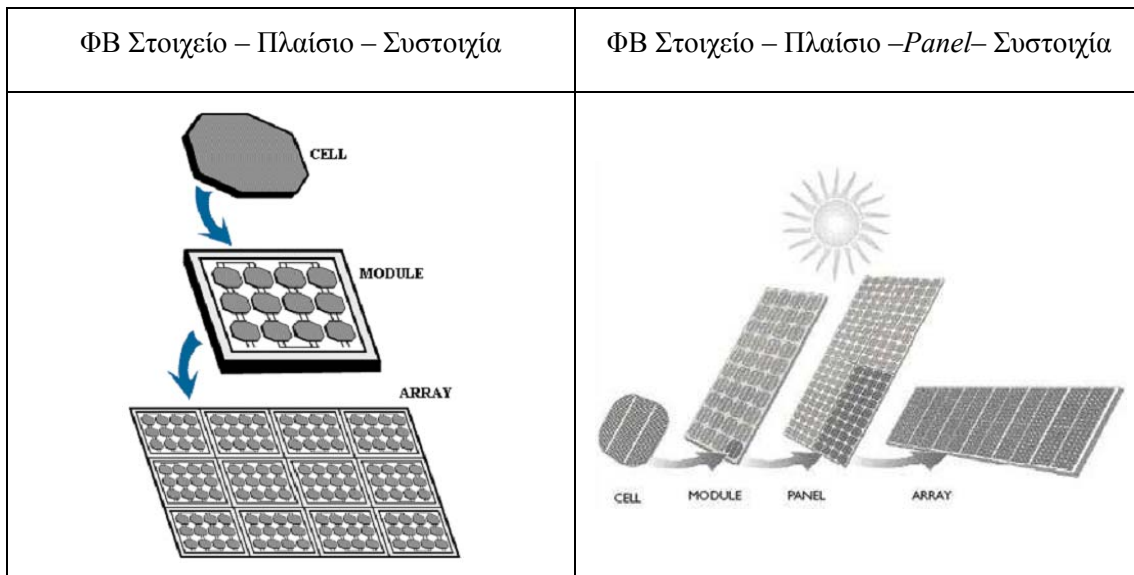
Ένα φωτοβολταϊκό *panel* αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

### 1.4.4 Φωτοβολταϊκή Συστοιχία (*PV array*)

Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από φωτοβολταϊκά *panel*. Μπορεί να αποτελείται απ' ευθείας από φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία να μη σχηματίζουν κάποιο *panel*. Σε κάθε περίπτωση, αν τα φωτοβολταϊκά *panel* (ή πλαίσια) είναι συνδεδεμένα σε σειρά δίνουν αθροιστική τάση, ενώ αν είναι συνδεδεμένα παράλληλα δίνουν αθροιστικό ρεύμα. Με αυτή τη δυνατότητα μπορούμε να επιτύχουμε επιθυμητή τάση και ρεύμα εξόδου. Στα σχήματα που ακολουθούν δίνονται οι δύο τρόποι που δημιουργείται μια ΦΒ συστοιχία, οι οποίοι είναι ουσιαστικά ισοδύναμοι.

### 1.4.5 Φωτοβολταϊκό Συγκρότημα (*PV array field*)

Ένα συνεργαζόμενο σύνολο ΦΒ συστοιχιών αποτελούν ένα ΦΒ συγκρότημα (*PV array field*) ή ΦΒ πάρκο (*PV park*), το οποίο, μαζί με όλες εκείνες τις διατάξεις που απαιτούνται για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, τον έλεγχο της φόρτισης συσσωρευτών (αν υπάρχουν), για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, αποτελούν το ΦΒ σταθμό (*PV park*).



Εικόνα 1.5

### 1.5 Αποδοτικότητα, Συντ. Χρησιμοποίησης ισχύος φωτοβολταϊκής συστοιχίας, CF<sub>ΦΒ</sub>

Αποδοτικότητα μιας ΦΒ συστοιχίας,  $Y_{\sigma}$  (*Array yield*) ορίζεται το πηλίκο της αποδιδόμενης ημερησίως (μηνιαίως ή ετησίως) ηλεκτρικής ενέργειας ( $E_{\sigma}$ ), προς την ισχύ αιχμής της ( $P_p$ ):

$$Y_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{P_p} \quad (4)$$

Εκφράζεται, συνήθως, σε  $kWh/kW_p d$  (Στην περίπτωση του μηνός ή έτους, στη θέση του  $d$  (*day*) θέτουμε  $mo$  (*month*) ή  $y$  (*year*), αντιστοίχως). Η μέσης τιμές αποδοτικότητας μηνός ή έτους, μακράς περιόδου δεδομένων, εκφράζουν το φωτοβολταϊκό δυναμικό του τόπου στις αντίστοιχες περιόδους. Διαιρώντας με τις αντίστοιχες μέρες των χρονικών αυτών περιόδων (μηνός, έτους) προκύπτει η ημερήσια μέση τιμή ανά μήνα ή ανά έτος.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης ισχύος προσδιορίζει το βαθμό εκμετάλλευσης της ονομαστικής ισχύος της διάταξης, στο χρονικό διάστημα που αναφέρεται η μέση τιμή (ημέρα, μήνας, έτος), ως η ΦΒ συστοιχία να λειτουργούσε συνεχώς στο διάστημα αυτό. Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης ισχύος  $\overline{P_{\sigma}}$  προς την ισχύ αιχμής  $P_p$  του συστήματος.

$$CF_{\Phi B} = \frac{\overline{P}_{\sigma}}{P_p} \quad (5)$$

Η μέση ισχύς ( $\overline{P}_{\sigma}$ ), ορίζεται ως το πηλίκο της αποδιδόμενης ενέργειας ( $E_{\sigma}$ ) δια τον αντίστοιχο χρόνο ( $T$ ):

$$\overline{P}_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{T} \quad (6)$$

## 1.6 Προσδιορισμός του CF<sub>ΦΒ</sub> από πειραματικά δεδομένα

Η απόδοση ενός ενεργειακού συστήματος προσδιορίζει το ποσοστό της διαθέσιμης ενέργειας που μετατρέπεται απ' το σύστημα, σε αξιοποιήσιμη μορφή. Το πρακτικό, όμως, αποτέλεσμα, που αποτελεί και το ζητούμενο κατά την αξιοποίηση κάθε ενεργειακής πηγής, είναι η σχέση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, προς αυτή που θα μπορούσε να αποδοθεί κάτω από ιδανική λειτουργία του συστήματος, μέσα σε μια ολοκληρωμένη χρονική μονάδα, όπως είναι η ημέρα, ο μήνας ή το έτος. Η σχέση αυτή προσδιορίζεται από μια παράμετρο που ονομάζεται λόγος επίδοσης (*Performance Ratio, PR*). Ο λόγος επίδοσης μιας ΦΒ συστοιχίας ( $PR_{\sigma}$ ), προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας  $E_{\sigma}$ , προς την ενέργεια  $E_{\sigma}$  ( $\eta_{\sigma,STC}, G_t$ ), που θα απέδιδε η ΦΒ συστοιχία, αν λειτουργούσε ιδανικά, χωρίς τις επιπλέον απώλειες λόγω των αποκλίσεων από την κατάσταση αναφοράς (*STC*), δεχόμενη κάθε στιγμή την ίδια πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διάρκεια της ημέρας.

$$PR_{\sigma} = \frac{E_{\sigma}}{E_{\sigma}(\eta_{\sigma,STC}, G_t)} \quad (7)$$

Συνεπώς, ο λόγος επίδοσης καθορίζει την απόκλιση της αποδιδόμενης από τη ΦΒ συστοιχία, ενέργειας σε σχέση με ιδανική δυνατότητα του συστήματος. Οι τυπικές τιμές της για ΦΒ συστοιχία, κυμαίνονται στο διάστημα 70 – 90%.

Για τον υπολογισμό του CF<sub>ΦΒ</sub>, απαιτείται η γνώση το λόγου επίδοσης της ΦΒ συστοιχίας  $PR_{\sigma}$ , για τον τόπο εγκατάστασης της, για κάθε μήνα του τυπικού μετεωρολογικού έτους (TME). Με ανάπτυξη της σχέσης (5), προκύπτουν τα παρακάτω.

$$CF_{\Phi B} = \frac{\overline{P}_{\sigma}}{P_p} = \frac{E_{\sigma}}{P_p \times T} \rightarrow$$

$$\rightarrow CF_{\Phi B} = PR_{\sigma} \times \frac{\overline{G}_t}{G_{STC}} \quad (8)$$

Όπου :

$$E_{\sigma} = P_p \times PR_{\sigma} \times \frac{\overline{H}_t}{G_{STC}} = P_p \times PR_{\sigma} \times \frac{\overline{G}_t \times T}{G_{STC}} \quad (9)$$

- $\overline{G}_t$  : μέση πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στο ΦΒ πλαίσιο
- $G_{STC}$  : πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας σε πρότυπες συνθήκες (1000 W/m<sup>2</sup>)
- $P_p$  : ισχύ αιχμής
- $\overline{H}_t$  : μέση ημερήσια τιμή ενεργειακής απολαβής ηλιακής ακτινοβολίας

Μήνες	Ηλιακά δεδομένα – ΦΒ συστοιχία		
	$\overline{H}_t$ [kWh/m <sup>2</sup> d]	PR <sub>σ</sub>	CF <sub>ΦΒ</sub>
Ιανουάριος	3.96	0.870	0.144
Φεβρουάριος	4.41	0.863	0.159
Μάρτιος	5.06	0.851	0.179
Απρίλιος	5.93	0.830	0.205
Μάιος	6.76	0.814	0.229
Ιούνιος	6.58	0.814	0.223
Ιούλιος	6.70	0.808	0.226
Αύγουστος	6.68	0.822	0.229
Σεπτέμβριος	6.21	0.845	0.219
Οκτώβριος	4.90	0.860	0.176
Νοέμβριος	3.84	0.871	0.139
Δεκέμβριος	3.10	0.879	0.114

Πίνακας 1.1 Υπολογισμός συντελεστή χρησιμοποίησης ΦΒ συστοιχίας (CF<sub>ΦΒ</sub>)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



## ΣΚΙΑΣΗ ΣΕ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΑ

## 2.1 Σκίαση απ' ευθείας και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή η οποία φτάνει απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ ), το ηλιακό ύψος ( $\alpha$ ), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\varphi$ ), το υψόμετρο του τόπου ( $h$ ), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει ( $\beta$ ), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα.

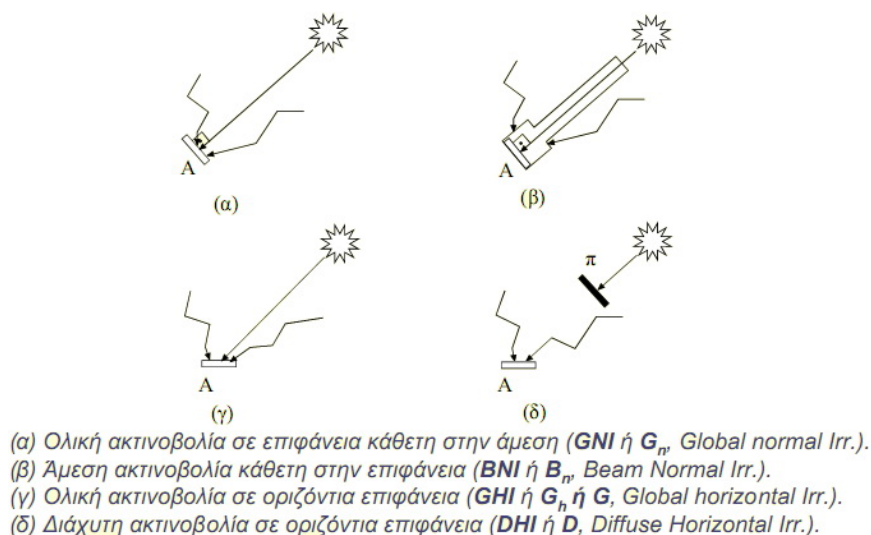
Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος( $\alpha$ ), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη, τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της.

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1.400-1.800 ( $kWh/(m^2 \cdot y)$ ) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη πυκνότητα ισχύος ( $W/m^2$ ) στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη πυκνότητα ισχύος της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη

θερινή περίοδο, καθώς ο ήλιος βρίσκεται πιο ψηλά στον ορίζοντα, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).

Για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οποιαδήποτε κεκλιμένη ή και περιστρεφόμενη επιφάνεια, είναι απαραίτητη η γνώση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.



Εικόνα 2.1 Ηλιακή ακτινοβολία

## 2.2 Περιπτώσεις σκίασης

Ένας παράγοντας επίδρασης της  $DC$  ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που υπάρχουν 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.

## 2.3 Επιπτώσεις στην αποδιδόμενη ισχύ και αντιμετώπιση

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία ίδιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη ενός και μόνο φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα μπορούσε να επιφέρει ολική

αχρήστευση του πλαισίου. Ένα σκιασμένο στοιχείο, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η απλή διάδος  $p - n$ , η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τα υπόλοιπα ‘υγιή’ στοιχεία μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα ηλιακά στοιχεία 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, το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου.

Η κατάσταση αυτή αναφέρεται ως φαινόμενο *Hot Spot* (κατάσταση “θερμής κηλίδας”). Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (διόδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο φωτοβολταϊκό στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί.

## 2.4 Θεωρητικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης

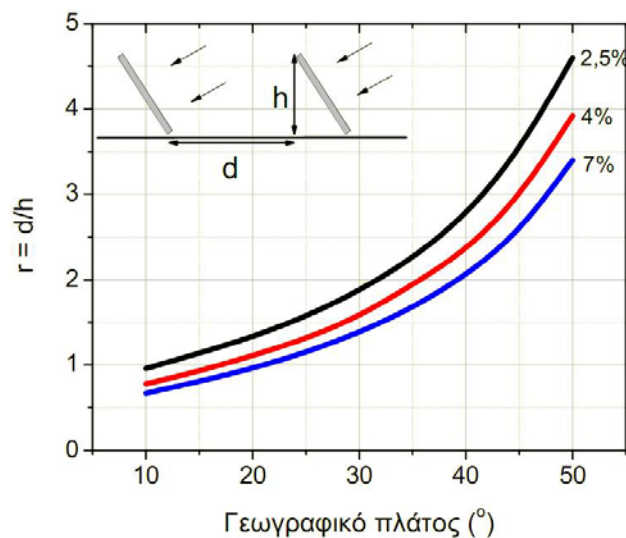
Η τοποθέτηση των συστοιχιών ενός ΦΒ σταθμού, η μια πίσω απ' την άλλη, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη, κατά κύριο λόγο, τη σκίαση που θα προκαλέσει η νοτιότερη στην αμέσως επόμενη, αν η απόσταση μεταξύ τους γίνει μικρότερη μιας χαρακτηριστικής. Σημειώστε ότι, γενικά, η σκίαση μέρους την χαμηλότερης σειράς ΦΒ πλαισίων της συστοιχίας μηδενίζει την ενεργειακή της απόδοση, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν διόδοι παράκαμψης σε κάθε ΦΒ πλαίσιο. Άρα, απαιτείται ο προσεκτικός σχεδιασμός της χωροθέτησης των συστοιχιών, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η ημερήσια ενεργειακή απολαβή από το ΦΒ συγκρότημα, για όλο το έτος ενώ ταυτόχρονα το σύνολο των συστοιχιών να καταλαμβάνει, κατά το δυνατόν, μικρότερη έκταση.

### 2.4.1 Θεωρητικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης σε οριζόντια επιφάνεια

Η εκ του προχείρου τοποθέτηση των διαδοχικών συστοιχιών, σε απόσταση τη μια απ' την άλλη, ίση με το μήκος της μακρύτερης μεσημεριανής σκιάς, μέσα στο έτος (22 Δεκεμβρίου), δεν είναι η ενδεδειγμένη. Η λύση αυτή είναι ενεργειακά ασύμφορη, διότι πριν και μετά το μεσημέρι αυτό και για πολλές μέρες πριν και μετά τη μέρα αυτή, η σκιά μιας συστοιχίας καλύπτει μέρος της επόμενης της, περιορίζοντας σημαντικά την αποδοτικότητα της. Για να προσδιοριστεί, κατά γενικό τρόπο, η αποδιδόμενη ενέργεια ετησίως, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η σκίαση που προκαλεί η νοτιότερη συστοιχία στην βορειότερή της κατά την ανατολή και δύση του ηλίου.

Το αποτέλεσμα της σκίασης συναρτάται με το λόγο  $r = d / h$ , της απόστασης  $d$  μεταξύ των συστοιχιών ως προς το ύψος τους,  $h$ . Ο λόγος  $r$  εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, υπό δεδομένη μέγιστη απώλεια λόγω σκίασης, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο.

Από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τις επιτρεπτές απώλειες, μέσω του σχήματος 2.1, προσδιορίζεται ο λόγος  $r$  και κατά συνέπεια υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών συστοιχιών ( $d$ ).

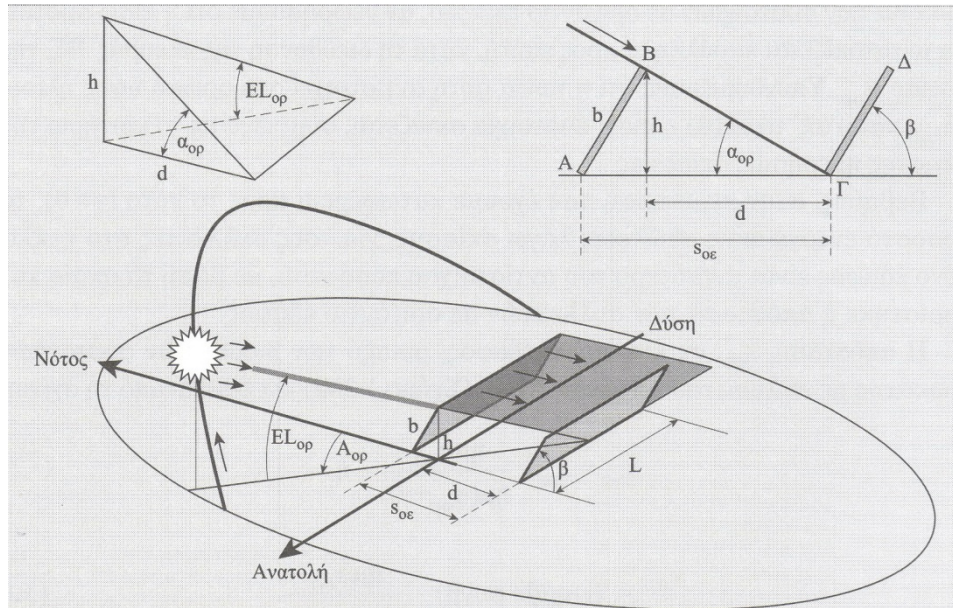


Σχήμα 2.1 Γραφική παράσταση του λόγου  $r$ , του διακένου  $d$  μεταξύ των συστοιχιών προς το ύψος τους  $h$ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

Με καθορισμένο το λόγο  $r$  για το συγκεκριμένο τόπο, η οριζόντια απόσταση,  $s_{οε}$  (οριζόντιο έδαφος), που αποτελεί την επαναλαμβανόμενη απόσταση τοποθέτησης των συστοιχιών απείρου μήκους (σχήμα 2.2), δίδεται από τη σχέση:

$$s_{οε} = d + b \times \text{συν}\beta \quad \text{ή} \quad s_{οε} = r \times h + b \times \text{συν}\beta \quad \text{ή} \quad \frac{s_{οε}}{b} = r \times \eta\mu\beta + \text{συν}\beta \quad (10)$$

όπου  $d$  το διάκενο μεταξύ των συστοιχιών,  $b$  το πλάτος της συστοιχίας και  $\beta$  η γωνία κλίσης της.



Σχήμα 2.2 Τοποθέτηση σε οριζόντιο έδαφος

### 2.4.2 Θεωρητικός προσδιορισμός των απωλειών σκίασης σε κεκλιμένη επιφάνεια

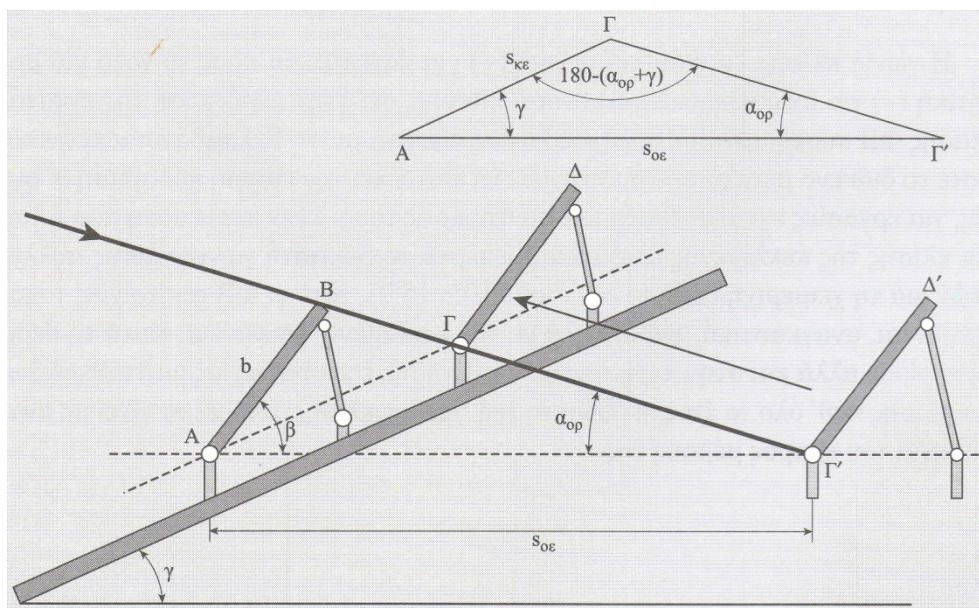
Στην περίπτωση τοποθέτησης της συστοιχίας σε κεκλιμένη επιφάνεια (σχήμα 2.3) με γωνία κλίσεως  $\gamma$ , η αντίστοιχη σχέση για την απόσταση διαδοχικών σειρών, πάνω στο κεκλιμένο έδαφος, μπορεί να προκύψει από τη γεωμετρία των συστοιχιών σε οριζόντιο επίπεδο, αν θεωρήσουμε ότι η πίσω συστοιχία μετατοπίζεται παράλληλα προς αυτή, κατά τη διεύθυνση της πλευράς ΒΓ, της γωνίας  $\alpha$ . Η γωνία  $\gamma$  αντιστοιχεί στο οριακό ύψος ηλίου,  $EL_{op}$ , κάτω απ' το οποίο η πίσω συστοιχία σκιάζεται, σύμφωνα με το κριτήριο της μέγιστης ημερήσιας απώλειας.

Στην περίπτωση που έχουμε κατωφέρεια προς το νότο ( $\gamma > 0$ ), το ποσοστό ενεργειακής απώλειας λόγω σκίασης, για τους συλλέκτες στο κεκλιμένο έδαφος είναι μικρότερο του αντίστοιχου ποσοστού, με βάση το οποίο καθορίστηκε η απόσταση των συλλεκτών σε οριζόντιο έδαφος.

Η απόσταση,  $s_{κε}$ , σε κεκλιμένο έδαφος, μεταξύ των διαδοχικών συστοιχιών προκύπτει με επίλυση του τριγώνου ΑΒΓ' (Σχήμα 2.3) και δίδεται από τη σχέση:

$$s_{κε} = s_{οε} \times \frac{\eta\mu\alpha_{op}}{\eta\mu(\alpha_{op} + \gamma)} \quad \text{ή}$$

$$\frac{s_{κε}}{b} = (r \times \eta\mu\beta + \sigma\eta\nu\beta) \times \frac{\eta\mu\alpha_{op}}{\eta\mu(\alpha_{op} + \gamma)} \quad (11)$$



Σχήμα 2.3 Τοποθέτηση σε κεκλιμένο έδαφος

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ  
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΕ  
ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ**



### 3.1 Απαιτήσεις και τρόπος σχεδίασης της πειραματικής διάταξης

#### 3.1.1 Απαιτήσεις της πειραματικής διάταξης

Η βασικότερη απαίτηση αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι ο πλήρης αυτοματισμός του συστήματος κίνησης και καταγραφής των μετρήσεων χωρίς την παρέμβαση ανθρώπινου παράγοντα.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου θα πρέπει να πληρούνται κάποιες απαιτήσεις. Η πρώτη απαίτηση είναι να γίνεται ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του συστήματος κατά την ανατολή και δύση του ηλίου αντίστοιχα. Αυτή η λειτουργία είναι απαραίτητη καθώς τις βραδινές ώρες δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και οι μετρήσεις που θα λαμβάνονται θα είναι μηδενικές. Επόμενη απαίτηση είναι το ΦΒ πλαίσιο να κινείται στο οριζόντιο και στο κεκλιμένο επίπεδο στις προκαθορισμένες και αριθμημένες θέσεις. Ο χρόνος παραμονής στις θέσεις αυτές, πρέπει να είναι συγκεκριμένος. Ο λόγος που δίδεται ο χρόνος αυτός, είναι για να προσεγγίζει το ΦΒ πλαίσιο την θερμοκρασία που θα είχε, αν ήταν σταθερό σε εκείνη την θέση. Κατά το διάστημα της παραμονής του ΦΒ πλαισίου στην κάθε θέση απαιτείται η ταυτόχρονη καταγραφή της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύς του, της ηλιακής ακτινοβολίας από το πυρανόμετρο θέσης<sup>1</sup> και αναφοράς<sup>2</sup>, καθώς και της θερμοκρασίας. Τελευταία απαίτηση του συστήματος είναι το ΦΒ πλαίσιο να διέρχεται από όλες τις προκαθορισμένες θέσεις κατά το δυνατόν γρηγορότερο τρόπο ούτως ώστε να καταγράφεται μεγαλύτερο πλήθος μετρήσεων κατά την διάρκεια της ημέρας.

#### 3.1.2 Τρόπος σχεδίασης της πειραματικής διάταξης

Η επιλογή του χώρου εγκατάστασης της κατασκευής έγινε ώστε το πείραμα να είναι πιο «κοντά» σε πραγματικές συνθήκες. Η καταλληλότερη θέση βρέθηκε να είναι η ταράτσα του εργαστηρίου του ΦΒ Πάρκου του Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου Κρήτης, με διαστάσεις 20m X 5m. Η θέση αυτή επιλέχτηκε διότι σε μεγάλη ακτίνα δεν βρίσκονται εμπόδια, τα οποία θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα πειραματικά δεδομένα. Στη νότια πλευρά, η οποία έχει τη διεύθυνση ανατολής - δύσης, τοποθετήθηκε ένα μακρύ κατακόρυφο πέτασμα, ύψους 1m, σε όλο το μήκος της

---

<sup>1</sup> Παράρτημα Α

<sup>2</sup> Παράρτημα Α

ταράτσας (17m), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1, το οποίο αντιπροσωπεύει την ύπαρξη της νοτιότερης σειράς ΦΒ συστοιχιών.

Η επόμενη ΦΒ συστοιχία αντιπροσωπεύεται από το ολισθαίνον ΦΒ πλαίσιο<sup>3</sup> το οποίο κινείται σε κεκλιμένο επίπεδο με την βοήθεια μιας βάσης (φορείο), η κλίση του οποίου είναι 30°. Το κεκλιμένο επίπεδο είναι τοποθετημένο πάνω σε τρεις οριζόντιες ράγες στο μέσο της ταράτσας του κτηρίου, παράλληλα μεταξύ τους σε απόσταση 38cm η μία από την άλλη, κατά τη διεύθυνση βορρά-νότου.

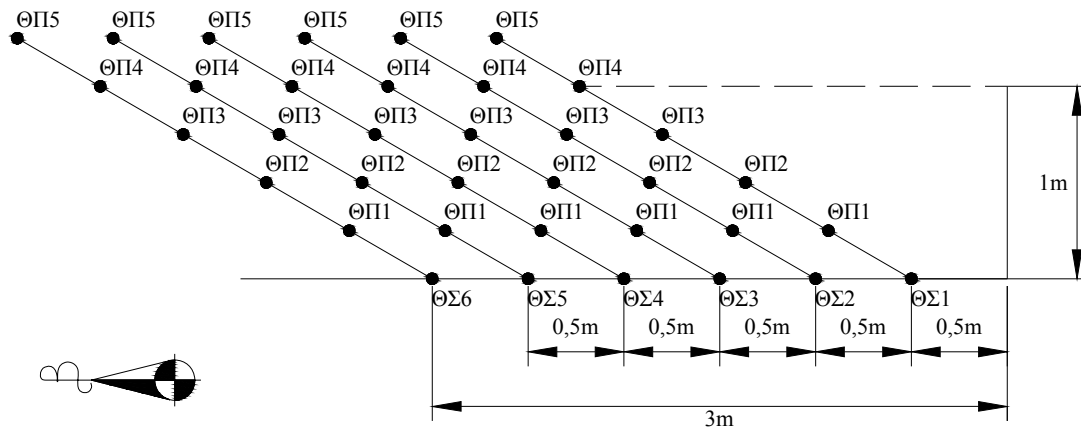


Εικόνα 3.1 Χώρος εγκατάστασης της διάταξης (Ανατολική λήψη)

### 3.1.3 Λειτουργία της πειραματικής διάταξης

Η πειραματική διάταξη έχει κατασκευαστεί και προγραμματιστεί για να εκτελεί ένα συγκεκριμένο κύκλο λειτουργίας. Σε κάθε κύκλο λειτουργίας το ΦΒ πλαίσιο διέρχεται από τριάντα (30) διαφορετικές θέσεις. Έξι στο οριζόντιο (Θέση Συστοιχίας, ΘΣ) και πέντε στο κεκλιμένο επίπεδο (Θέση Πλαισίου, ΘΠ). Σε κάθε μία από αυτές γίνεται καταγραφή της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύς και της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου, καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας από το πυρανόμετρο θέσης και αναφοράς.

<sup>3</sup> Χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίου,  $P_{mpp} = 50\text{Watt}$  /  $U_{mpp} = 17.2\text{V}$  /  $I_{mpp} = 2.9\text{A}$  /  $V_{oc} = 20\text{V}$  /  $I_{sc} = 3.2\text{A}$



Σχήμα 3.1 Θέσεις ΦΒ πλαισίου

Κατά την ανατολή του ηλίου διεγείρεται ένα αισθητήριο (φωτοαντίσταση) το οποίο σε συνεργασία με μία διάταξη ενεργοποιεί μία επαφή, που με την σειρά της δίνει την έναρξη για την εκκίνηση του συστήματος.

Σε επόμενο βήμα γίνεται έλεγχος αν η διάταξη βρίσκεται στις αρχικές θέσεις<sup>4</sup>. Αν βρίσκεται σε αυτές, μετά από χρονικό διάστημα ίσο των πέντε λεπτών ξεκινάει το σύστημα και καταγράφεται η πρώτη μέτρηση. Στην αντίθετη περίπτωση, το σύστημα αρχίζει να κινείται προς αυτές, ενώ παράλληλα έχει ξεκινήσει να μετράει το χρονικό διάστημα των πέντε λεπτών που χρειάζεται για να ξεκινήσει.

Μετά από αυτό το χρονικό διάστημα καταγράφονται οι πρώτες μετρήσεις<sup>5</sup> και το ΦΒ πλαίσιο αρχίζει να κινείται στο κεκλιμένο επίπεδο προς την ΘΠ2. Όταν φτάσει σε αυτή, σταματάει η κίνησή του και παραμένει στη θέση αυτή για πέντε δευτερόλεπτα, έπειτα καταγράφονται οι δεύτερες μετρήσεις και το ΦΒ πλαίσιο αρχίζει να κινείται προς την ΘΠ3. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι και την ΘΠ5 η οποία είναι και η θέση αναφοράς. Μετά την καταγραφή των μετρήσεων της ΘΠ5 το ΦΒ πλαίσιο αρχίζει να κινείται προς την ΘΠ1, ενώ παράλληλα η διάταξη μετακινείται, από την ΘΣ1, στην ΘΣ2. Όταν η διάταξη φτάσει στις θέσεις αυτές επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία.

Όμοια η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου η διάταξη φτάσει μέχρι και την ΘΣ6.

Όταν ολοκληρωθεί ο κύκλος λειτουργίας και μόλις η διάταξη φτάσει στις αρχικές θέσεις και των δύο επιπέδων (ΘΣ1, ΘΠ1, παράρτημα Β), η διαδικασία των

<sup>4</sup> ΘΣ1, ΘΠ1, Παράρτημα Β, σε αυτό το παράρτημα ορίζονται όλες οι θέσεις της διάταξης

<sup>5</sup> Καταγραφή της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύς και της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου, καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας από το πυρανόμετρο θέσης και αναφοράς

μετρήσεων αρχίζει ξανά μετά από πέντε δευτερόλεπτα. Ο κάθε κύκλος λειτουργίας διαρκεί περίπου επτά λεπτά.

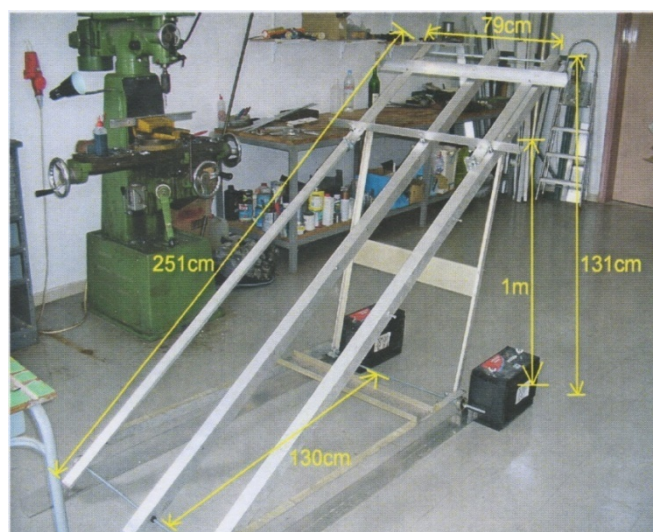
Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι και την δύση του ηλίου. Μετά την δύση του, το αισθητήριο αποδιεγείρεται και η διάταξη επανέρχεται στις αρχικές θέσεις.

Τέλος, σε περίπτωση που το σύστημα για οποιοδήποτε λόγο κινηθεί εκτός των προκαθορισμένων θέσεων, έχουν τοποθετηθεί κατάλληλα αισθητήρια για να γίνεται άμεση διακοπή της λειτουργίας του. Ταυτόχρονα ενεργοποιείται ένα ηχητικό και οπτικό κύκλωμα το οποίο ειδοποιεί ότι η διάταξη είναι εκτός λειτουργίας.

### 3.2 Κατασκευαστικές και λειτουργικές λεπτομέρειες της διάταξης

Το κεκλιμένο επίπεδο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2, είναι κατασκευασμένο από γωνίες αλουμινίου πάχους 6mm και πλευράς 4cm x 4cm. Το ύψος του είναι 131cm, το πλάτος του είναι 79cm και το μήκος της βάσης επιπέδου είναι 130cm.

Η συγκεκριμένη κατασκευή είχε υλοποιηθεί στα πλαίσια προηγούμενης πτυχιακής εργασίας, καθώς και το φορείο του ΦΒ πλαισίου μαζί με το σύστημα μετακίνησής του. Επίσης είχε κατασκευαστεί και το οριζόντιο επίπεδο για την μετακίνηση του συστήματος με διεύθυνση βορρά – νότου. Για την υλοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας χρειάστηκε να γίνουν κάποιες ανακατασκευές στα μηχανικά αυτά μέρη, οι οποίες αναφέρονται σε επόμενη παράγραφο.



Εικόνα 3.2 Διαστάσεις κεκλιμένου επιπέδου

### 3.2.1 Μηχανική διάταξη

- Η κίνηση του ΦΒ πλαισίου πάνω στο κεκλιμένο επίπεδο γίνεται με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος (*DC*) ισχύος *36Watt*, ο οποίος τοποθετήθηκε στο



κάτω μέρος του φορείου και μεταδίδει την κίνηση με ένα σύστημα κρεμαγιέρας με γρανάζι (*rack and pinion*). Η τοποθέτηση της κρεμαγιέρας έγινε στο μέσο του κεκλιμένου επιπέδου ώστε να μοιράζεται το βάρος του κινητήρα και της βάσης. Ακόμη η κρεμαγιέρα τοποθετήθηκε με το οδοντωτό τμήμα προς τα κάτω, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη στήριξη της βάσης και ταυτόχρονα να αποκλείεται η τυχαία αποσύμπλεξη του γραναζιού του κινητήρα από την κρεμαγιέρα.

Εικόνα 3.3 Κίνηση ΦΒ πλαισίου στο κεκλιμένο

- Όμοια, η κίνηση στο οριζόντιο επίπεδο γίνεται με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος (*DC*) ισχύος *36Watt*. Το σύστημα κίνησης του κινητήρα, η θέση του καθώς και ο τρόπος τοποθέτησής του είναι όμοιος με αυτόν του κινητήρα στο κεκλιμένο επίπεδο.



Εικόνα 3.4 Κίνηση κεκλιμένου επιπέδου στο οριζόντιο

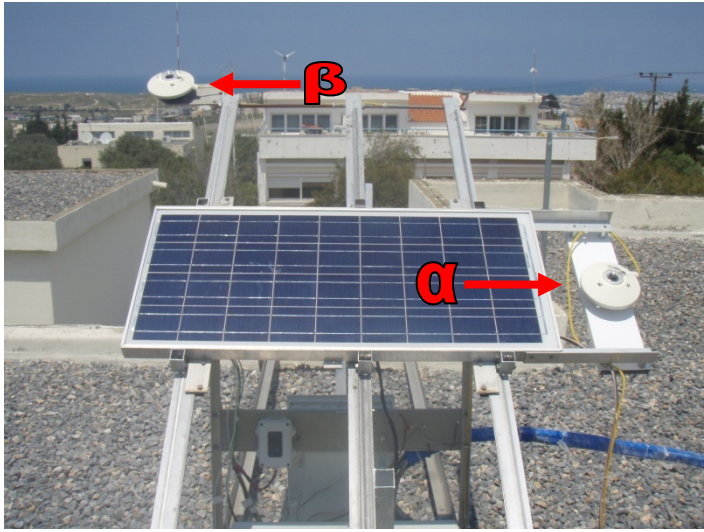
- Οι θέσεις από τις οποίες διέρχεται το ΦΒ πλαίσιο για την καταγραφή των μετρήσεων είναι αυστηρά καθορισμένες και ορίζονται με την κατασκευή που



Εικόνα 3.5 Θέσεις καταγραφής μετρήσεων

φαίνεται στην εικόνα 3.5. Για την κατασκευή αυτών των θέσεων χρησιμοποιήθηκε αλουμίνιο ειδικά διαμορφωμένο στις άκριές του για την εύκολη μετακίνηση των αισθητήρων πάνω σε αυτές.

- Για την καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας



χρησιμοποιήθηκαν δύο πυρανόμετρα, τα οποία είναι τοποθετημένα στο ίδιο επίπεδο με το ΦΒ πλαίσιο, το πυρανόμετρο θέσης (α) και αναφοράς (β) φαίνονται στην εικόνα 3.6. Το πυρανόμετρο θέσης ακολουθεί την κίνηση του ΦΒ πλαισίου και καταγράφει

την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το ΦΒ πλαίσιο σε κάθε θέση από όπου διέρχεται. Ενώ το πυρανόμετρο αναφοράς καταγράφει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς αυτό να επηρεάζεται από το σκίαστρο, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση αυτών των δύο.

- Λόγω του ότι το σύστημα μετακινείται, πρέπει παράλληλα με αυτό να γίνεται και η κίνηση των καλωδίων. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε μια πλεξούδα η οποία περιέχει τα καλώδια που χρειάζονται. Για την μετακίνηση της πλεξούδας χρησιμοποιήθηκε ένα συρματόσκοινο ως διάδρομος, πάνω στον οποίο ολισθάνει μία κατασκευή για την στήριξη και μετακίνηση της. Ο λόγος της κατασκευής αυτής είναι για την αποφυγή της φθοράς των καλωδίων από τις τριβές που δέχεται από το έδαφος.



Εικόνα 3.7 Στήριξη καλωδίων

- Τέλος, για την φόρτιση του συσσωρευτή του συστήματος κατασκευάστηκε



ένα ΦΒ πάνελ το οποίο αποτελείται από τρία επιμέρους ΦΒ πλαίσια των  $50W_p$ . Τοποθετήθηκε στην νότια πλευρά του πετάσματος για την αποφυγή σκίασης του υπόλοιπου συστήματος.

Εικόνα 3.8 ΦΒ πάνελ

### 3.2.2 Ηλεκτρολογική διάταξη

Το ηλεκτρολογικό μέρος της διάταξης αποτελείται από τα κυκλώματα ισχύος κι από τα βοηθητικά (Παράρτημα Γ3, Γ4). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το ηλεκτρολογικό μέρος πρέπει να συνεργάζεται με το μηχανικό κι αντίστροφα, για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Όταν σε ένα από τα δύο μέρη εντοπιστεί σφάλμα, το σύστημα τίθεται εκτός λειτουργίας.

Κυκλώματα ισχύος είναι το κύκλωμα φόρτισης του συσσωρευτή του συστήματος, καθώς και οι δύο κινητήρες για την κίνηση στο οριζόντιο και στο κεκλιμένο επίπεδο.

Τα βασικά βοηθητικά κυκλώματα είναι τα κυκλώματα οδήγησης των ηλεκτρονόμων για την κίνηση των κινητήρων, το κύκλωμα του λογικού προγραμματιστικού ελεγκτή (*Programmable logic controller – Logo*) σε συνεργασία με έναν ανυψωτή τάσης (*step up*) από τα  $12V$  στα  $24V$  για την λειτουργία του. Το κύκλωμα για την ενεργοποίηση – απενεργοποίηση του συστήματος κατά την ανατολή και δύση του ηλίου αντίστοιχα, καθώς και ένα ρυθμιστή τάσης (*regulator*) για την λειτουργία του κυκλώματος αυτού. Στο κεφάλαιο 3.2.2.2 αναλύονται όλα τα βοηθητικά κυκλώματα που έχουν κατασκευαστεί.

Επίσης, για την προστασία του κυκλώματος τοποθετήθηκαν δύο ασφάλειες. Μία ασφάλεια τήξεως  $8A$  για την συνολική προστασία της εγκατάστασης, κι ένας μονοπολικός μικροαυτόματος  $0.5A$  για την προστασία του λογικού ελεγκτή.





Εικόνα 3.9 Ηλεκτρολογικός πίνακας

### 3.2.2.1 Κυκλώματα ισχύος

Για την κίνηση του ΦΒ πλαισίου στο κεκλιμένο καθώς και στο οριζόντιο επίπεδο χρησιμοποιούνται δύο κινητήρες, ένας για κάθε επίπεδο. Για την κίνηση αυτή χρησιμοποιούνται τέσσερις ηλεκτρονόμοι. Δύο για την κίνηση στο κεκλιμένο επίπεδο (άνοδος – κάθοδος) και δύο για το οριζόντιο (βορράς – νότος). Η εναλλαγή της κίνησης των δύο κινητήρων επιτυγχάνεται με την αναστροφή της τάσης τροφοδοσίας τους.

Για την τροφοδοσία του συστήματος χρησιμοποιείται ένας συσσωρευτής 12V – 115Ah, ο οποίος φορτίζεται με την βοήθεια ενός ΦΒ πάνελ (εικόνα 3.8) μέσω ενός επιτηρητή φόρτισης (εικόνα 3.10). Το κύκλωμα της φόρτισης του συσσωρευτή του συστήματος βρίσκεται στο παράρτημα Γ2.

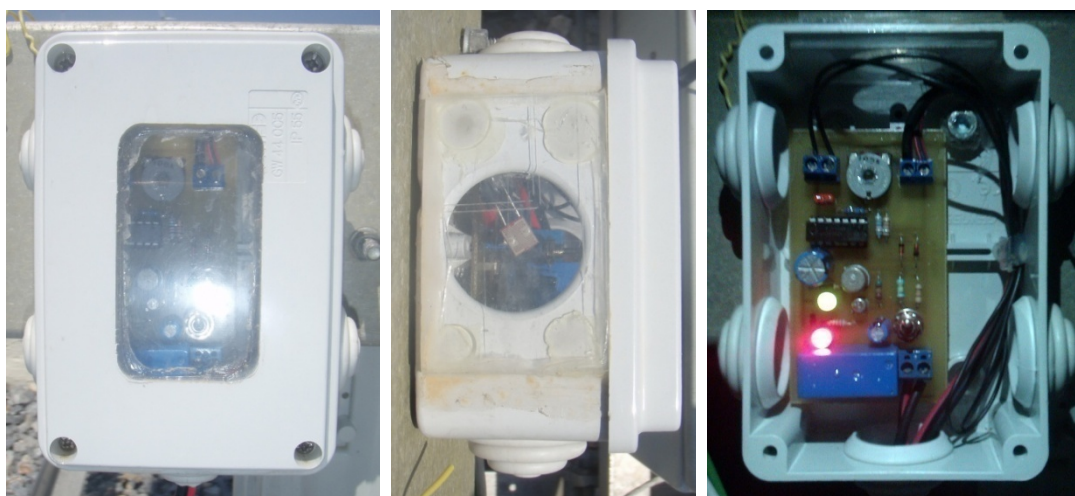


Εικόνα 3.10 Φόρτιση συσσωρευτή

### 3.2.2.2 Βοηθητικά κυκλώματα

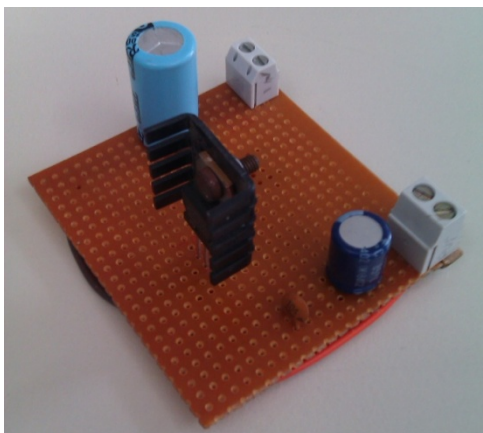
Η ενεργοποίηση – απενεργοποίηση του συστήματος γίνεται με ένα κύκλωμα στο οποίο διεγείρεται – αποδιεγείρεται ένα αισθητήριο (φωτοαντίσταση) αντίστοιχα (εικόνα 3.11). Η λειτουργία του συστήματος υποδεικνύεται με δύο λυχνίες. Η πράσινη δείχνει ότι η κατασκευή είναι πολωμένη, ενώ η κόκκινη ότι το σύστημα είναι απενεργοποιημένο.

Το κύκλωμα αυτό μπορεί να βρεθεί και στο εμπόριο με την ονομασία ‘Κύκλωμα λυκαυγές’. Το κύκλωμα της κατασκευής παρατίθεται στο παράρτημα Γ5.



Εικόνα 3.11 Αισθητήρας εκκίνησης – λήξης της λειτουργίας του συστήματος

Λόγω του ότι το κύκλωμα για την ενεργοποίηση – απενεργοποίηση του συστήματος διαθέτει αναλογικούς συγκριτές θα πρέπει η τάση πόλωσής του να μην μεταβάλλεται. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος χρησιμοποιήθηκε ένας ρυθμιστής τάσης (*regulator*, εικόνα 3.12), ο οποίος στην είσοδό του, δέχεται την τάση του συσσωρευτή του συστήματος 12V και στην έξοδό του δίνει σταθερά μια τάση ίση με 8V. Αυτή η τάση χρησιμοποιείται ως είσοδος του κυκλώματος λυκαυγές. Το κύκλωμα του ρυθμιστή βρίσκεται στο παράρτημα Γ6.



Εικόνα 3.12 Ρυθμιστής τάσης (*regulator*)

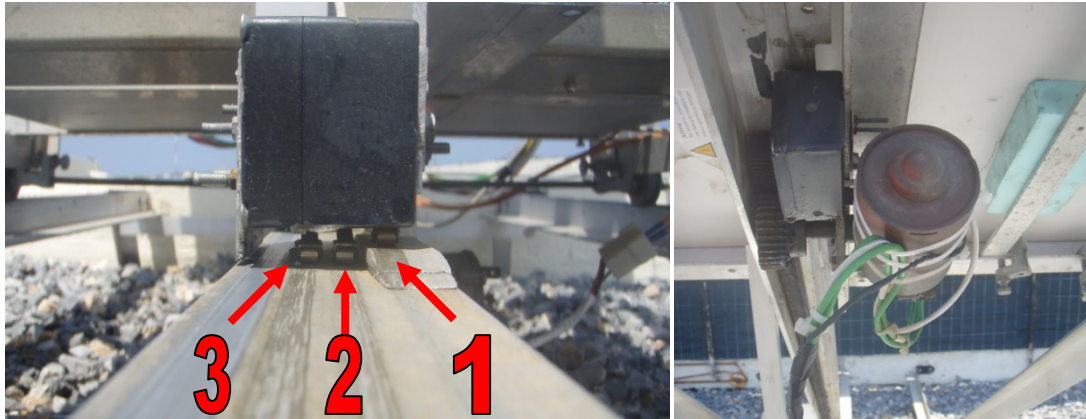
Για την αυτοματοποιημένη κίνηση του ΦΒ πλαισίου και την καταγραφή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένας προγραμματιστικός λογικός ελεγκτής (*Siemens – Logo! 12/24 RC*, εικόνα 3.13) ο οποίος, ανάλογα με τις εισόδους που δέχεται, εκτελεί το αντίστοιχο μέρος του αλγόριθμου που διαθέτει και ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τις εξόδους του.



Εικόνα 3.13 Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής 12/24 RC της *Siemens*

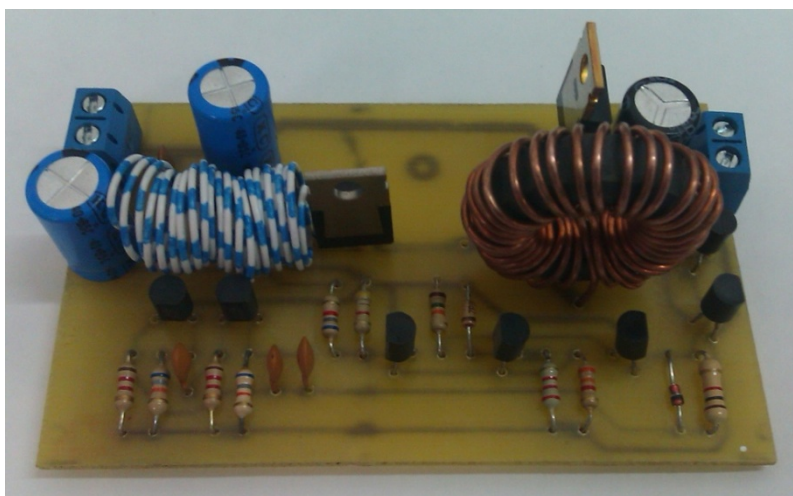
Ως εισοδοί του λογικού ελεγκτή, χρησιμοποιήθηκε το κύκλωμα λυκαυγές καθώς και τα αισθητήρια τα οποία διεγείρονται όταν το ΦΒ πλαίσιο περνάει από τις προκαθορισμένες θέσεις. Με τον τρόπο αυτό, ο λογικός ελεγκτής γνωρίζει την θέση του Φβ πλαισίου στο κεκλιμένο και στο οριζόντιο επίπεδο και διακόπτει την κίνηση του στις θέσεις αυτές. Αυτό γίνεται εφικτό με την χρήση έξι αισθητήρων τα οποία είναι τα λιγότερα δυνατά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ταυτόχρονα οι δυνατότητες του συστήματος παραμένουν σε υψηλά επίπεδα.

Τα αισθητήρια αυτά έχουν τοποθετηθεί σε δύο ειδικά διαμορφωμένες κατασκευές (εικόνα 3.14), για την προστασία τους από τις καιρικές συνθήκες. Η λειτουργία των δύο κατασκευών είναι όμοια. Η κάθε μία αποτελείται από τρία αισθητήρια, το αισθητήριο 1 διεγείρεται σε όλες τις θέσεις κι είναι εκείνο που καθορίζει την θέση του ΦΒ πλαισίου, το αισθητήριο 2 διεγείρεται μόνο στην αρχική θέση του κάθε επιπέδου και ορίζει την αρχή του, ενώ το αισθητήριο 3 διεγείρεται στην περίπτωση που το σύστημα κινηθεί εκτός των προκαθορισμένων θέσεων.



Εικόνα 3.14 – Ομάδα τερματικών οριζόντιου – κεκλιμένου επιπέδου

Επειδή οι έξοδοι του λογικού ελεγκτή δεν επαρκούσαν, χρειάστηκε να γίνει επέκταση αυτών. Η τάση λειτουργίας του λογικού ελεγκτή πριν την χρήση της επέκτασης ήταν  $12V_{DC}$ , ενώ μετά την χρήση της, ο ελεγκτής για να μπορέσει να συνεργαστεί με την επέκταση απαιτούσε τάση λειτουργίας  $24V_{DC}$ . Για τον λόγο αυτό χρειάστηκε να γίνει ανύψωση της τάσης, η οποία πραγματοποιήθηκε με ένα κύκλωμα ανυψωτή (*step up*, εικόνα 3.15). Το κύκλωμα του ανυψωτή παρατίθεται στο παράρτημα Γ7.

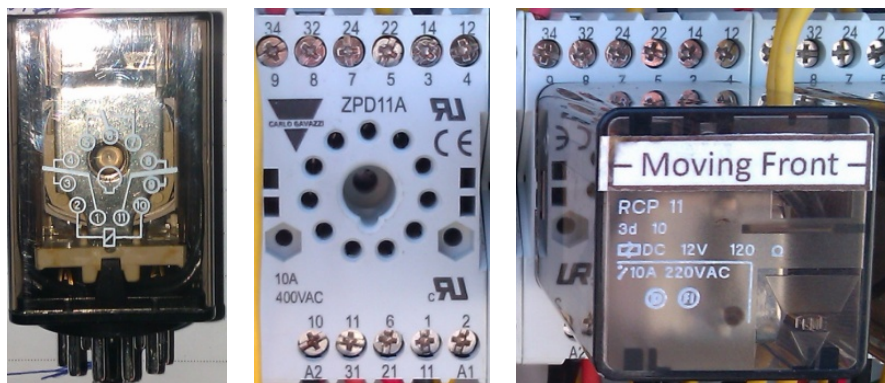


Εικόνα 3.15 Ανυψωτής τάσης (*step up*)

Βασικό μέρος της ηλεκτρολογικής διάταξης αποτελούν οι ηλεκτρονόμοι (εικόνα 3.16). Οι ηλεκτρονόμοι διαθέτουν κανονικά κλειστές (*NC*) και κανονικά ανοικτές (*NO*) επαφές, οι οποίες αλλάζουν κατάσταση κι ανοίγουν ή κλείνουν αντίστοιχα όταν δεχτούν τάση στο πηνίο διέγερσής τους.

Για την τροφοδότηση του λογικού ελεγκτή χρησιμοποιήθηκε μία ανοικτή επαφή ενός ηλεκτρονόμου (*Auto Rele*), ο οποίος διεγείρεται με το κλείσιμο ενός διακόπτη. Στη συνέχεια για την κίνηση του ΦΒ πλαισίου, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιούνται τέσσερις ηλεκτρονόμοι, οι οποίοι μπορούν να διεγείρονται, είτε αυτόματα από τον λογικό ελεγκτή (κατάσταση '*Auto*'), είτε χειροκίνητα με την παρέμβαση ανθρώπινου παράγοντα (κατάσταση '*manual*'). Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί διαθέτουν μία κλειστή (*NC*) και δύο ανοικτές επαφές (*NO*). Οι ανοικτές (*NO*) επαφές χρησιμοποιούνται για την κίνηση του ΦΒ πλαισίου ενώ η κλειστή (*NC*) επαφή χρησιμοποιείται για ηλεκτρική μανδάλωση του κυκλώματος. Η μανδάλωση αυτή γίνεται για να αποφευχθεί η ταυτόχρονη τροφοδότηση του ίδιου κινητήρα από δύο διαφορετικούς ηλεκτρονόμους. Δηλαδή, όταν ο κινητήρας του κεκλιμένου επιπέδου κινεί το ΦΒ πλαίσιο ανοδικά, να μην μπορεί να δεχθεί ανάστροφη τάση για να κινηθεί καθοδικά κι αντίστροφα. Όμοια και για τον κινητήρα του οριζόντιου επιπέδου.

Ένας άλλος ηλεκτρονόμος (έκτακτης ανάγκης – *emergency rele*) που έχει χρησιμοποιηθεί, είναι για την ηλεκτρική μανδάλωση του κυκλώματος, όταν το σύστημα κινηθεί εκτός των προκαθορισμένων θέσεων. Στην περίπτωση αυτή ο ηλεκτρονόμος διεγείρεται και αποκόπτει την τροφοδοσία του κυκλώματος, ενώ ταυτόχρονα ενεργοποιείται ένα οπτικό και ηχητικό σήμα.



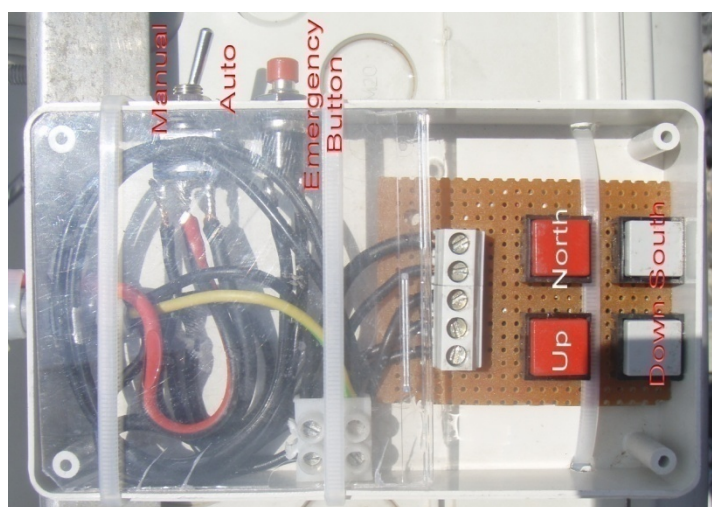
Εικόνα 3.16 Ηλεκτρονόμος

Το οπτικό και ηχητικό αυτό σήμα διακόπτεται όταν διορθωθεί η βλάβη και το σύστημα τεθεί ξανά εντός των προκαθορισμένων θέσεων, ενώ παράλληλα μέχρι την επιδιόρθωση υπάρχει η δυνατότητα να αποκοπεί μόνο το ηχητικό σήμα μέσω ενός διακόπτη (εικόνα 3.17).



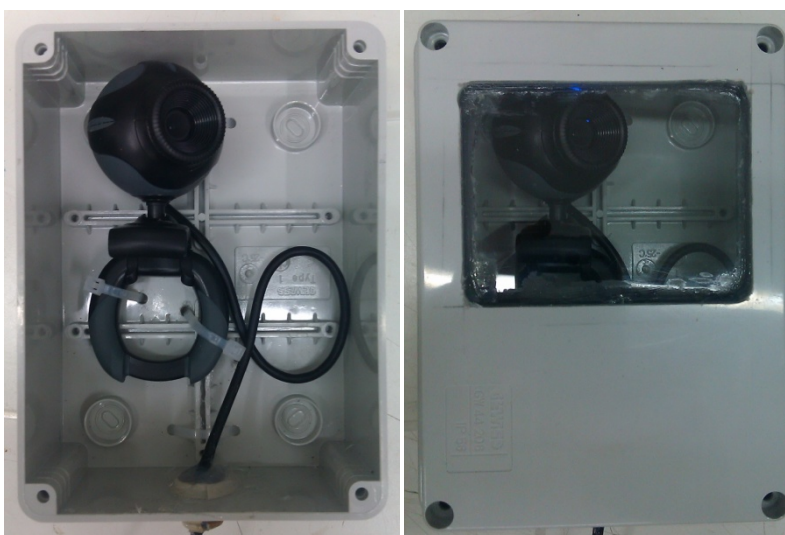
Εικόνα 3.17 Οπτικό και ηχητικό σήμα

Για την επιλογή της αυτόματης ('*auto*') ή χειροκίνητης ('*manual*') λειτουργίας του συστήματος, κατασκευάστηκε ένα χειριστήριο (εικόνα 3.18) το οποίο δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να μεταβάλει την λειτουργία από αυτόματη σε χειροκίνητη με την μεταγωγή ενός διακόπτη. Όταν ο διακόπτης είναι στη θέση αυτόματης λειτουργίας το σύστημα δεν λειτουργεί χειροκίνητα κι αντίστροφα. Για την χειροκίνητη λειτουργία του συστήματος έχουν χρησιμοποιηθεί τέσσερις πιεζοδιακόπτες κανονικά ανοικτής επαφής (*NO push – button*), ένας για κάθε κίνηση. Επιπλέον, έχει χρησιμοποιηθεί ένας πιεζοηλεκτρικός διακόπτης κανονικά κλειστής επαφής (*NC push – button*), ο οποίος χρησιμεύει μόνο στην περίπτωση που το σύστημα έχει τεθεί εκτός λειτουργίας. Η χρήση του διακόπτη αυτού είναι για την αποδιέγερση του ηλεκτρονόμου έκτακτης ανάγκης ώστε το σύστημα να τεθεί ξανά εντός λειτουργίας.



Εικόνα 3.18 Χειριστήριο

Τέλος, για τον οπτικό έλεγχο και την καταγραφή της κίνησης της κατασκευής έχει χρησιμοποιηθεί μία κάμερα διαδικτύου (*web camera*, εικόνα 3.19), η οποία είναι συνδεδεμένη με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η κάμερα αυτή έχει τοποθετηθεί στην ανατολική πλευρά της ταράτσας μέσα σε ένα στεγανό κουτί για την προστασία της από τις καιρικές συνθήκες (βροχή, σκόνη κλπ.). Με τον τρόπο αυτό γίνεται έλεγχος οποιαδήποτε στιγμή μέσω διαδικτύου αν η κατασκευή λειτουργεί σωστά.



Εικόνα 3.19 Οπτικός έλεγχος κατασκευής μέσω κάμερας διαδικτύου

### 3.2.2.3 Αυτονομία συστήματος

Για την ανεξαρτητοποίηση του συστήματος από το δίκτυο τροφοδοσίας, η κατασκευή τροφοδοτείται από ανεξάρτητο ΦΒ σύστημα για την αποφυγή διακοπής της κίνησης κατά την διάρκεια λειτουργίας της. Επειδή οι ώρες κι οι συνθήκες λειτουργίας του συστήματος είναι διαφορετικές κατά τους καλοκαιρινούς και τους χειμερινούς μήνες, έχουν πραγματοποιηθεί δύο μελέτες, οι οποίες συγκρίνονται στο τέλος της παραγράφου.

#### Υπολογισμός συνολικής ενέργειας (κατά τους χειμερινούς μήνες)

Στην αυτονομία του συστήματος δεν συμπεριλαμβάνεται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής και ο *I – V tracer* διότι είναι ήδη εγκατεστημένοι στο αυτόνομο σύστημα του εργαστηρίου και η τάση λειτουργίας τους είναι 220V.

Αρχικά, υπολογίζονται οι καταναλώσεις του συστήματος :

1. Ο ηλεκτροκινητήρας του οριζόντιου επιπέδου ισχύς  $36W$  κινείται σε κάθε κύκλο λειτουργίας περίπου  $50 \text{ sec}$ . Λαμβάνοντας υπόψη μια τυπική μέρα του Δεκέμβρη που διαρκεί περίπου 10 ώρες, κι όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 3.1.3 ο κάθε κύκλος λειτουργίας διαρκεί περίπου 7 λεπτά, επομένως η κατασκευή θα εκτελέσει  $\frac{10 \times 60 \text{ min}}{7 \text{ min}} \approx 86$  κύκλους λειτουργίας. Άρα ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα του οριζόντιου επιπέδου θα είναι ίσος με  $86 \times 50 \text{ sec} = 4300 \text{ sec/d} = 71.7 \text{ min/d} = 1.2 \text{ h/d}$ . Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι ίση με :  $E_{\text{Κ.Ο.}} = 1.2 \text{ h/d} \times 36 \text{ W} = 43.2 \text{ Wh/d}$ .
2. Ο ηλεκτροκινητήρας του κεκλιμένου επιπέδου ισχύς  $36W$  κινείται σε κάθε κύκλο λειτουργίας περίπου  $210 \text{ sec}$ . Όμοια με το (1), ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα του κεκλιμένου επιπέδου θα είναι ίσος με  $86 \times 210 \text{ sec} = 18060 \text{ sec/d} = 301 \text{ min/d} = 5.02 \text{ h/d}$ . Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι ίση με :  $E_{\text{Κ.Κ.}} = 5.03 \text{ h/d} \times 36 \text{ W} = 180.7 \text{ Wh/d}$ .
3. Ο λογικός ελεγκτής ισχύς  $3W$  λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια της μέρας (24 ώρες), επομένως η ενέργεια που καταναλώνει είναι ίση με  $E_{\text{Logo}} = 3 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 72 \text{ Wh/d}$ .

Επομένως, η συνολική ενέργεια που χρειάζεται το σύστημα ημερησίως είναι  $E_L = E_{\text{Κ.Ο.}} + E_{\text{Κ.Κ.}} + E_{\text{Logo}} = 43.2 \text{ Wh/d} + 180.7 \text{ Wh/d} + 72 \text{ Wh/d} \approx 296 \text{ Wh/d}$

### Υπολογισμός ΦΒ πλαισίου (κατά τους χειμερινούς μήνες)

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ΦΒ πλαισίου λαμβάνεται υπόψη η πιο χαμηλή ενεργειακά περίοδος. Στην περιοχή που βρίσκεται η κατασκευή έχει μετρηθεί ότι η χαμηλότερα ενεργειακά περίοδος είναι τον μήνα Δεκέμβρη κι η μέση απολαβή είναι  $\overline{H}_t = 3.1 \text{ kWh/m}^2$ . Επίσης χρειάζεται ο λόγος επίδοσης ( $PR$ ) του ΦΒ πλαισίου στη θέση αυτή, το συγκεκριμένο μήνα, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.6. Ο υπολογισμός του  $PR$  για το συγκεκριμένο τύπο του ΦΒ πλαισίου και για το μήνα Δεκέμβρη δίνει την τιμή :  $PR=0.879$ .

Η ισχύς αιχμής ( $P_p$ ) του κατάλληλου ΦΒ πλαισίου προκύπτει από το ενεργειακό ισοζύγιο παραγόμενης – καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κι η τελική σχέση είναι :  $P_p = \frac{1}{PR} \times \frac{G_{STC}}{\overline{H}_t} \times m \times \left( \frac{N}{N-n} \right) \times \frac{E_L}{n_{met}}$  (12)



Όπου :

- $E_L$  : η συνολική ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης
- $m$  : ο παράγων περιθωρίου υπολογισμού καταναλώσεων. Επιλέχθηκε 1.05 ώστε να υπάρχει περιθώριο 5% για πρόσθετες καταναλώσεις
- $N$  : ημέρες αντίστοιχου μήνα
- $n$  : ο αριθμός των συννεφιασμένων ημερών που θα μπορεί να καλύπτει ο συσσωρευτής
- $n_{met}$  : συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας

Βάση της σχέσης (12) έχουμε :

$$P_P = \frac{1}{0.879} \times \frac{1}{3.1} \times 1.05 \times \left( \frac{31}{31-2} \right) \times \frac{296}{0.95} \approx 128W$$

### Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτή (κατά τους χειμερινούς μήνες)

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή δίδεται από την σχέση :

$$C = \frac{(n + b) \times m \times E_L}{n_g \times n_{εκφ} \times \beta_{εκφ} \times V_B} \quad (13)$$

Όπου :

- $E_L$  : η ολική ενέργεια που καταναλώνεται
- $b$  :  $E_{L,e}/E_L$  το ποσοστό ηλεκτρικών καταναλώσεων που καλύπτονται από το συσσωρευτή (έμμεση τροφοδοσία). Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η κατανάλωση του λογικού ελεγκτή (*Logo*), επομένως το  $b = \frac{E_{Logo}}{E_L} = \frac{72Wh/d}{296Wh/d} \approx 0.24$
- $n_g$  : ο συντελεστής γύρασης του συσσωρευτή
- $n_{εκφ}$  : ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο τμήμα εκφόρτισης (συσσωρευτής – φορτίο)
- $\beta_{εκφ}$  : το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή
- $V_B$  : ονομαστική τιμή τάσης συσσωρευτή

Βάση της σχέσης (13) έχουμε :

$$C = \frac{(n + b) \times m \times E_L}{n_g \times n_{εκφ} \times \beta_{εκφ} \times V_B} = \frac{(2 + 0.24) \times 1.05 \times 296}{0.9 \times 0.9 \times 0.5 \times 12} \approx 143Ah$$

**Υπολογισμός συνολικής ενέργειας (κατά τους καλοκαιρινούς μήνες)**

Αρχικά, υπολογίζονται οι καταναλώσεις του συστήματος :

1. Ο ηλεκτροκινητήρας του οριζόντιου επιπέδου ισχύς  $36W$  κινείται σε κάθε κύκλο λειτουργίας περίπου  $50 \text{ sec}$ . Λαμβάνοντας υπόψη μια τυπική μέρα του Δεκέμβρη που διαρκεί περίπου 15 ώρες, κι όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 3.1.3 ο κάθε κύκλος λειτουργίας διαρκεί περίπου 7 λεπτά, επομένως η κατασκευή θα εκτελέσει  $\frac{15 \times 60 \text{ min}}{7 \text{ min}} \approx 129$  κύκλους λειτουργίας. Άρα ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα του οριζόντιου επιπέδου θα είναι ίσος με  $129 \times 50 \text{ sec} = 6450 \text{ sec/d} = 107.5 \text{ min/d} = 1.79 \text{ h/d}$ . Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι ίση με :  $E_{\text{Κ.Ο.}} = 1.79 \text{ h/d} \times 36 \text{ W} = 64.44 \text{ Wh/d}$ .
2. Ο ηλεκτροκινητήρας του κεκλιμένου επιπέδου ισχύς  $36W$  κινείται σε κάθε κύκλο λειτουργίας περίπου  $210 \text{ sec}$ . Όμοια με το (1), ο χρόνος λειτουργίας του κινητήρα του κεκλιμένου επιπέδου θα είναι ίσος με  $129 \times 210 \text{ sec} = 27090 \text{ sec/d} = 451.5 \text{ min/d} = 7.53 \text{ h/d}$ . Η ενέργεια που καταναλώνεται είναι ίση με :  $E_{\text{Κ.Κ.}} = 7.53 \text{ h/d} \times 36 \text{ W} = 271.08 \text{ Wh/d}$ .
3. Ο λογικός ελεγκτής ισχύς  $3W$  λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια της μέρας (24 ώρες), επομένως η ενέργεια που καταναλώνει είναι ίση με  $E_{\text{Logo}} = 3 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 72 \text{ Wh/d}$ .

Επομένως, η συνολική ενέργεια που χρειάζεται το σύστημα ημερησίως είναι  $E_L = E_{\text{Κ.Ο.}} + E_{\text{Κ.Κ.}} + E_{\text{Logo}} = 64.44 \text{ Wh/d} + 271.08 \text{ Wh/d} + 72 \text{ Wh/d} \approx 407.5 \text{ Wh/d}$

**Υπολογισμός ΦΒ πλαισίου (κατά τους καλοκαιρινούς μήνες)**

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ΦΒ πλαισίου λαμβάνεται υπόψη η πιο μεγαλύτερη ενεργειακά περίοδος. Στην περιοχή που βρίσκεται η κατασκευή έχει μετρηθεί ότι η υψηλότερη ενεργειακά περίοδος είναι τον μήνα Αύγουστο κι η μέση απολαβή είναι  $\overline{H}_t = 6.68 \text{ kWh/m}^2$ . Επίσης χρειάζεται ο λόγος επίδοσης ( $PR$ ) του ΦΒ πλαισίου στη θέση αυτή, το συγκεκριμένο μήνα, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.6. Ο υπολογισμός του  $PR$  για το συγκεκριμένο τύπο του ΦΒ πλαισίου και για το μήνα Αύγουστο δίνει την τιμή :  $PR=0.822$ .

Βάση της σχέσης (12) έχουμε :

$$P_P = \frac{1}{0.822} \times \frac{1}{6.68} \times 1.05 \times \left( \frac{31}{31-1} \right) \times \frac{407.5}{0.95} \approx 85 \text{ W}$$

### Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτή (κατά τους καλοκαιρινούς μήνες)

Βάση της σχέσης (13) έχουμε :

$$C = \frac{(n + b) \times m \times E_L}{n_g \times n_{εκφ} \times \beta_{εκφ} \times V_B} = \frac{(1 + 0.18) \times 1.05 \times 407.5}{0.9 \times 0.9 \times 0.5 \times 12} \approx 104Ah$$

Όπου :

- $b$  :  $E_{L,e}/E_L$  το ποσοστό ηλεκτρικών καταναλώσεων που καλύπτονται από το συσσωρευτή (έμμεση τροφοδοσία). Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η κατανάλωση του λογικού ελεγκτή (*Logo*), επομένως το  $b = \frac{E_{Logo}}{E_L} = \frac{72Wh/d}{407.5Wh/d} \approx 0.18$

Σύγκριση αποτελεσμάτων		
	Χειμώνας	Καλοκαίρι
$E_L$ [Wh/d]	296	407.5
$P_p$ [W]	128	85
$C$ [Ah]	143	104

Πίνακας 3.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα 3.1 οι ενεργειακές απαιτήσεις ( $E_L$ ) του συστήματος είναι μεγαλύτερες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, καθώς οι ώρες λειτουργίας του είναι περισσότερες. Σε αντίθεση όμως με αυτό η απαιτούμενη ισχύς και η χωρητικότητα του συσσωρευτή είναι μεγαλύτερη κατά του χειμερινούς μήνες καθώς η μέση ημερήσια ενεργειακή απολαβή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρότερη κι οι μέρες αυτονομίας που απαιτούνται είναι περισσότερες.

Επομένως για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κατά την διάρκεια όλου του έτους πρέπει να χρησιμοποιηθεί ΦΒ πάνελ ισχύος  $130W_p$  και συσσωρευτής ίσος με  $150Ah$ .

Τέλος, επειδή του εργαστήριο του Φωτοβολταϊκού Πάρκου του Τ.Ε.Ι. Κρήτης δεν διαθέτει τον συγκεκριμένο εξοπλισμό, χρησιμοποιήθηκε ΦΒ πάνελ ισχύος  $150W_p$  και συσσωρευτής ίσος με  $115Ah$ .

### 3.2.3 Το λογισμικό οδήγησης

Για την κίνηση του ΦΒ πλαισίου γίνεται η χρήση ενός λογικού προγραμματιστικού ελεγκτή ο οποίος είναι κατάλληλα προγραμματισμένος για να καλύπτει τις απαιτήσεις του συστήματος, όπως αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.1.1.

#### 3.2.3.1 Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής της *xLogic Super Relay*

Σαν πρώτη λύση για την κίνηση του ΦΒ πλαισίου χρησιμοποιήθηκε και προγραμματίστηκε ένας λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής της *xLogic*. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το *ELC-18DC-DA-R*, το οποίο τροφοδοτούνταν με  $12V_{DC}$  και διέθετε δώδεκα ψηφιακές εισόδους (*digital inputs*) και έξι εξόδους με μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα  $10A$ .

Αρχικά, η λύση αυτή κάλυπτε τις απαιτήσεις του συστήματος κι από θέμα εισόδων αλλά κι από θέμα εξόδων. Η γλώσσα προγραμματισμού του ελεγκτή ήταν της μορφής *FBD* (*Function Block Diagram*). Ο προγραμματισμός σε αυτή τη μορφή γλώσσας και για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης κατασκευής αποδείχθηκε ιδιαίτερα δύσκολος και ταυτόχρονα το πρόγραμμα που δημιουργήθηκε ήταν περίπλοκο, ογκώδες και κατά συνέπεια ήταν δύσκολη η ανάγνωση και διόρθωσή του. Αποδείχθηκε επίσης ότι ο ελεγκτής αυτός ήταν αναξιόπιστος, καθώς έδινε λάθος εντολές και ενεργοποιούσε διαφορετικές εξόδους από ότι θα έπρεπε με αποτέλεσμα το σύστημα να τίθεται εκτός λειτουργίας.

Το πρόγραμμα του ελεγκτή αυτού παρατίθεται στο παράρτημα Δ1 αλλά δεν θα γίνει κάποια περαιτέρω επεξήγησή του για το λόγο ότι δεν είναι πλέον το κύριο πρόγραμμα λειτουργίας της κατασκευής.

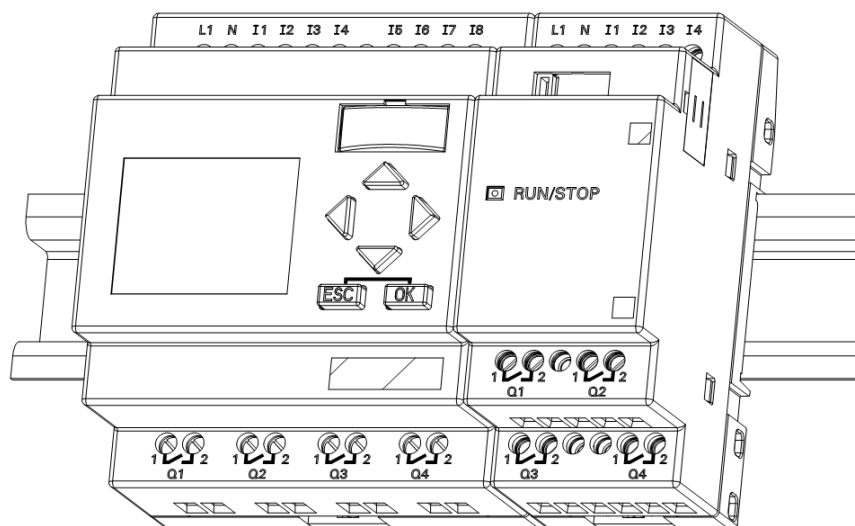


Εικόνα 3.20 Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής *ELC-18DC-DA-R* της *xLogic*

### 3.2.3.2 Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής της *Siemens*

Επειδή όπως αναφέρθηκε ο ελεγκτής της *xLogic* αποδείχθηκε αναξιόπιστος αντικαταστήθηκε με τον ελεγκτή 12/24 *RC* της *Siemens*, ο οποίος τροφοδοτείται με 12/24  $V_{DC}$  και διαθέτει οκτώ ψηφιακές εισόδους (*digital inputs*) και τέσσερις εξόδους με μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα 10A.

Οι εξοδοί αυτοί δεν κάλυπταν τις απαιτήσεις του συστήματος και γι' αυτό χρειάστηκε μια επέκταση. Η επέκταση που χρησιμοποιήθηκε όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.21 διαθέτει τέσσερις εισόδους και τέσσερις εξόδους. Η αρίθμηση των εξόδων της επέκτασης είναι η συνέχεια της τελευταίας εξόδου του προγραμματιστικού λογικού ελεγκτή. Δηλαδή η έξοδος *Q1* της επέκτασης αντιστοιχεί με την έξοδο *Q5* του συστήματος. Η αντιστοιχία αυτή ισχύει και για τις εισόδους του.

Εικόνα 3.21 Λογικός προγραμματιστικός ελεγκτής 12/24 *RC* της *Siemens*, με επέκταση

Ο ελεγκτής αυτός διαθέτει δύο γλώσσες προγραμματισμού, την *Ladder* και την *FBD* (*Function Block Diagram*). Αυτές οι δύο γλώσσες αν και χρησιμοποιούν σχεδόν τις ίδιες εντολές ο τρόπος προγραμματισμού είναι διαφορετικός. Στο νέο πρόγραμμα που δημιουργήθηκε χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα *Ladder* η οποία είχε ευκολότερο τρόπο προγραμματισμού και το πρόγραμμά της δεν ήταν ογκώδες όπως αυτό της *FBD*, με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερο στην ανάγνωση και κατά συνέπεια στην διόρθωσή του.

Στον πίνακα 1 παρατίθενται οι εισοδοί και οι εξοδοί του λογικού προγραμματιστικού ελεγκτή.



Είσοδοι	Έξοδοι
<i>I1</i> – Σήμα ενεργοποίησης – απενεργοποίησης	<i>Q1</i> – Κινητήρας κεκλιμένου επιπέδου, ανοδική κίνηση ΦΒ πλαισίου
<i>I2</i> – Σήμα από ακραίο αισθητήριο κίνησης κεκλιμένου επιπέδου	<i>Q2</i> – Κινητήρας κεκλιμένου επιπέδου, καθοδική κίνηση ΦΒ πλαισίου
<i>I3</i> – Σήμα από μεσαίο αισθητήριο κίνησης κεκλιμένου επιπέδου (ΘΠ1)	<i>Q3</i> – Κινητήρας οριζόντιου επιπέδου, κίνηση ΦΒ πλαισίου προς βορρά
<i>I4</i> – Σήμα από ακραίο αισθητήριο κίνησης οριζόντιου επιπέδου	<i>Q4</i> – Κινητήρας οριζόντιου επιπέδου, κίνηση ΦΒ πλαισίου προς νότο
<i>I5</i> – Σήμα από μεσαίο αισθητήριο κίνησης οριζόντιου επιπέδου (ΘΣ1)	<i>Q5</i> – Σήμα καταγραφής $I - V^6$
<i>I6</i> – Σήμα από αισθητήριο διακοπής του συστήματος	<i>Q6</i> – Σήμα διέγερσης <i>Logger</i> <sup>7</sup>

Πίνακας 3.2 – Είσοδοι – Έξοδοι

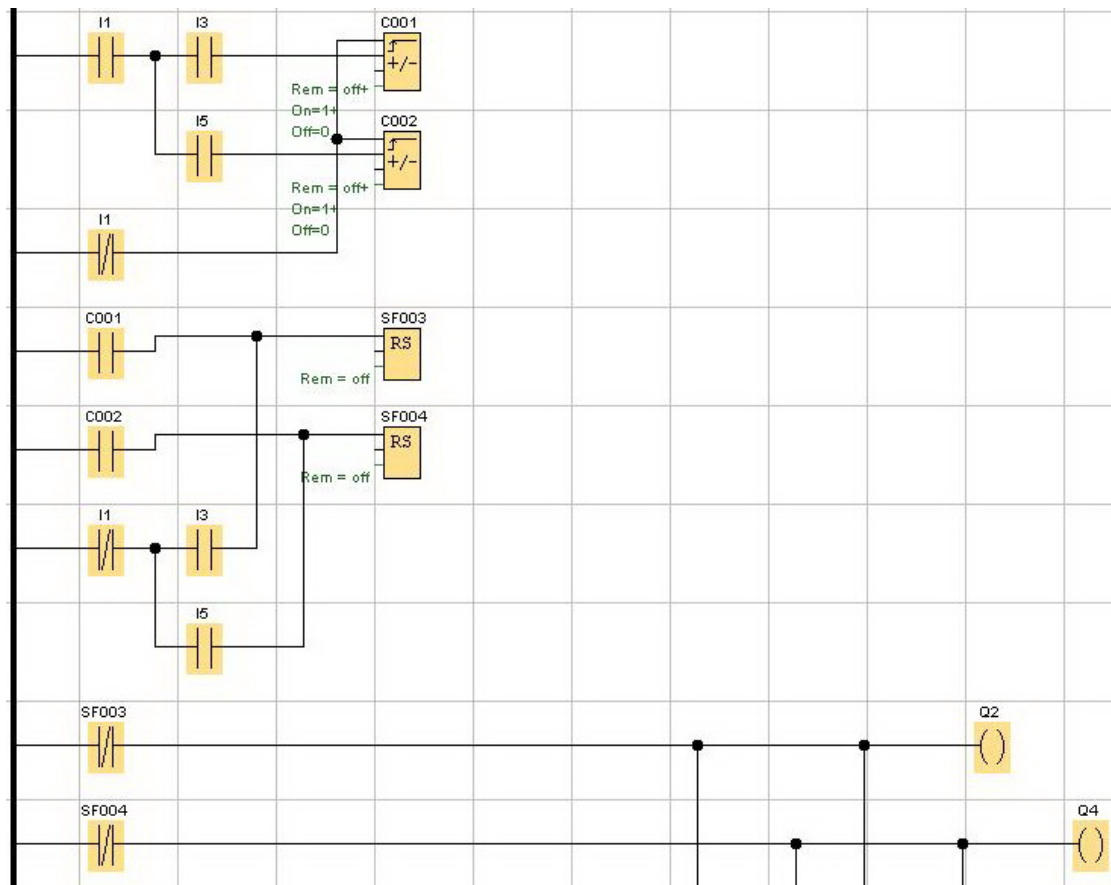
Βασικότερες εντολές
<i>T008</i> – Χρόνος καθυστέρησης για την έναρξη του προγράμματος
<i>T011</i> – Παλμός για την καταγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας (πυρανόμετρο θέσης κι αναφοράς) και της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου
<i>T012</i> – Παλμός για την καταγραφή της $I - V$
<i>T038</i> – Χρονιστής καθυστέρησης για την διακοπή προγράμματος λόγω λειτουργίας κινητήρα πέρα του επιτρεπτού χρόνου
<i>C020</i> – Μετρητής θέσεων κεκλιμένου επιπέδου
<i>C028</i> – Μετρητής θέσεων για την επαναφορά του συστήματος στις αρχικές θέσεις για την εκκίνηση νέου κύκλου

Πίνακας 3.3 – Βασικότερες εντολές

<sup>6</sup> Αναλύεται στην παράγραφο 3.3<sup>7</sup> Αναλύεται στην παράγραφο 3.3

Στη συνέχεια παρατίθενται τα επιμέρους τμήματα του προγράμματος και γίνεται η επεξήγηση της λειτουργίας του. Το συνολικό πρόγραμμα βρίσκεται στο παράρτημα Δ2.

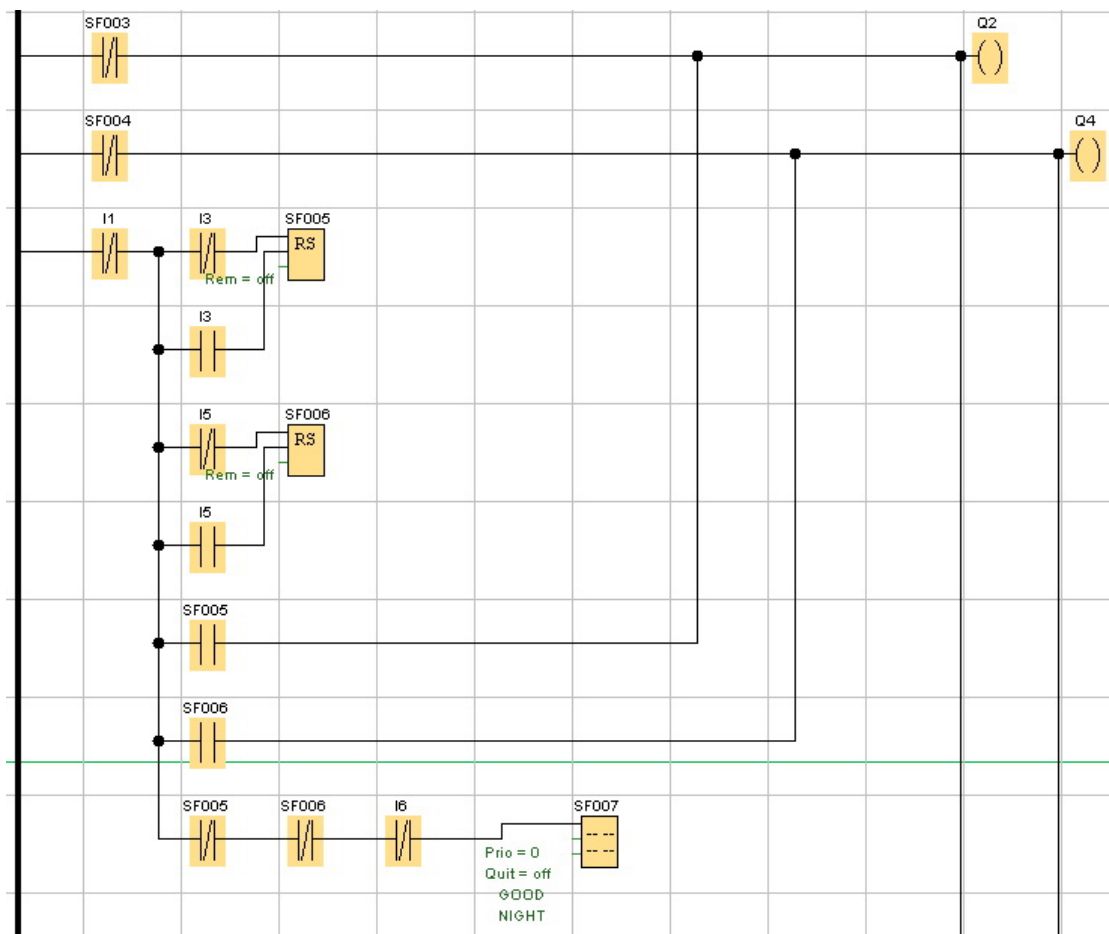
Αρχικά, κατά το εκκίνηση του ελεγκτή γίνεται έλεγχος των εισόδων του. Αν η εκκίνηση γίνει κατά την διάρκεια της ημέρας, η κατασκευή λυκαυγές θα είναι ενεργοποιημένη συνεπώς και η είσοδος *I1* θα βρίσκεται σε υψηλό δυναμικό (*High* –  $24V_{DC}$ ). Σε περίπτωση που η κατασκευή δεν βρίσκεται στις αρχικές τις θέσεις τότε το *SF003* και *SF004* θα είναι ανενεργό οπότε θα αρχίσει να κινείται προς αυτές. Όταν οι εισοδοί *I3* και *I5* ενεργοποιηθούν θα ενεργοποιήσουν με την σειρά τους τα *SF003* και *SF004* και θα διακοπεί η κίνηση του κάθε κινητήρα χωριστά.



Εικόνα 3.22 Ενεργοποίηση ελεγκτή κατά την διάρκεια της ημέρας



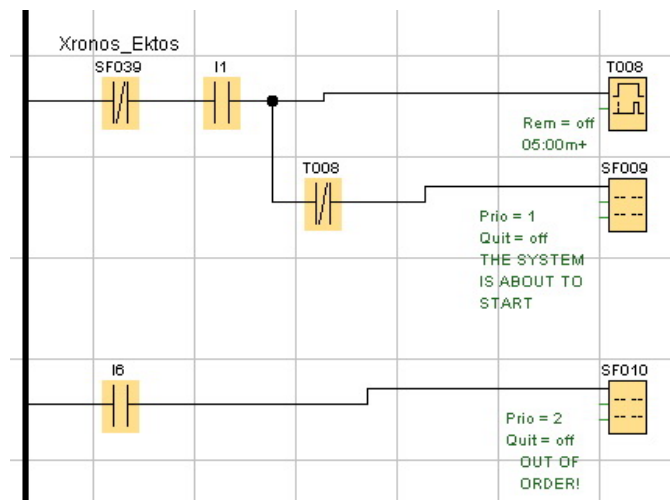
Στην περίπτωση που η εκκίνηση του ελεγκτή γίνει κατά την διάρκεια της νύχτας ή όταν η κατασκευή λυκαυγές απενεργοποιηθεί<sup>8</sup>, η είσοδος *I1* θα είναι ανενεργή οπότε θα εκτελεστεί το παρακάτω τμήμα του προγράμματος, το οποίο έχει τον ίδιο σκοπό με αυτό της εικόνας 3.23. Δηλαδή γίνεται έλεγχος αν το σύστημα είναι στις αρχικές του θέσεις και σε περίπτωση που δεν είναι κινείται προς αυτές. Ο έλεγχος της κίνησης γίνεται από τα *SF005* και *SF006*. Επίσης κατά την διάρκεια της νύχτας κι όταν το σύστημα επανέλθει στις αρχικές θέσεις εμφανίζεται ένα μήνυμα στην οθόνη του ελεγκτή ‘*GOOD NIGHT*’.



Εικόνα 3.23 Ενεργοποίηση ελεγκτή κατά την διάρκεια της νύχτας ή επαναφορά του συστήματος στις αρχικές θέσεις

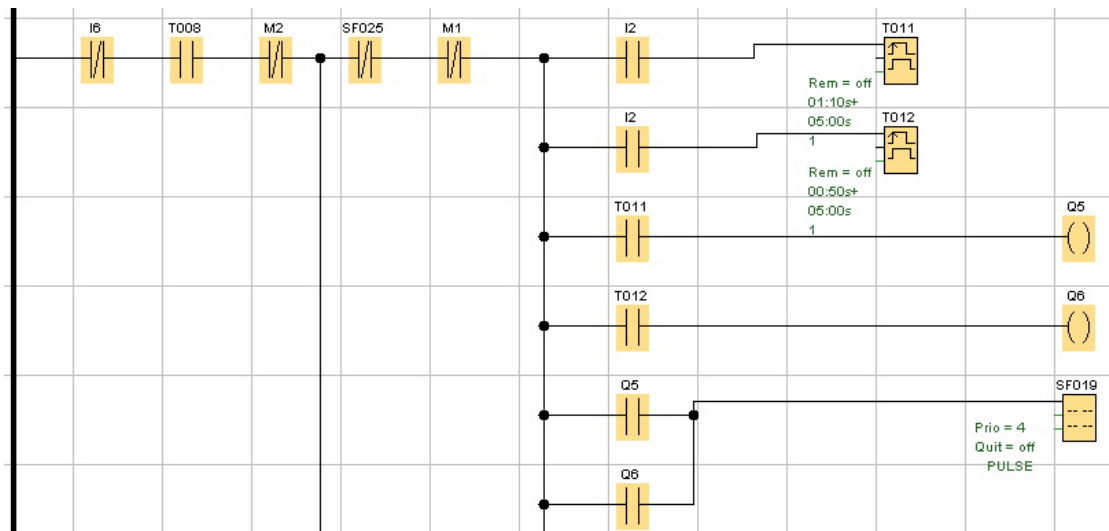
<sup>8</sup> Η λειτουργία του κυκλώματος λυκαυγές περιγράφεται στην παράγραφο 3.1.3

Όταν ενεργοποιηθεί η κατασκευή λυκαυγές τότε αρχίζει η μέτρηση πέντε λεπτών έως ότου γίνει η ενεργοποίηση για την κίνηση και καταγραφή των μετρήσεων. Ο χρόνος αυτός καθορίζεται από το *T008*. Κατά το διάστημα των πέντε λεπτών εμφανίζεται στην οθόνη του ελεγκτή το μήνυμα *'THE SYSTEM IS ABOUT TO START'*. Επίσης αν το σύστημα κινηθεί εκτός των προκαθορισμένων θέσεων ενεργοποιείται η επαφή *I6* εμφανίζεται το μήνυμα *'OUT OF ORDER!'* και αποκόπτεται η λειτουργία του προγράμματος. Η λειτουργία του *SF039* εξηγείται παρακάτω.



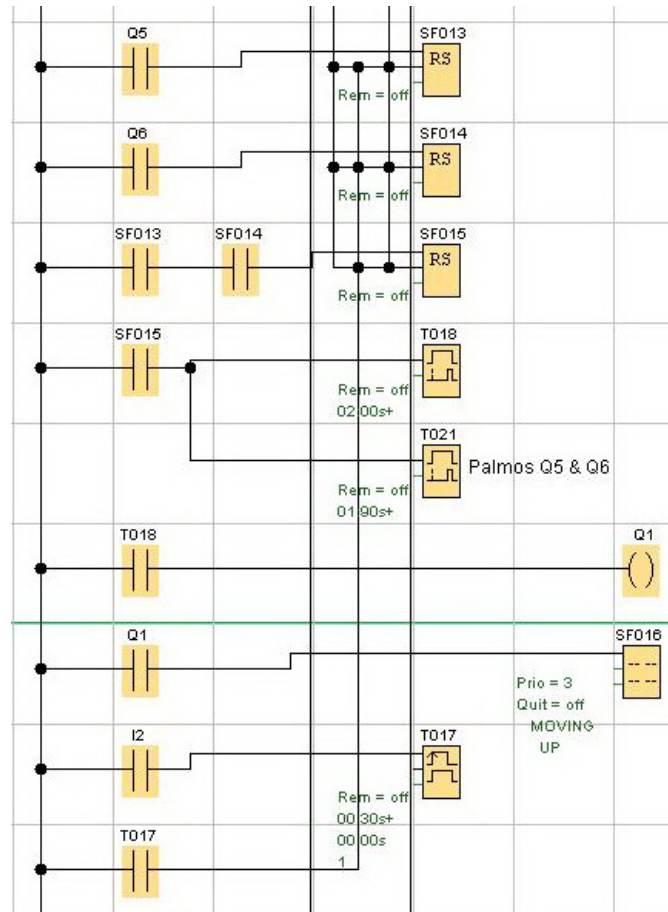
Εικόνα 3.24 Χρόνος αναμονής για την εκκίνηση του συστήματος

Με το πέρας των πέντε λεπτών και πέντε δευτερολέπτων καταγράφονται οι πρώτες μετρήσεις και ταυτόχρονα εμφανίζεται το μήνυμα 'PULSE'. Από εκείνο το σημείο κι έπειτα σε κάθε θέση που σταματάει το ΦΒ πλαίσιο παραμένει για πέντε δευτερόλεπτα μέχρι να γίνει η καταγραφή των μετρήσεων. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μόνο όταν το ΦΒ πλαίσιο κινείται ανοδικά στο κεκλιμένο επίπεδο και ενεργοποιηθεί η είσοδος I2.



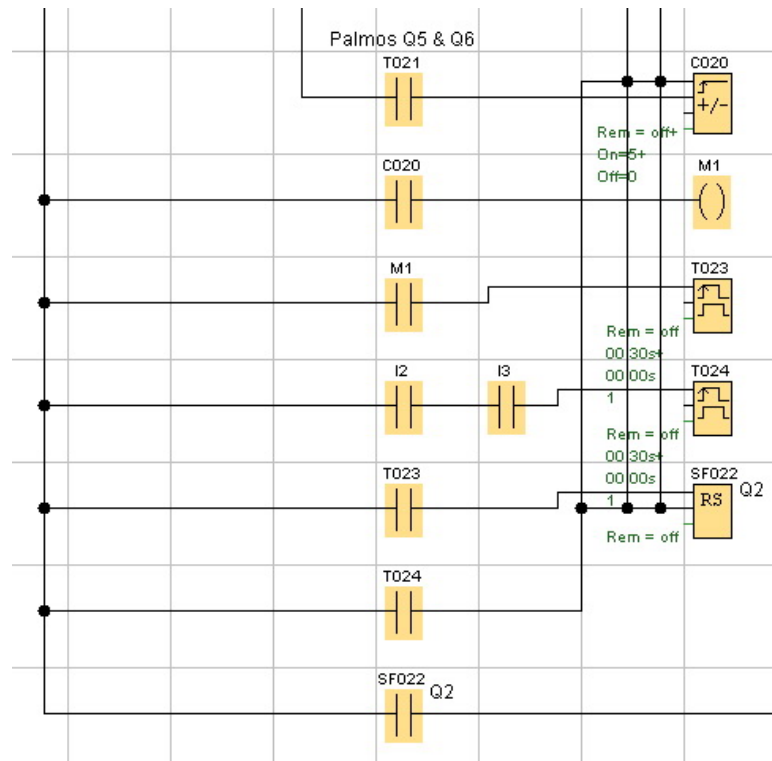
Εικόνα 3.25 Καταγραφή μετρήσεων

Μετά από 0.9 δευτερόλεπτα που θα γίνει η καταγραφή των μετρήσεων, το ΦΒ πλαίσιο αρχίζει να κινείται ανοδικά μέχρι το αισθητήριο *I2* να ενεργοποιηθεί ξανά. Κατά το διάστημα αυτό εμφανίζεται το μήνυμα 'MOVING UP'. Η διακοπή της κίνησης γίνεται με έναν παλμό από το *T017* στα *SF013*, *SF014* και *SF015*.



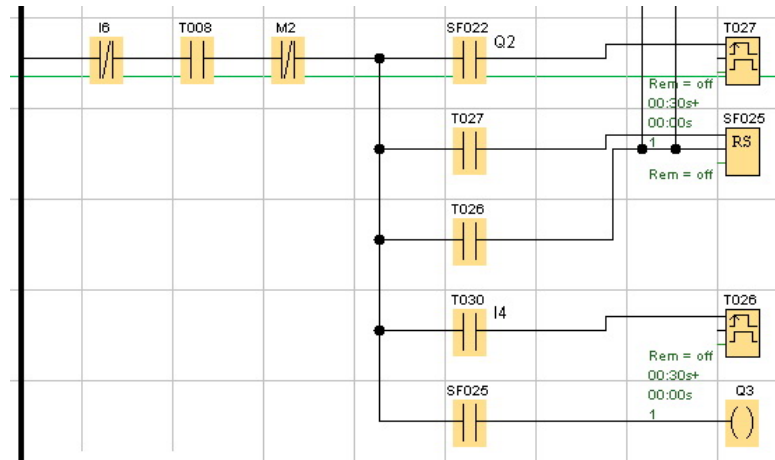
Εικόνα 3.26 Ανοδική κίνηση

Για την καταγραφή των θέσεων του ΦΒ πλαισίου στο κεκλιμένο επίπεδο έχει χρησιμοποιηθεί ο μετρητής *C020*, ο οποίος όταν το ΦΒ πλαίσιο φτάσει στην ΘΠ 5 και μετά την καταγραφή των μετρήσεων, δίνει εντολή για την καθοδική κίνησή του, μέσω του *SF022*. Ενώ ταυτόχρονα αποκόπτει το τμήμα του προγράμματος που είναι για την καταγραφή των μετρήσεων. Η κίνηση αυτή διακόπτεται όταν το ΦΒ πλαίσιο φτάσει στην αρχική θέση του κεκλιμένου επιπέδου.



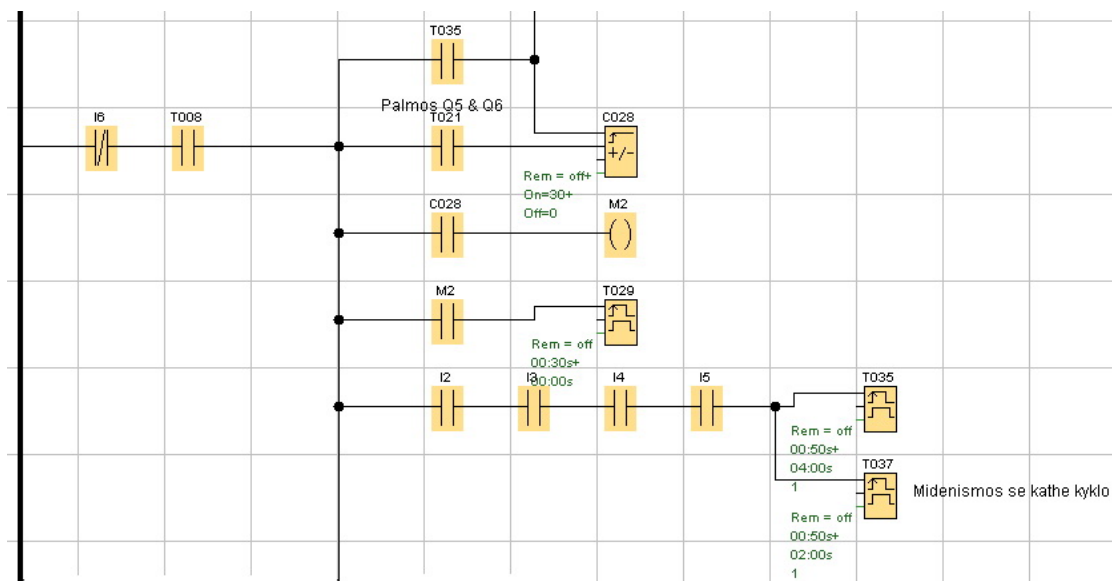
Εικόνα 3.27 Καθοδική κίνηση

Ταυτόχρονα, με την καθοδική κίνηση του ΦΒ πλαισίου αρχίζει και η κίνηση στο οριζόντιο επίπεδο προς το βορρά. Αυτό επιτυγχάνεται με το SF025. Η κίνηση προς το βορρά διακόπτεται με την ενεργοποίηση της I4.



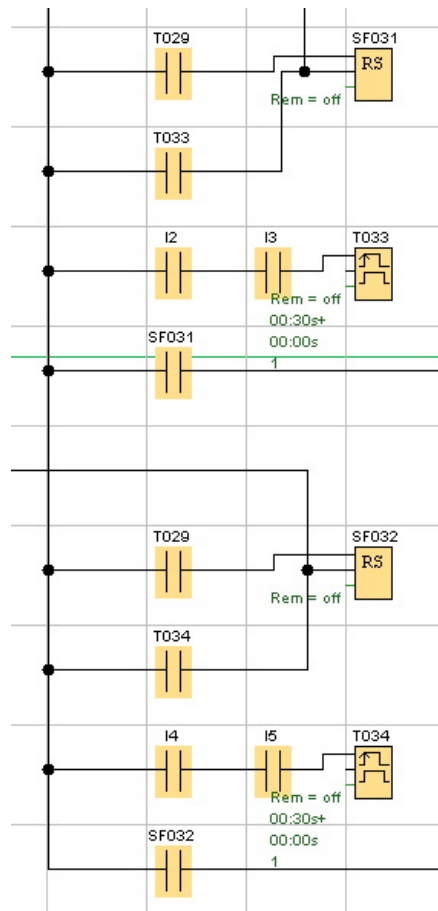
Εικόνα 3.28 Κίνηση προς το βορρά

Η ανοδική – καθοδική κίνηση και η μετακίνηση του ΦΒ πλαισίου προς το βορρά επαναλαμβάνεται μέχρι ο μετρητής θέσεων C028 να μετρήσει τριάντα θέσεις. Όταν μετρήσει τις θέσεις αυτές αποκόπτονται τα τμήματα του προγράμματος τα οποία δίνουν τις εντολές για την μετακίνηση του ΦΒ πλαισίου και την καταγραφή των μετρήσεων. Ενώ παράλληλα ενεργοποιείται ένα άλλο τμήμα του προγράμματος το οποίο επαναφέρει το ΦΒ πλαίσιο στις αρχικές του θέσεις. Όταν το ΦΒ πλαίσιο φτάσει στις θέσεις αυτές μηδενίζεται ο μετρητής θέσεων C028 κι όλα τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία. Ενώ μετά το μηδενισμό αρχίζει νέος κύκλος μετρήσεων.



Εικόνα 3.29 Μετρητής τριάντα θέσεων

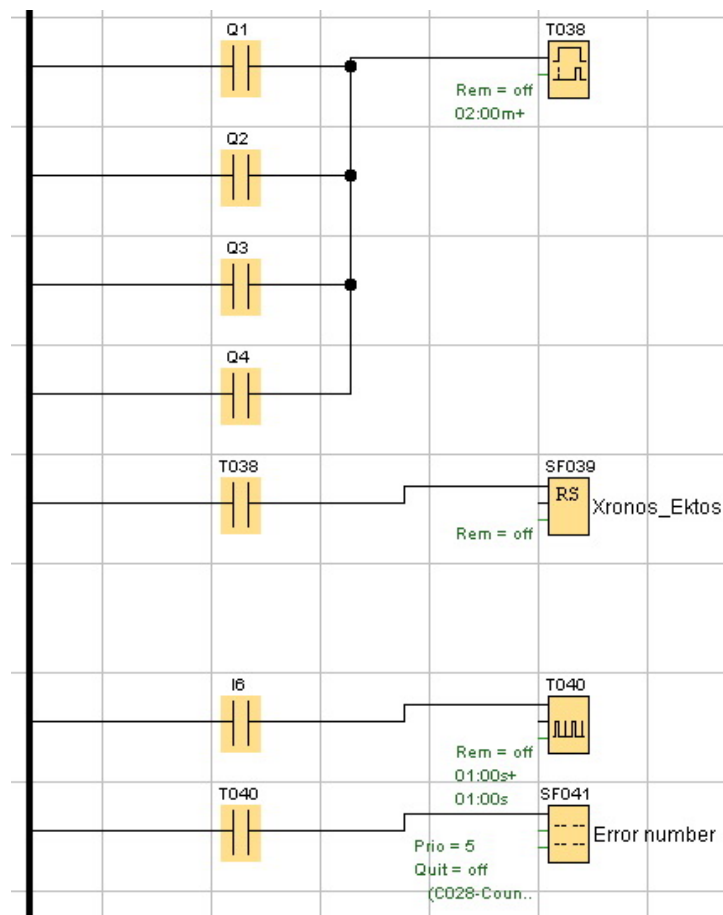
Μόλις ο μετρητής θέσεων *C028* ενεργοποιηθεί και μετά την καταγραφή των μετρήσεων της  $\Theta\Sigma 6$ ,  $\Theta\Pi 5$ , ενεργοποιείται το *SF031* (καθοδική κίνηση) και *SF032* (κίνηση νότου) για την μετακίνηση του  $\Phi\text{B}$  πλαισίου στις αρχικές θέσεις. Η κίνηση του κεκλιμένου επιπέδου διακόπτεται μόλις ενεργοποιηθούν τα αισθητήρια *I2* και *I3*, ενώ αντίστοιχα του οριζόντιου επιπέδου όταν ενεργοποιηθούν τα αισθητήρια *I4* και *I5*.



Εικόνα 3.30 Κίνηση προς  $\Theta\Sigma 1$ ,  $\Theta\Pi 1$  μετά την ολοκλήρωση ενός κύκλου

Για να αποφευχθούν μηχανικά προβλήματα, αν κάποιος κινητήρας τροφοδοτείται παραπάνω από δύο λεπτά συνεχόμενα, το πρόγραμμα διακόπτεται. Ο χρόνος αυτός έχει οριστεί δεδομένου ότι καμία κίνηση είτε στο κεκλιμένο, είτε στο οριζόντιο επίπεδο δεν διαρκεί περισσότερο από μισό λεπτό.

Τέλος αν η κατασκευή κινηθεί εκτός των προκαθορισμένων θέσεων, όπως έχει αναφερθεί, διακόπτεται η λειτουργία του προγράμματος και κατ' επέκταση η κίνηση της κατασκευής. Ενώ ταυτόχρονα αναβοσβήνει στην οθόνη του ελεγκτή ο αριθμός της θέσης στην οποία έγινε η τελευταία καταγραφή των μετρήσεων.



**Εικόνα 3.31 Διακοπή προγράμματος λόγω λειτουργίας κινητήρα πέρα του επιτρεπτού χρόνου και ένδειξη θέσης σφάλματος**



### 3.3 Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων

Για την καταγραφή των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο επιμέρους συστήματα καταγραφής. Το πρώτο σύστημα έχει οριστεί για την καταγραφή της καμπύλης  $I - V$ , ενώ το δεύτερο για την καταγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου.

Ο χρόνος που απαιτείται να παραμένει το ΦΒ πλαίσιο σε κάθε θέση είναι ίσος με πέντε δευτερόλεπτα. Στο χρόνο αυτό το ΦΒ πλαίσιο έχει προσαρμοστεί επαρκώς στις συνθήκες της νέας του θέσης. Μετά το πέρας των πέντε δευτερολέπτων δίδονται κατάλληλα σήματα στα συστήματα καταγραφής κι έπειτα από δύο δευτερόλεπτα το ΦΒ πλαίσιο μετακινείται στην επόμενη θέση.

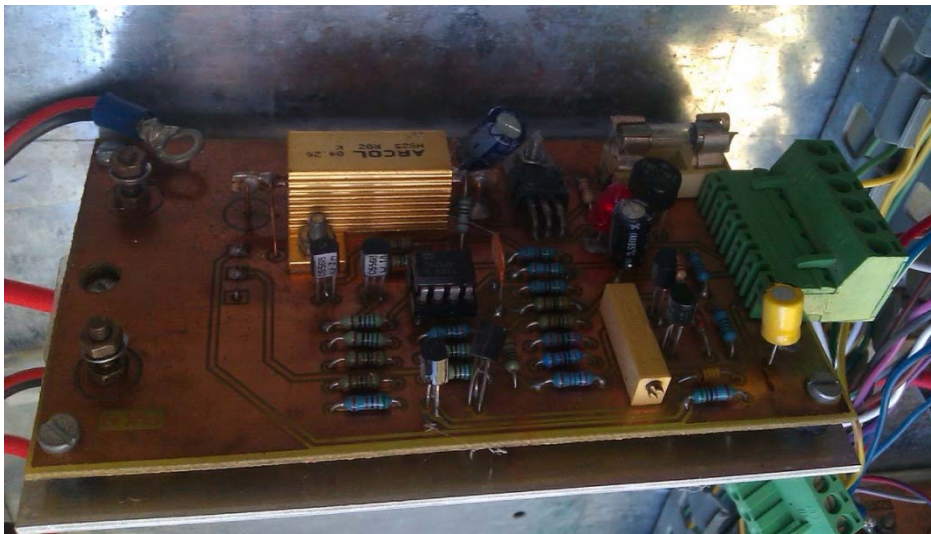
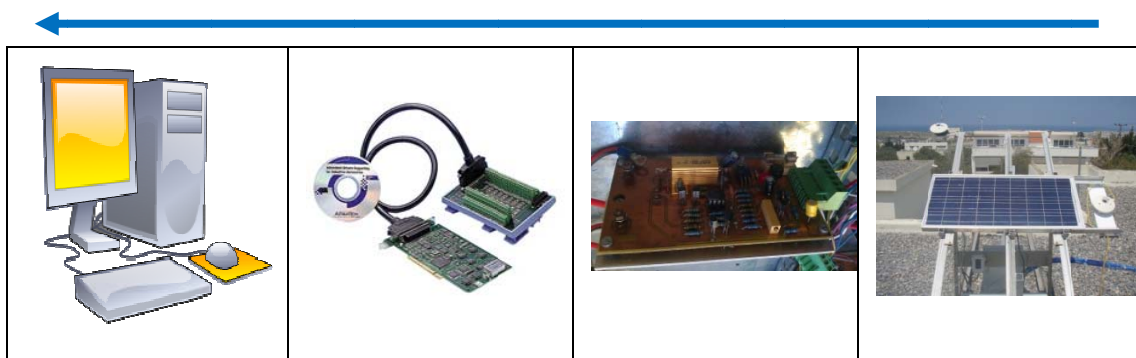
#### 3.3.1 Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων $I - V$

Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων  $I - V$  περιλαμβάνει έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος είναι συνδεδεμένος με σύστημα δύο ολοκληρωμένων καρτών (*Advantech PCI 1710hg device version b*, εικόνα 3.32). Οι κάρτες αυτές δέχονται σήματα από τον  $I - V$  tracer (εικόνα 3.33), ο οποίος είναι κατασκευή του ΦΒ πάρκου. Οι διατάξεις αυτές επιτρέπουν στον υπολογιστή, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με κατάλληλο λογισμικό για την καταγραφή των μετρήσεων, να καταγράφει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα μικρότερο του ενός δευτερολέπτου, τριακόσιες τιμές έντασης ( $I$ ) και τάσης ( $V$ ) συμπεριλαμβανομένου του ρεύματος βραχυκύκλωσης ( $I_{SC}$ ) και της τάσης ανοικτού κυκλώματος ( $V_{OC}$ ). Από αυτές τις τιμές σχηματίζεται η καμπύλη ρεύματος ( $I$ ) – τάσης ( $V$ ) και υπολογίζεται η μέγιστη ισχύ ( $P_{max}$ ) για εκείνη την χρονική στιγμή.

Για την εκκίνηση της καταγραφής των τιμών για την χάραξη της καμπύλης  $I - V$  χρειάζεται να δοθεί παλμός στην είσοδο  $DIO$  (της *Advantech PCI 1710hg*). Ο παλμός αυτός δίδεται μέσω του λογικού ελεγκτή και διαρκεί για μισό δευτερόλεπτο. Σε αυτό το χρονικό διάστημα η είσοδος  $DIO$  γειώνεται (από  $5V$  στα  $0V$ ).



Εικόνα 3.32 Advantech PCI 1710hg

Εικόνα 3.33  $I - V$  tracerΕικόνα 3.34 Σύστημα καταγραφής  $I - V$

### Βαθμονόμηση του συστήματος καταγραφής της καμπύλης $I - V$

Επειδή οι μετρήσεις του συστήματος καταγραφής  $I - V$  δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα χρειάστηκε να βαθμονομηθούν. Η βαθμονόμηση αυτή έγινε με την βοήθεια μιας συσκευής μεγάλης ακρίβειας του εργαστηρίου του ΦΒ πάρκου, το μοντέλο ήταν το PVPM2540C.

Η βαθμονόμηση έγινε με μία σειρά μετρήσεων ταυτόχρονης δειγματοληψίας από την συσκευή αυτή κι από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Έπειτα έγινε σύγκριση των τιμών και προέκυψαν οι παρακάτω συντελεστές αναγωγής των μετρήσεων του υπολογιστή.

Βαθμονόμηση τιμών ρεύματος – τάσης
Ρεύμα = (τιμή υπολογιστή) $\times$ 5.2704322801205
Τάση = (τιμή υπολογιστή) $\times$ 20.0053080564669

### 3.3.2 Το σύστημα καταγραφής μετρήσεων της πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου

Η καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και της θερμοκρασίας του ΦΒ πλαισίου έγινε μέσω του *Data Logger CR1000*, της εταιρίας *Campbell Scientific Inc* (εικόνα 3.35). Ο *Logger* για να λειτουργήσει χρειάζεται τροφοδοσία  $12V_{DC}$ , η οποία γίνεται μέσω ενός συσσωρευτή  $12V_{DC} / 7Ah$ .

Για την καταγραφή των μετρήσεων χρειάζεται να δοθεί παλμός στην είσοδο  $C1$ , ο οποίος δίδεται μέσω του λογικού ελεγκτή και διαρκεί για ένα δευτερόλεπτο και ένα δέκατο του δευτερολέπτου (1,1 δευτερόλεπτα). Σε αυτό το χρονικό διάστημα στην είσοδο  $C1$  δίδεται σήμα  $5V$ .

Ο *Logger* διαθέτει μνήμη αποθήκευσης  $2Mbyte$ , στην οποία αποθηκεύονται οι μετρήσεις κι έπειτα με ένα καλώδιο *RS232* μεταφέρονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του *LoggerNet*. Η διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων φαίνεται στο παράρτημα Ε.



Εικόνα 3.35 CR1000

Για την καταγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται δύο πυρανόμετρα (εικόνα 3.36), το πυρανόμετρο θέσης (ευαισθησίας  $8.61 \times 10^{-6} V/Wm^{-2}$ ) και πυρανόμετρο αναφοράς (ευαισθησίας  $8.60 \times 10^{-6} V/Wm^{-2}$ ). Επίσης για την καταγραφή της θερμοκρασίας του ΦΒ πάνελ χρησιμοποιήθηκε ένα θερμοζεύγος τύπου  $T$  (εικόνα 3.37).



Εικόνα 3.36 Πυρανόμετρο



Εικόνα 3.37 Θερμοζεύγος

Συνδεσμολογία <i>Logger</i>		
Πυρανόμετρο θέσης	Μαύρο	<i>GND</i>
	Κόκκινο	<i>SE1</i>
	Μπλε	<i>SE2</i>
Πυρανόμετρο αναφοράς	Μαύρο	<i>GND</i>
	Κόκκινο	<i>SE3</i>
	Μπλε	<i>SE4</i>
Θερμοζεύγος	<i>Cu</i>	<i>SE5</i>
	<i>Con</i>	<i>SE6</i>

Πίνακας 3.4 Συνδεσμολογία *Logger*

## Λογισμικό *Data Logger CR1000*

```

'CR1000 Series Datalogger
'Program:Logger_TEI_final.cr1 for TEI Crete
'Operator Name: Mr Zakakis
'Telecommunication: Local
'Supply:220V
'PakBusAddress = 1
'Declare Constants
'-----
'-----
'Arxika orizoume tis parametroyis poy tha
'xrisimopoiouseme
'Declare Public Variables
'Example:
Public Bat
Public CM11
Public CMP11
Public Temp
Public Panel_Temp
Public Stn_Code
'-----
'-----
'Stin synexeia orizoume tis monades twn arametrown
Units CM11=W/m2
Units CMP11=W/m2
Units Bat=Volt
Units Temp=deg_Celsiou
Units Panel_Temp=deg_Celsiou
'-----
'-----
'Orizoume to Output Table tou programmatos
'Define Data Tables
DataTable (Logger_TEI_GT,1,-1)
'      DataInterval (0,1,Sec,10)
'      Sample (1,Stn_Code,FP2)
'      Sample (1,CM11,FP2)
'      Sample(1,CMP11,FP2)
'      Sample (1,Temp,FP2)
'      Minimum (1,Bat,FP2,0,False)
EndTable
'-----
'-----
'Main Program
BeginProg
      Scan (1,Sec,0,0)
      If CheckPort(1) = True Then
'Battery Measurement
'-----
      Battery (Bat)

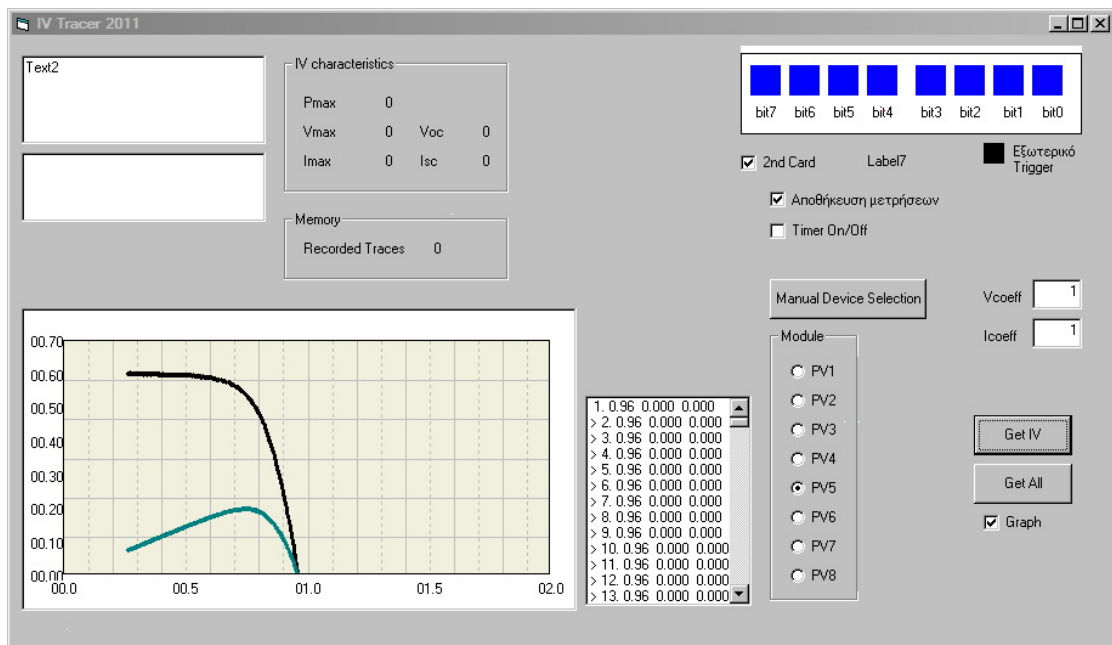
```

```

      Stn_Code=521
      PanelTemp (Panel_Temp,250)
'CM11 Measurement
'-----
'CM11 (s.n.070258, sens.8.61 microVolt/W/m2)
'-----
'Connections
'Black --- G
'Red --- SE1
'Blue --- SE2
'sensitivity=8.61x10(-6)Volts per W/m2
'So mult=1000/sens so mult=116.14
VoltDiff (CM11,1,mV25,1,True ,0, _60Hz,116.14,0)
If CM11<0 Then CM11=0
'CMP11 Measurement
'-----
'CMP11 (s.n.070259, sens.8.60 microVolt/W/m2)
'-----
'Connections
'Black --- G
'Red --- SE3
'Blue --- SE4
'sensitivity=8.60x10(-6)Volts per W/m2
'So mult=1000/sens so mult=116.8
VoltDiff (CMP11,1,mV25,2,True ,0, _60Hz,116.8,0)
If CMP11<0 Then CMP11=0
'-----
'Thermocouple
'-----
'Cu ---> SE5
'Con ---> SE6
TCDiff (Temp,1,mV2_5C,3,TypeT,Panel_Temp,True
,0, _60Hz,1.0,0)
'Call Output Tables
'Example:
CallTable Logger_TEI_GT
EndIf
NextScan
EndProg

```

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

## 4.1 Τρόπος επεξεργασίας των μετρήσεων

Το λογισμικό καταγραφής της καμπύλης  $I - V$  το οποίο χρησιμοποιεί ο υπολογιστής ονομάζεται '*I - V tracer 2011*'. Το λογισμικό αυτό, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 3.3.1, καταγράφει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα μικρότερο του ενός δευτερολέπτου, τρακόσες τιμές έντασης ( $I$ ) και τάσης ( $V$ ) συμπεριλαμβανομένου του ρεύματος βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ) και της τάσης ανοικτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ). Αυτές οι μετρήσεις καταγράφονται σε αρχεία κειμένου (.txt) τα οποία περιέχουν τα δεδομένα κάθε μέρας χωριστά.

Για την επεξεργασία των μετρήσεων αυτών δημιουργήθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού *Java* ('Ταξινόμηση  $I - V$ ', παράρτημα ΣΤ1), το οποίο δέχεται ως είσοδο τα αρχεία κειμένου. Το κάθε ένα από αυτά, διαχωρίζεται σε έξι επιμέρους αρχεία κειμένου, τα οποία αντιστοιχούν στις έξι θέσεις του οριζόντιου επιπέδου κι έχουν την ονομασία της ημερομηνίας και τις θέσεις αυτής (π.χ. *iv\_050511\_position01*).

Έπειτα τα αρχεία της κάθε θέσης, διαχωρίζονται σε πέντε ομάδες των πέντε στηλών. Η κάθε ομάδα υποδεικνύει την θέση του κεκλιμένου επιπέδου, δηλαδή η πρώτη ομάδα αντιστοιχεί στην ΘΠ1, η δεύτερη στη ΘΠ2 κι ούτω κάθε εξής. Η πρώτη στήλη της κάθε ομάδας αντιστοιχεί στην ώρα της μέτρησης, η δεύτερη στην μέγιστη ισχύ ( $P_{max}$ ), η τρίτη στο ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τέταρτη στην τάση ανοικτοκυκλώματος, χωρίς τους αντίστοιχους συντελεστές αναγωγής τους, ενώ η πέμπτη στην μέγιστη ισχύ ( $P_{max}$ ) πολλαπλασιασμένη με τον συντελεστή αναγωγής.

Όμοια με το πρόγραμμα 'Ταξινόμηση  $I - V$ ' έχει υλοποιηθεί άλλο ένα πρόγραμμα ('Ταξινόμηση *Logger*', παράρτημα ΣΤ2) σε γλώσσα προγραμματισμού *Java*, το οποίο εκτελεί τον ίδιο διαχωρισμό θέσεων, με τη διαφορά ότι διαφοροποιούνται οι στήλες της κάθε ομάδας. Η πρώτη στήλη της κάθε ομάδας αντιστοιχεί στην ώρα της μέτρησης, η δεύτερη στο πυρανόμετρο θέσης, η τρίτη πυρανόμετρο αναφοράς, η τέταρτη στην θερμοκρασία πλαισίου κι η πέμπτη θέση στην τάση του συσσωρευτή που τροφοδοτεί τον *Logger*.



## 4.2 Προσδιορισμός απωλειών σκίασης σε ΦΒ συστοιχία

Το μοντέλο βασίζεται στον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο κάθε ΦΒ πλαισίου καθ' ύψος της ΦΒ συστοιχίας και στη συνέχεια της αντίστοιχα παραγόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος. Στους υπολογισμούς αυτούς λαμβάνεται υπόψη οι επιπτώσεις της σκίασης που προκαλείται στην αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ από το ΦΒ πλαίσιο, εξαιτίας της παρουσίας της αμέσως νοτιότερης της συστοιχίας. Οι υπολογισμοί συσχετίζονται με το λόγο ( $r=d/h$ ), του εύρους  $d$ , του διαδρόμου μεταξύ των συστοιχιών, με το ύψος τους  $h$ .

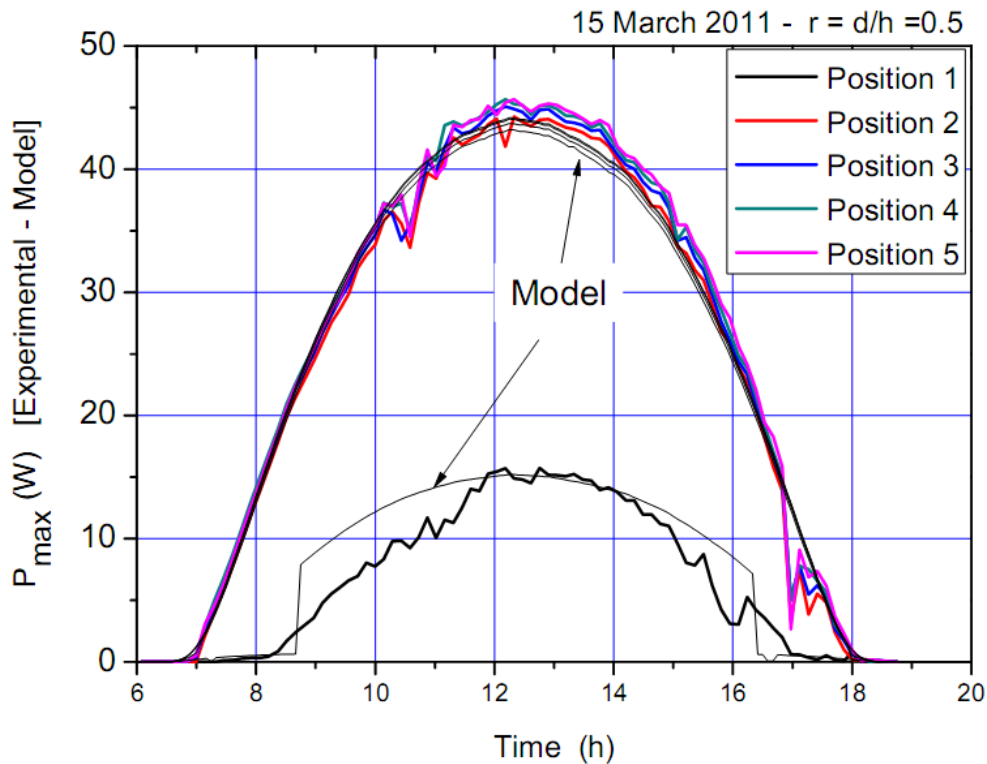
Με δεδομένη την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου (π.χ. μέσω ενός πυρανομέτρου στη θέση του ΦΒ πλαισίου) και την ημερήσια μεταβολή των συντελεστών που καθορίζουν την αξιοποίηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια στο ΦΒ πλαίσιο, υπολογίζεται η αποδιδόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το εξεταζόμενο ΦΒ πλαίσιο, στην ορισμένη θέση στο ΦΒ πάνελ (καθ' ύψος της ΦΒ συστοιχίας). Η ολοκλήρωση μέσα στη μέρα των τιμών μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος σε κάθε θέση ΦΒ πλαισίου δίνει την αντίστοιχη ενεργειακή απολαβή. Η σύγκρισή τους με την αντίστοιχη τιμή για τη θέση του ΦΒ πλαισίου που δεν επηρεάζεται από την παρουσία της προηγούμενης συστοιχίας, προσδιορίζει το ποσοστό ημερήσιας απώλειας του ΦΒ πλαισίου ανάλογα με τη θέση του στο πάνελ. Αν η ολοκλήρωση γίνει για την ημερήσια ενέργεια του πάνελ και συγκριθεί με την τετραπλάσια τιμή ημερήσιας ενέργειας στην ανεπηρέαστη θέση, προκύπτει το ποσοστό απώλειας του πάνελ (κατ' επέκταση της συστοιχίας), λόγω της παρουσίας της αμέσως νοτιότερης ΦΒ συστοιχίας. Με επεξεργασία δεδομένων για όλες τις μέρες του έτους προκύπτει η μέση ετησίως ποσοστιαία απώλεια λόγω σκίασης διαδοχικών ΦΒ συστοιχιών στον τόπο των μετρήσεων. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί για τόπο με διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος.

Τέλος, οι προηγούμενοι υπολογισμοί μπορεί να γίνουν μόνο για την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην περίπτωση αυτή προσδιορίζονται οι απώλειες σκίασης διαδοχικών συστοιχιών στην περίπτωση ηλιοθερμικών συστημάτων.

Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη μπορεί να προκύψει :

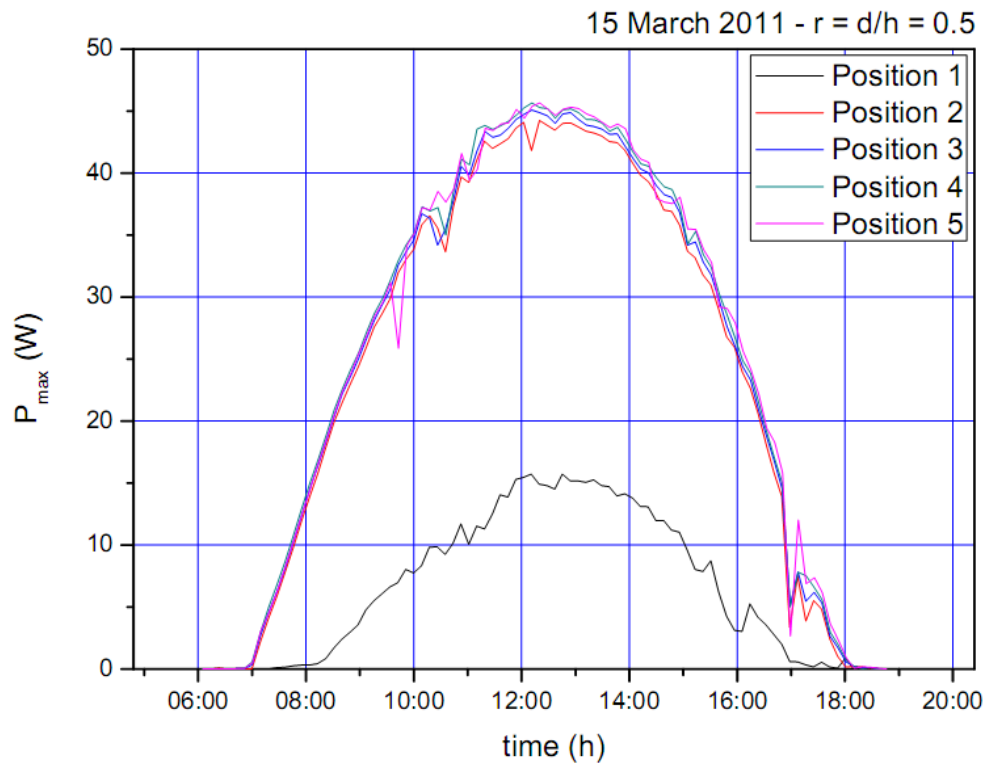
- A. Πειραματικά, με χρήση πυρανομέτρου στο επίπεδο και τη θέση του συλλέκτη
- B. Με αναγωγή πειραματικών δεδομένων πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, ολικής και διάχυτης, στο επίπεδο του συλλέκτη και
- Γ. Με χρήση των εξισώσεων κίνησης του ήλιου και της ηλιακής σταθεράς ( $G_{SC} = 1367 \text{ W/m}^2$ ).

Στην παρούσα εργασία προσδιορίστηκαν πειραματικά οι απώλειες σκίασης σε ΦΒ πλαίσιο για ορισμένο αριθμό ημερών και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προκύπτουν μέσω του μοντέλου.

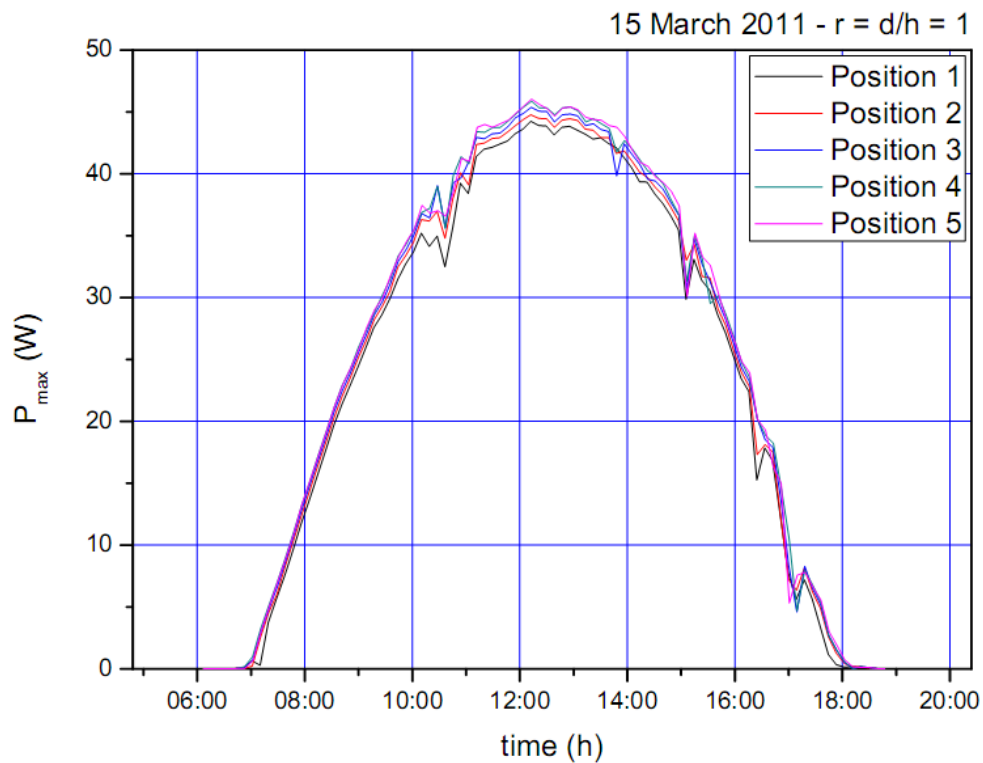


Σχήμα 4.1 Σύγκριση διαγραμμάτων ισχύος μεταξύ θεωρητικού μοντέλου και πειραματικών μετρήσεων για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 1

### 4.3 Διαγράμματα ενεργειακών απωλειών

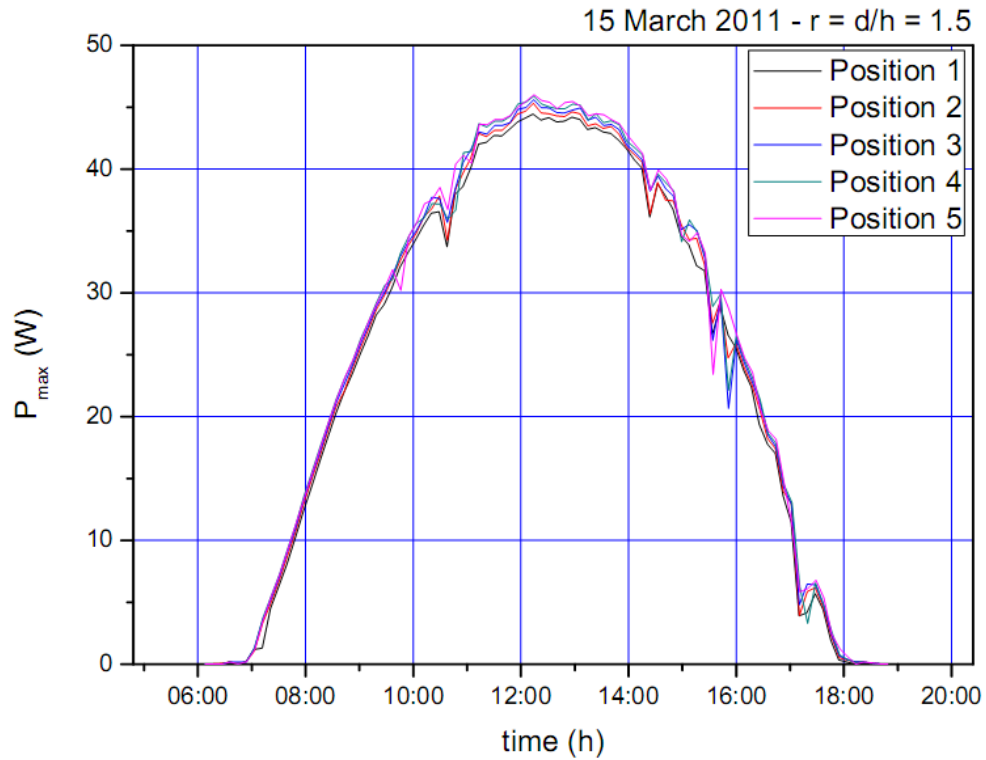


Σχήμα 4.2 Διάγραμμα μέγιστης ισχύος για κάθε θέση πλαισίου<sup>9</sup> συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 1

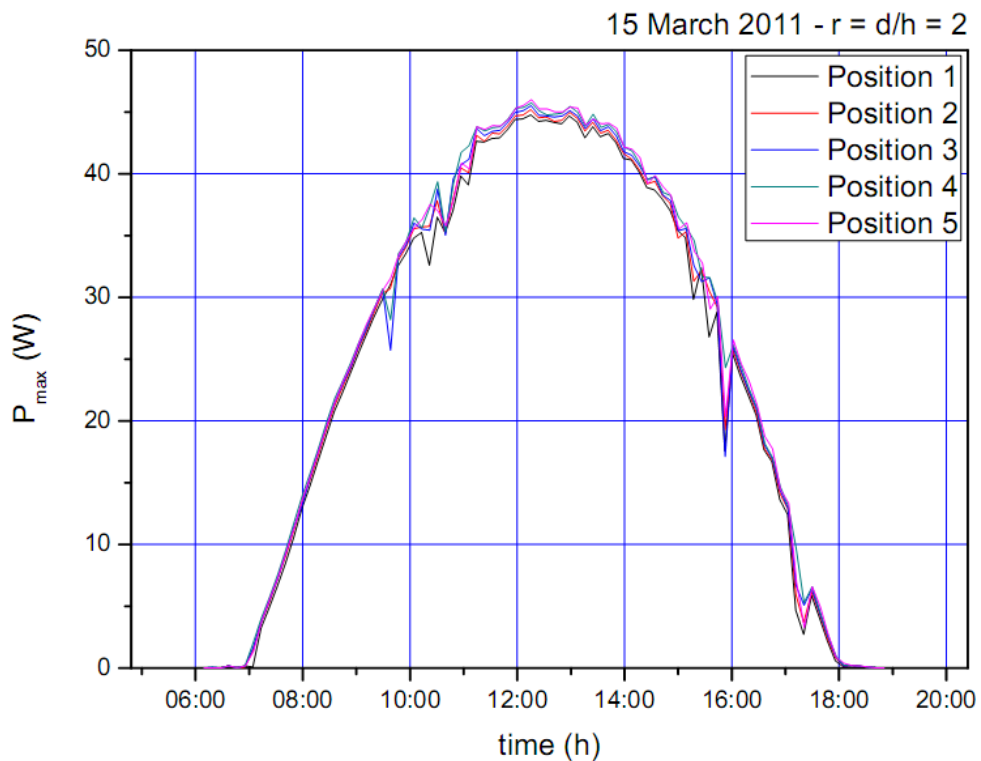


Σχήμα 4.3 Διάγραμμα μέγιστης ισχύος για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 2

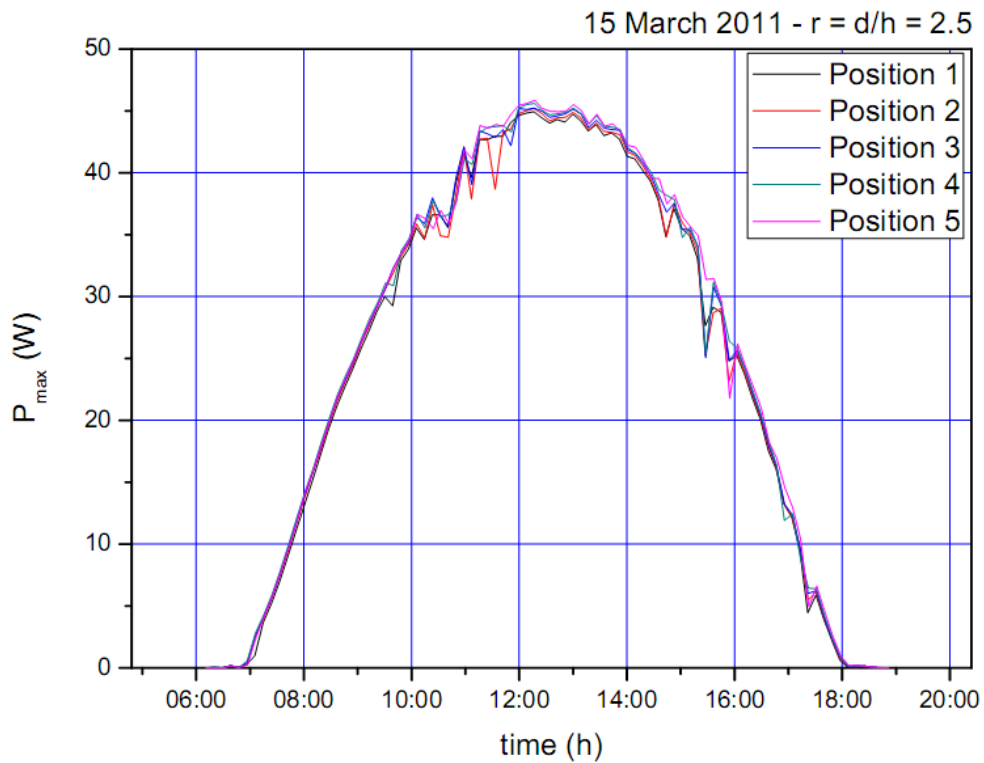
<sup>9</sup> Θέση πλαισίου : Position



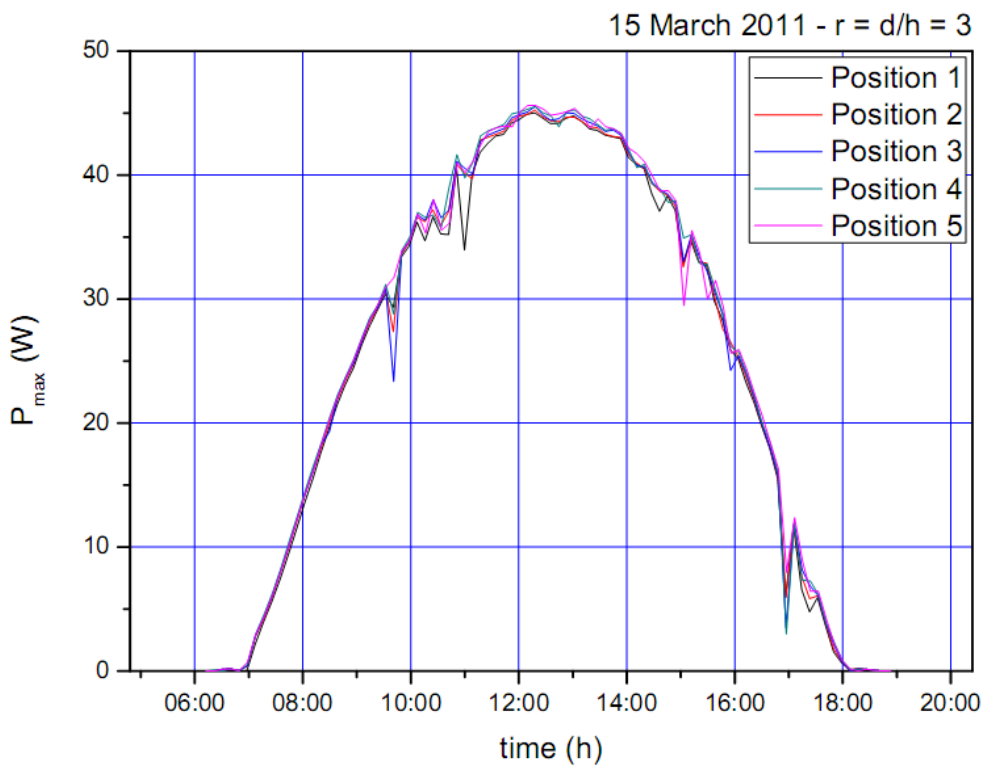
Σχήμα 4.4 Διάγραμμα μέγιστης ισχύος για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 3



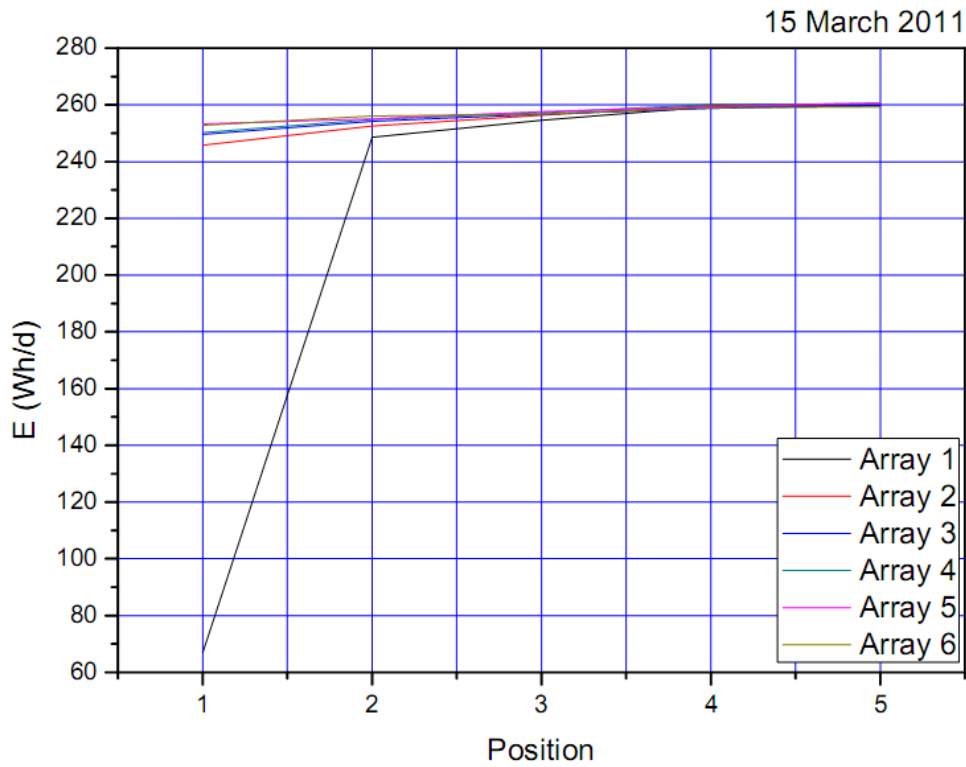
Σχήμα 4.5 Διάγραμμα μέγιστης ισχύος για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 4



Σχήμα 4.6 Διάγραμμα μέγιστης ισχύος για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 5



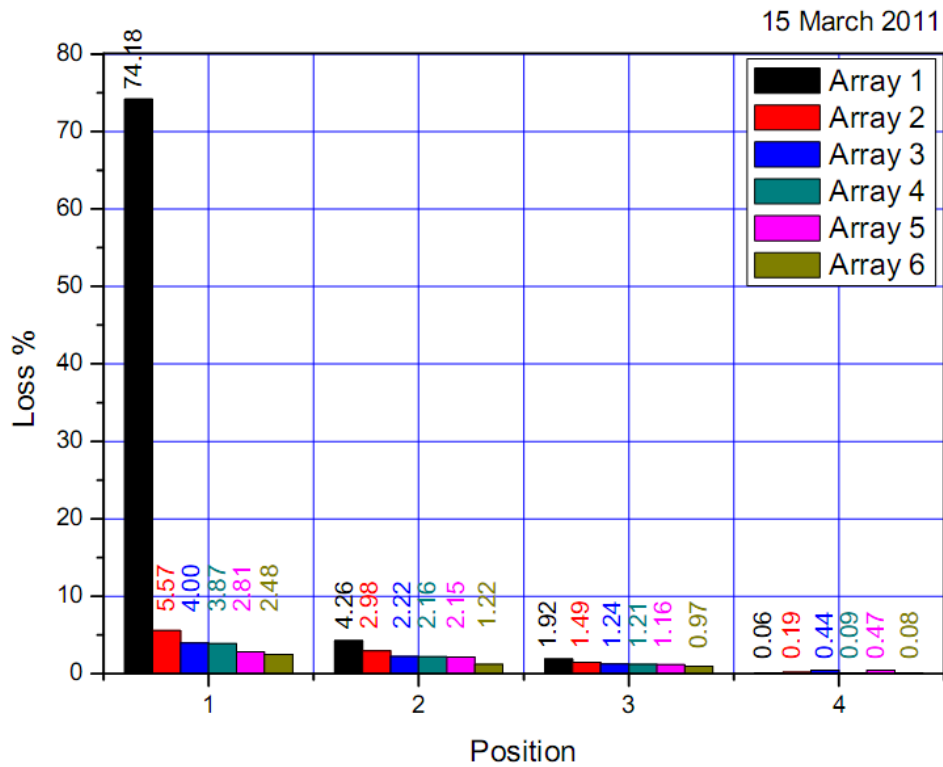
Σχήμα 4.7 Διάγραμμα μέγιστης ισχύος για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 6



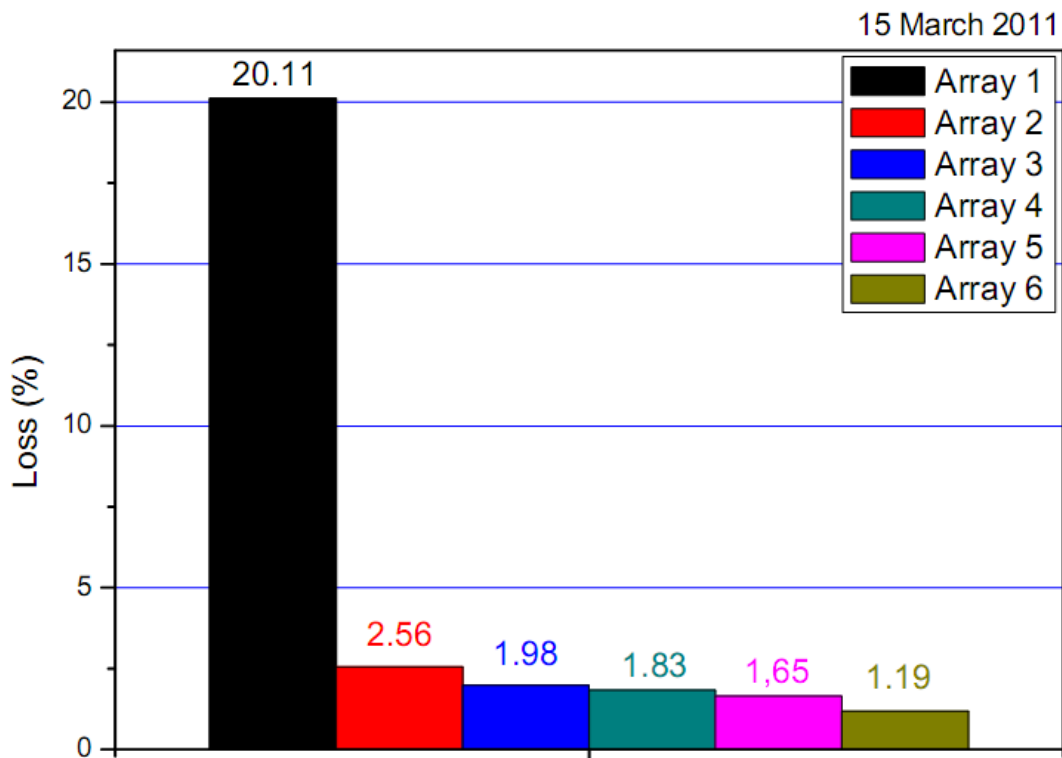
Σχήμα 4.8 Ενέργεια συστοιχίας ανά θέση πλαισίου

Ποσοστό Απώλειων (%) κάθε συστοιχίας σε σύγκριση με την θέση αναφοράς (Θ.Π. 5)						
Συστοιχία						
Θέση	1 (0.5m)	2 (1m)	3 (1.5m)	4 (2m)	5 (2.5m)	6 (3m)
1	74.18	5.57	4.00	3.87	2.81	2.48
2	4.26	2.98	2.22	2.16	2.15	1.22
3	1.92	1.49	1.24	1.21	1.16	0.97
4	0.06	0.19	0.44	0.09	0.47	0.08

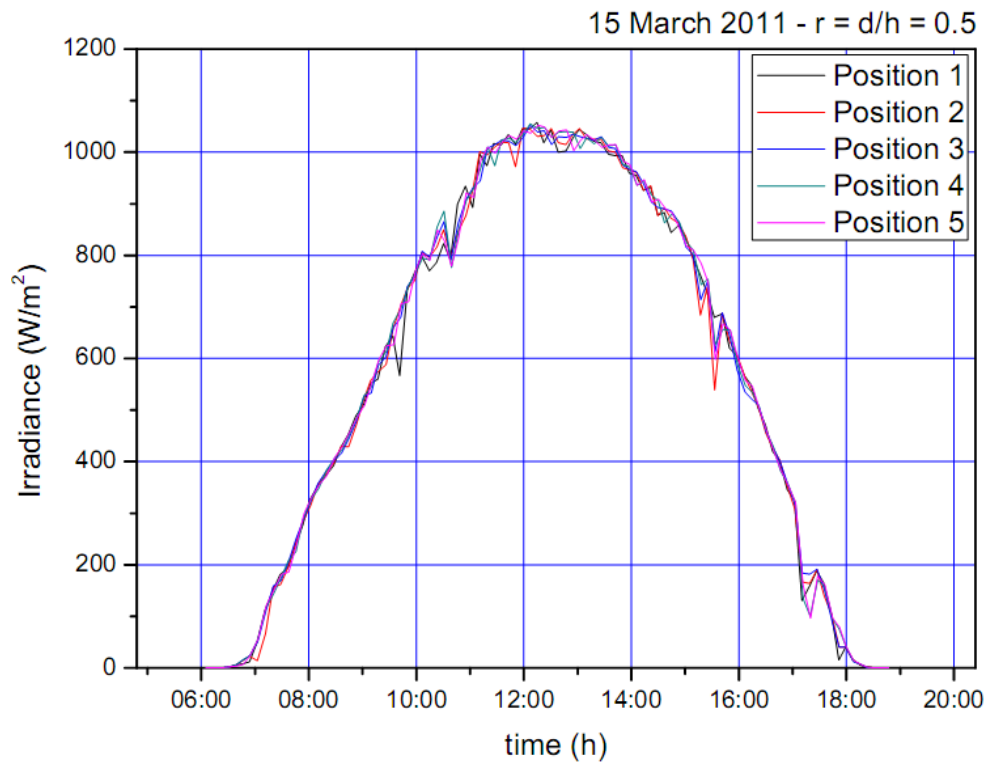
Πίνακας 4.1 Ποσοστό Απωλειών (%) κάθε συστοιχίας σε σύγκριση με την θέση αναφοράς (Θ.Π.5)



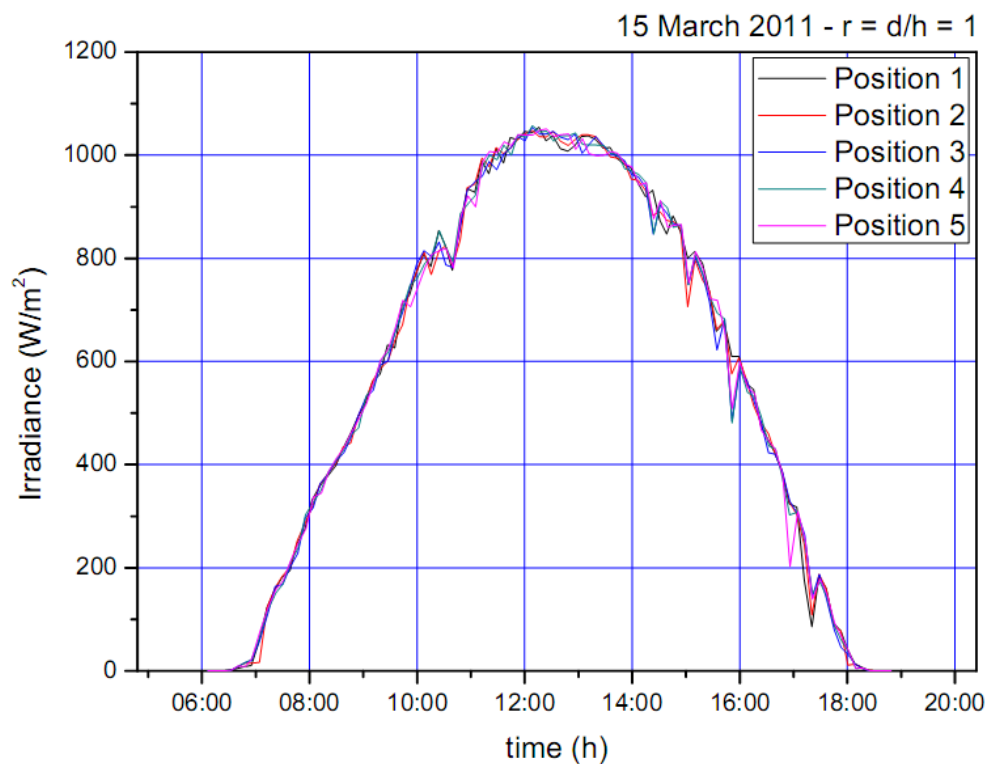
Σχήμα 4.9 Ποσοστό απωλειών συστοιχίας ανά θέση πλαισίου



Σχήμα 4.10 Συνολικές απώλειες πάνελ ανά συστοιχία

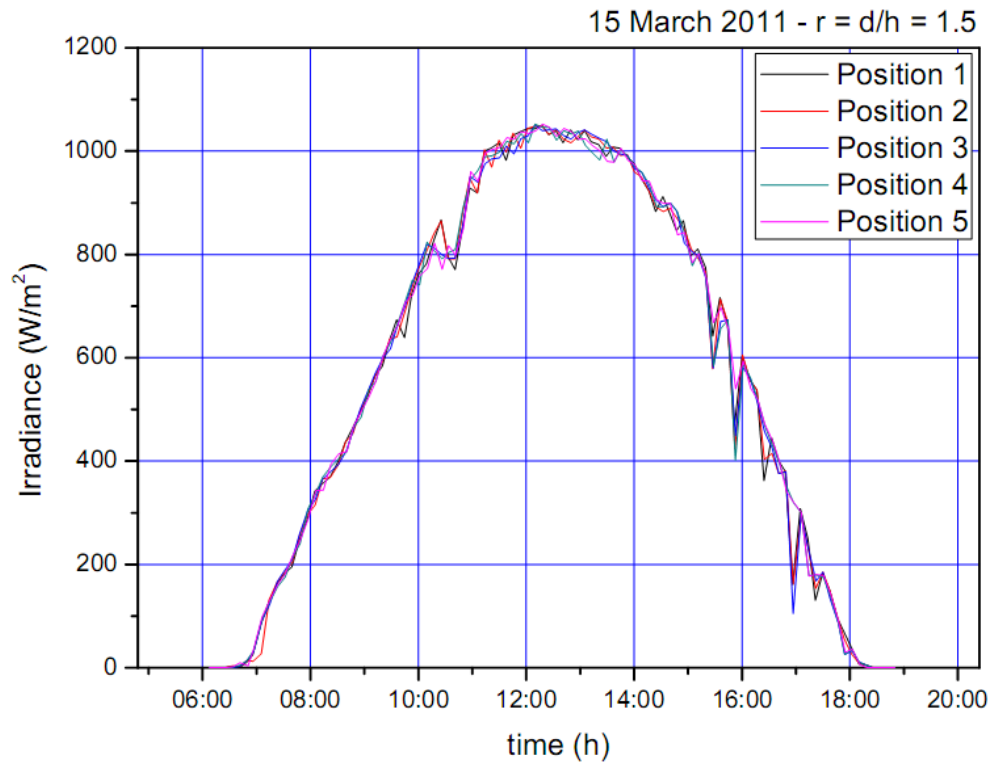


Σχήμα 4.11 Διάγραμμα ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 1

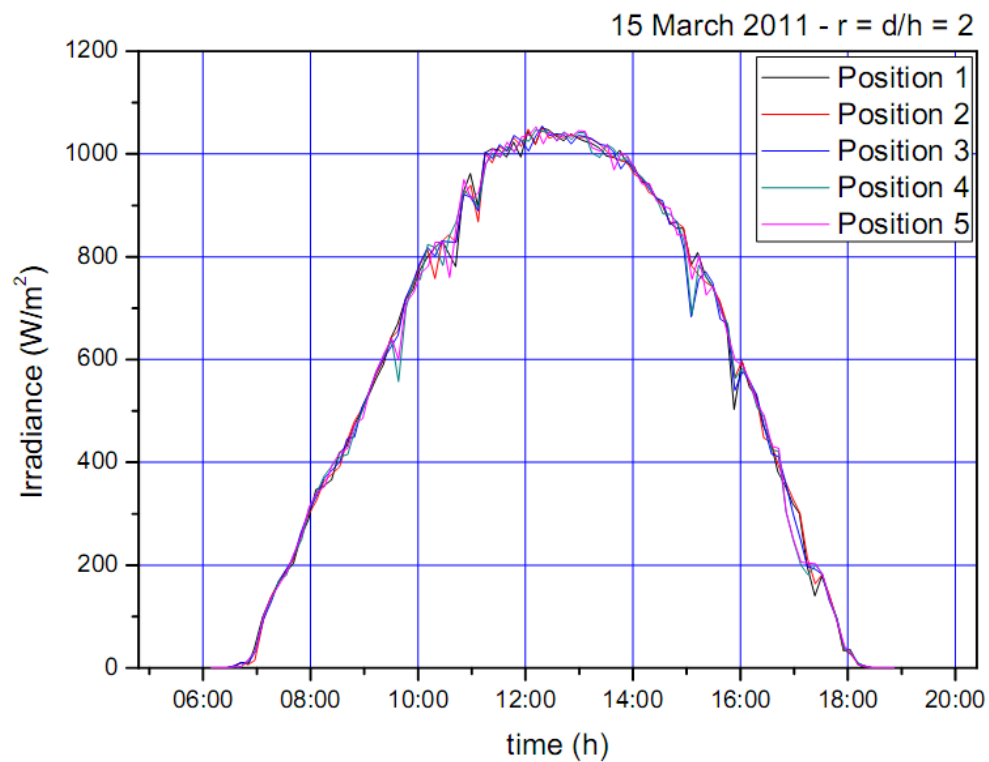


Σχήμα 4.12 Διάγραμμα ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 2

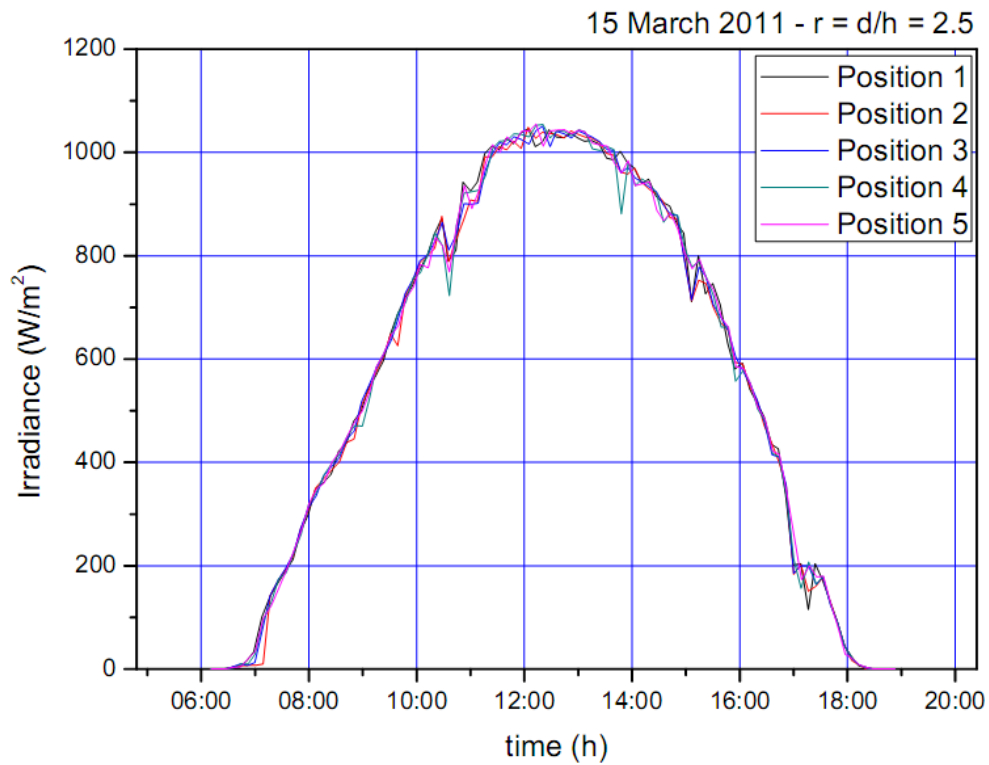




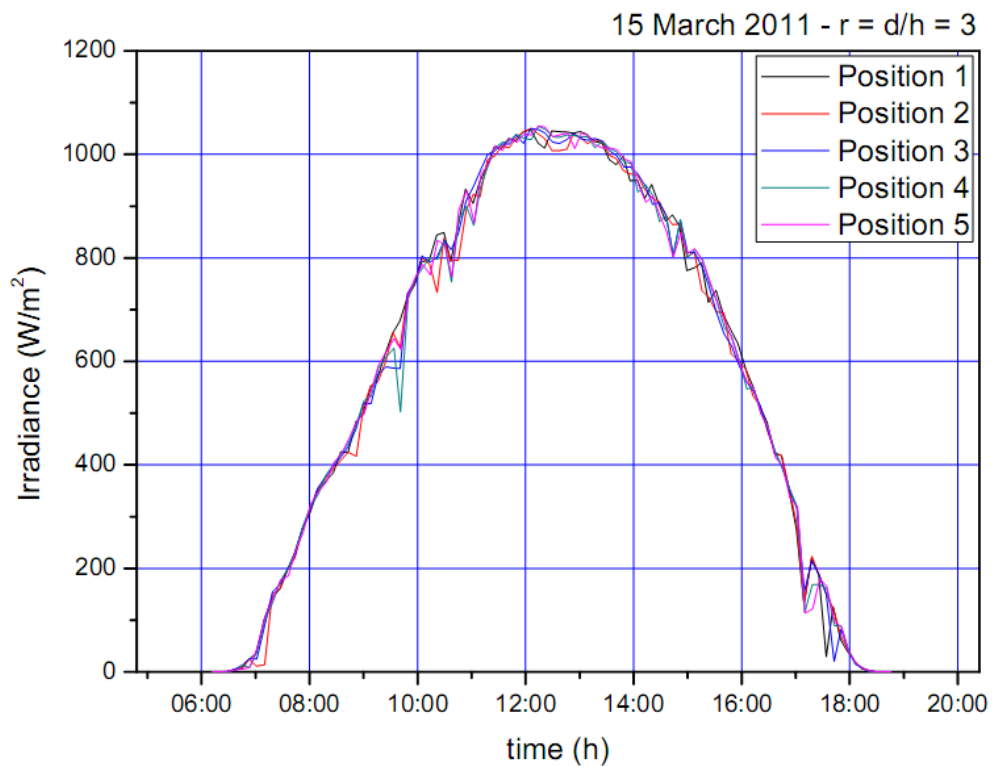
Σχήμα 4.13 Διάγραμμα ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 3



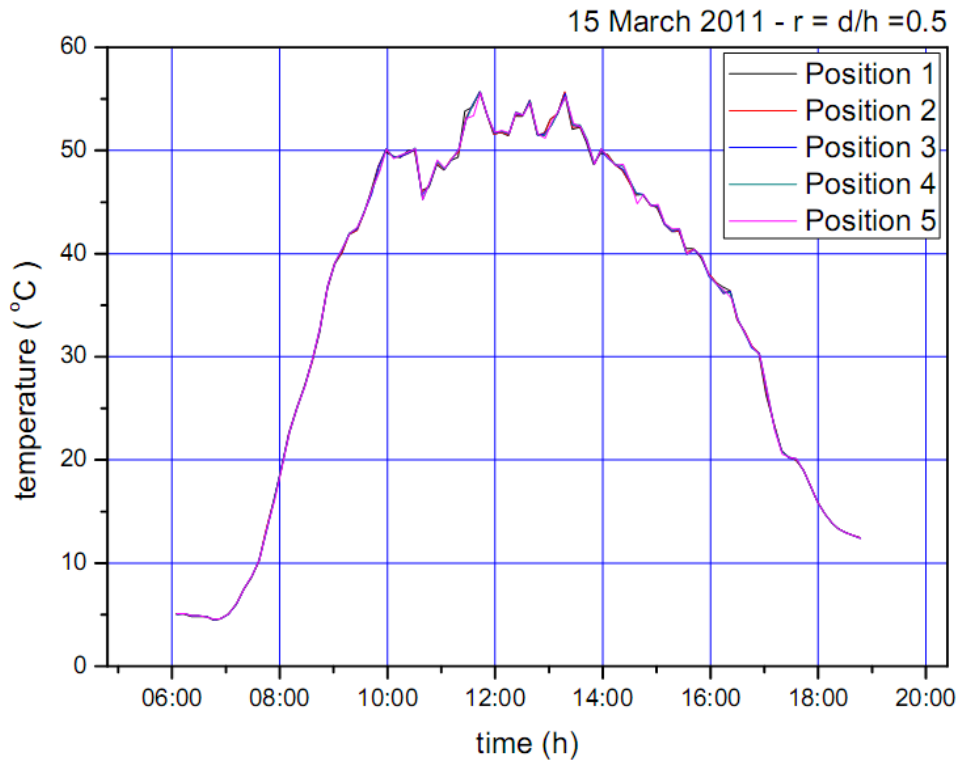
Σχήμα 4.14 Διάγραμμα ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 4



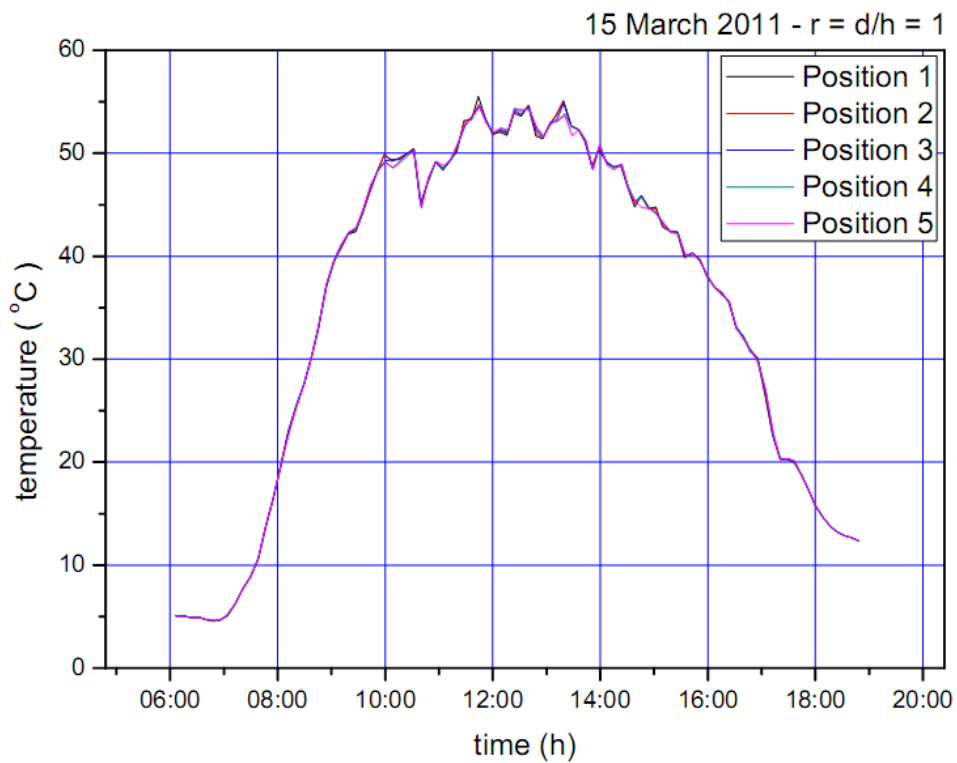
Σχήμα 4.15 Διάγραμμα ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 5



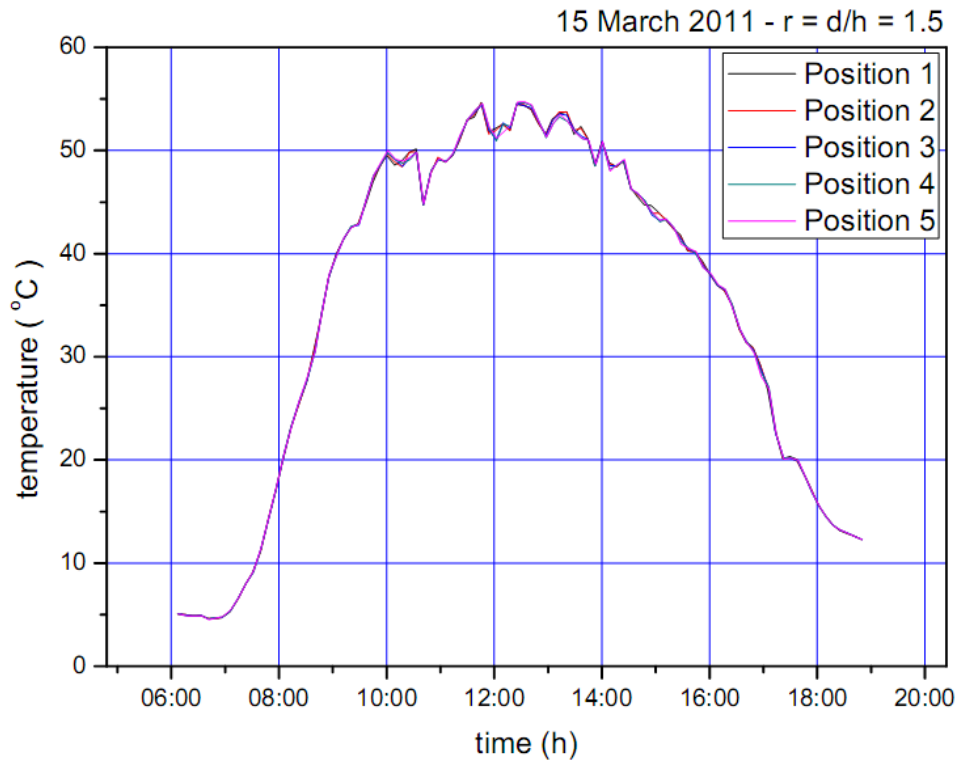
Σχήμα 4.16 Διάγραμμα ισχύος ανά τετραγωνικό μέτρο για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για την θέση συστοιχίας 6



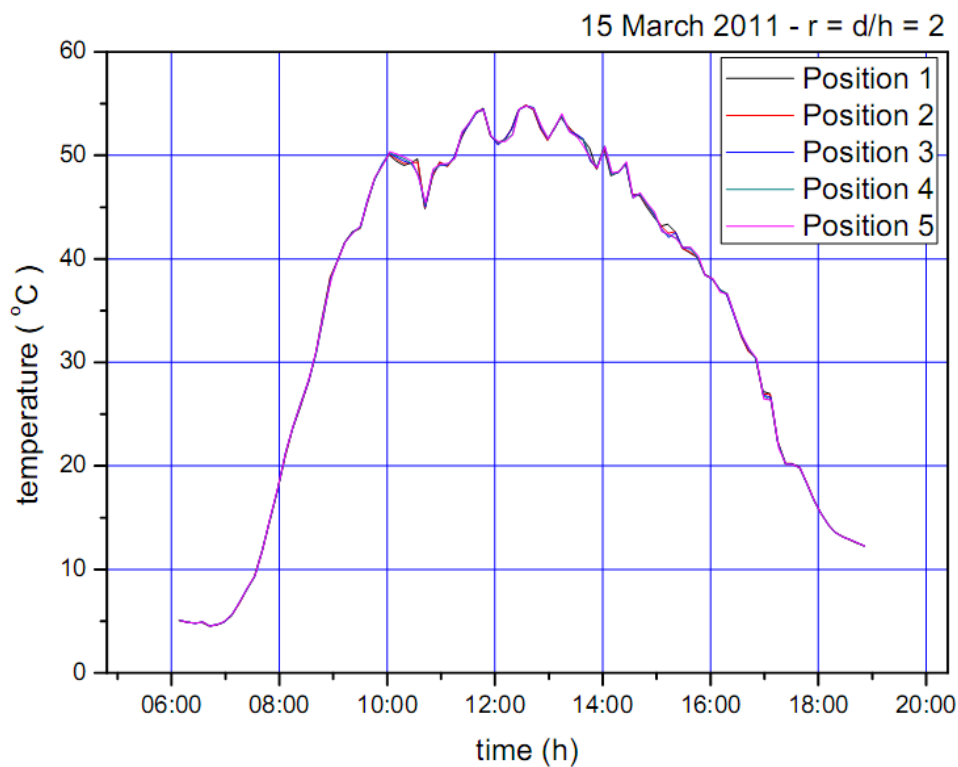
Σχήμα 4.17 Διάγραμμα θερμοκρασίας για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 1



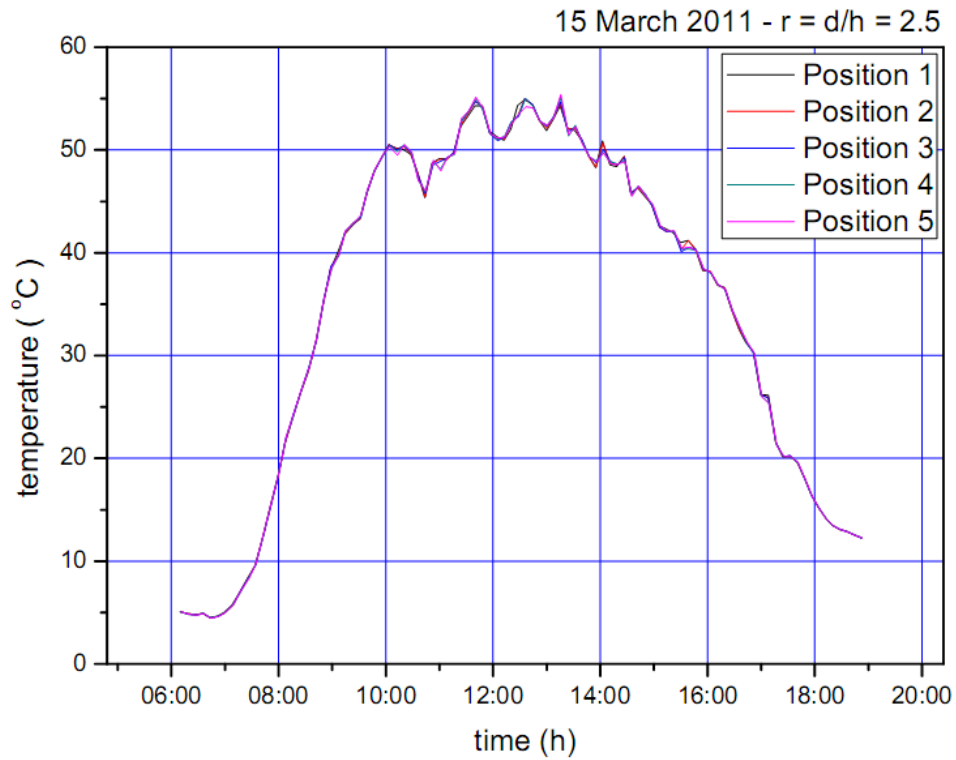
Σχήμα 4.18 Διάγραμμα θερμοκρασίας για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 2



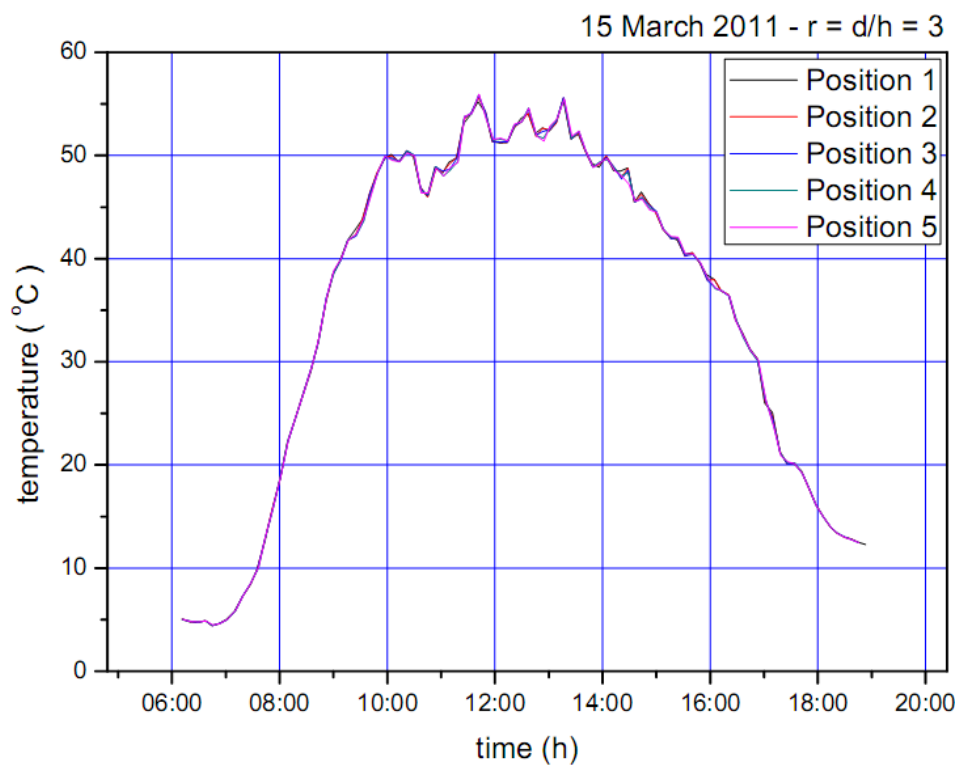
Σχήμα 4.19 Διάγραμμα θερμοκρασίας για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 3



Σχήμα 4.20 Διάγραμμα θερμοκρασίας για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 4



Σχήμα 4.21 Διάγραμμα θερμοκρασίας για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 5



Σχήμα 4.22 Διάγραμμα θερμοκρασίας για κάθε θέση πλαισίου συναρτήσει του χρόνου, για τη θέση συστοιχίας 6

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## 5.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων με την πρόβλεψη της θεωρίας

Για την εγκατάσταση μιας ΦΒ μονάδας είναι αναγκαία η γνώση των ποσοστών απωλειών σκίασης που προκαλούνται από την διάταξη διαδοχικών ΦΒ συστοιχιών. Με γνώμονα τα ποσοστά αυτά μπορεί να υπολογιστεί η ετήσια αποδοτικότητα της ΦΒ μονάδας. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, όπως έχει αναφερθεί υπολογίζονται οι απώλειες σκίασης με πειραματικές μετρήσεις και γίνεται σύγκριση με θεωρητικό μοντέλο.

Η σύγκριση του θεωρητικού μοντέλου με τις πειραματικές μετρήσεις γίνεται στην παράγραφο 4.2 στο σχήμα 4.1, στο οποίο απεικονίζονται όλες οι θέσεις του ΦΒ πλαισίου για τη συστοιχία 1. Όπως παρατηρείται το θεωρητικό μοντέλο σε σύγκριση με τις πειραματικές μετρήσεις κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα τιμών για τις θέσεις πλαισίου 2,3,4 και 5, ενώ στην θέση πλαισίου 1 υπάρχει μια μικρή απόκλιση τιμών κατά τις πρωινές κι απογευματινές ώρες.

Στα σχήματα 4.2 έως 4.7 απεικονίζονται οι πειραματικές μετρήσεις της μέγιστης ισχύς συναρτήσεως του χρόνου για κάθε θέση πλαισίου καθώς και για κάθε θέση συστοιχίας χωριστά, για την 15 Μαρτίου 2011. Από τα διαγράμματα αυτά προκύπτει το συμπέρασμα ότι μόνο στην θέση πλαισίου 1 της συστοιχίας 1 (σχήμα 4.2) υπάρχει σημαντική μείωση της παραγόμενης ενέργειας σε σύγκριση με την θέση πλαισίου 5 όπου κι είναι η αναφορά του συστήματος.

Για τις θέσεις πλαισίου 3,4 και 5 παρατηρείται ότι η ενέργεια που αποδίδεται έχει ελάχιστες διαφορές σε όποια θέση συστοιχίας κι αν βρίσκεται κι αυτό οφείλεται στο ότι σε εκείνα τα σημεία το ΦΒ πλαίσιο δεν σκιάζεται ως προς την απευθείας ακτινοβολία, το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το σχήμα 4.8.

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή οι τέσσερις πρώτες θέσεις για την κάθε συστοιχία αντιπροσωπεύουν ένα ΦΒ πάνελ. Η ενέργεια του, υπολογίζεται προσθέτοντας τις τιμές ισχύος των τεσσάρων πλαισίων επί τον χρόνο μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων ( $\sum_4^1 P_{max} \times \Delta t$ , όπου  $\Delta t = 7 \text{ min}$ ).

Η αντίστοιχη ενέργεια ενός πάνελ που δεν θα σκιαζόταν προκύπτει από την τετραπλάσια τιμή ισχύος της θέσης πλαισίου 5 επί το χρόνο μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων ( $P_{max5} \times 4 \times \Delta t$ , όπου  $\Delta t = 7 \text{ min}$ ), ούτως ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση με το πάνελ που αντιπροσωπεύουν οι πρώτες τέσσερις θέσεις.

Με σύγκριση αυτών των δύο τιμών υπολογίζονται τα ποσοστά απωλειών κάθε συστοιχίας, τα ποσοστά αυτά δείχνονται στο σχήμα 4.10.

Όσον αφορά τις απώλειες του πυρανομέτρου εμφανίζονται χαμηλότερες καθώς η πυκνότητα ακτινοβολίας είναι υψηλή ενώ παρατηρείται το αντίθετο καθώς η ηλιοφάνεια μειώνεται. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το ΦΒ πλαίσιο επηρεάζεται περισσότερο από το φαινόμενο της σκίασης, με αποτέλεσμα η σκίαση της απευθείας ακτινοβολίας να δημιουργεί μεγαλύτερες απώλειες στο ΦΒ πλαίσιο σε σχέση με το πυρανόμετρο, όπως παρατηρείται στα διαγράμματα 4.11 έως 4.16.

Τέλος, από τα διαγράμματα των θερμοκρασιών (Σχήμα 4.17 έως 4.22) προκύπτει το συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία του ΦΒ πλαισίου δεν είχε αξιοσημείωτες μεταβολές από θέση σε θέση καθώς το πέτασμα επηρέαζε σημαντικά μόνο την θέση πλαισίου 1 για την συστοιχία 1 και για να καταφέρει το ΦΒ πλαίσιο να έχει διαφορά θερμοκρασίας σε σχέση με τις άλλες θέσεις θα έπρεπε να παραμείνει σε αυτή για αρκετό χρονικό διάστημα.

## 5.2 Προβλήματα – Βελτιώσεις

Κατά τη διεξαγωγή της πτυχιακής εργασίας προέκυψαν διάφορων ειδών προβλήματα. Αυτά κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, μηχανολογικά, προβλήματα με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και τέλος προβλήματα με τον λογικό ελεγκτή της κατασκευής. Παράλληλα αναφέρονται και οι βελτιώσεις που έγιναν.

### Μηχανολογικά προβλήματα

Τα πρώτα προβλήματα της κατασκευής παρουσιάστηκαν στις οριζόντιες ράγες οι οποίες είχαν χάσει την ευθυγράμμισή τους και γι' αυτό το λόγω η κατασκευή παρουσίαζε πρόβλημα στην μετακίνησή της. Για την λύση αυτού του προβλήματος χρειάστηκε να τοποθετηθούν διάφορα πρόσθετα κομμάτια αλουμινίου στις άκρες της κατασκευής τα οποία συγκρατούν τις ράγες ευθυγραμμισμένες μεταξύ τους.

Έπειτα υπήρξαν προβλήματα στην μετακίνηση του ΦΒ πλαισίου στο κεκλιμένο επίπεδο. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.2.1 η κίνηση στο επίπεδο αυτό γίνεται με ένα σύστημα κρεμαγιέρας με γρανάζι, το οποίο είναι κατασκευασμένο από σίδηρο, ενώ η βάση πάνω στην οποία είναι τοποθετημένο είναι από αλουμίνιο. Όπως είναι γνωστό το αλουμίνιο με το σίδηρο έχουν διαφορετική



συμπεριφορά συστολής – διαστολής όταν ψυχθούν οι θερμανθούν αντίστοιχα. Για αυτό το λόγο στην αλουμινένια βάση που στηρίζεται η κρεμαγιέρα, δημιουργήθηκαν διάδρομοι για την εξαναγκασμένη κίνηση κατά την συστολή και διαστολή του σιδήρου μέσα σε αυτές, χωρίς να προκαλείται πρόβλημα στην κατασκευή.

Ένα άλλο πρόβλημα που προέκυψε ήταν η βλάβη του κινητήρα στο κεκλιμένο επίπεδο. Η βλάβη αυτή παρουσιάστηκε λόγω καταστροφής ενός γραναζιού μέσα στον κινητήρα, το οποίο μετέδιδε την κίνηση στον άξονα περιστροφής.

Τα παραπάνω ήταν τα βασικότερα μηχανολογικά προβλήματα που παρουσιάστηκαν τα οποία δεν επέτρεπαν την κίνηση της κατασκευής. Παράλληλα με αυτά υπήρξαν κι άλλα προβλήματα τα οποία διορθώθηκαν, όμως δεν αναφέρονται διότι η σημασία τους είναι μικρή.

### **Προβλήματα στον υπολογιστή**

Όσον αφορά τα προβλήματα με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, είναι ότι, αρχικά η κάρτα καταγραφής των μετρήσεων (*Advantech PCI 1710hg device version b*) τοποθετήθηκε σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας, λόγω μιας υπέρτασης της τάσης του δικτύου, καταστράφηκε η μητρική πλακέτα του (*motherboard*). Στη συνέχεια έγινε δοκιμή της κάρτας με δύο υπολογιστές νεότερης τεχνολογίας, οι οποίοι δεν ήταν συμβατοί. Για την λύση αυτού του προβλήματος, η κάρτα μεταφέρθηκε σε ένα υπολογιστή ο οποίος ήταν ήδη εφοδιασμένος με μία ίδια κάρτα, η οποία χρησιμοποιούνταν για τις ανάγκες δύο άλλων πτυχιακών εργασιών.

Με την τοποθέτηση της δεύτερης κάρτας στον ίδιο υπολογιστή παρουσιάστηκε ένα νέο πρόβλημα, το οποίο, κάποιες φορές κατά την ανατολή και δύση του ηλίου καταγράφει λανθασμένες μετρήσεις, οι οποίες όμως είναι εύκολο να εντοπιστούν και να διορθωθούν.

### **Προβλήματα με τον λογικό ελεγκτή**

Τέλος, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 3.2.3.1, έγινε αντικατάσταση του αρχικού λογικού ελεγκτή της *xLogic* ο οποίος είχε χρησιμοποιηθεί καθώς αποδείχθηκε αναξιόπιστος για τις ανάγκες της κατασκευής.

## 5.3 Προτάσεις

Κλείνοντας, δίδονται κάποιες προτάσεις για την βελτίωση της λειτουργίας της κατασκευής.

1. Να βρεθεί χωριστός υπολογιστής για την καταγραφή των μετρήσεων ούτως ώστε να μπορεί να είναι ανεξάρτητη η κατασκευή και να μην λειτουργεί παράλληλα με άλλες.
2. Το σύστημα κρεμαγιέρας με γρανάζι θα πρέπει, είτε να αντικατασταθεί με κάποιο άλλο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, είτε να γίνει βελτίωση του υπάρχοντος. Μια βελτίωση που μπορεί να γίνει στο υπάρχον σύστημα είναι η αντικατάσταση της κρεμαγιέρας με κάποια άλλη διαφορετικού υλικού όμοιων χαρακτηριστικών με το αλουμίνιο, αλλά μεγαλύτερης αντοχής.
3. Αντικατάσταση των κινητήρων με νέους, οι οποίοι θα διαθέτουν ψηφιακούς κωδικοποιητές. Με αυτό τον τρόπο καταργούνται τα αισθητήρια για την κίνηση του ΦΒ πλαισίου, στα οποία ως μηχανικά μέρη μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα. Επίσης επιτυγχάνεται η μετακίνηση του ΦΒ πλαισίου σε ακριβέστερες θέσεις.

# Παραρτήματα

Παράρτημα Α – Πυρανόμετρο ‘θέσης – αναφοράς’

Παράρτημα Β – Θέσης ΦΒ πλαισίου

Παράρτημα Γ1 – Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος

Παράρτημα Γ2 – Πίνακας Φόρτισης Συσσωρευτή

Παράρτημα Γ3 – Βοηθητικό κύκλωμα διάταξης

Παράρτημα Γ4 – Κύκλωμα ισχύος διάταξης

Παράρτημα Γ5 – Αισθητήρας εκκίνησης – λήξης της λειτουργίας του συστήματος

Παράρτημα Γ6 – Ρυθμιστής τάσης (*Regulator*)

Παράρτημα Γ7 –Ανοψωτής τάσης (*Step up*)

Παράρτημα Δ1 – Πρόγραμμα *xLogic*

Παράρτημα Δ2 –Πρόγραμμα *Siemens*

Παράρτημα Ε - Διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων

Παράρτημα ΣΤ1 - ‘Ταξινόμηση *I – V*’

Παράρτημα ΣΤ2 - ‘Ταξινόμηση *Logger*’

**Παράρτημα Α – Πυρανόμετρο ‘θέσης – αναφοράς’**



## Παράρτημα Β – Θέσης ΦΒ πλαισίου Απόσταση μισού μέτρου (0.5m) από την νοτιότερη συστοιχία



Θέση Συστοιχίας 1, Θέση Πλαισίου 1 (Αρχικές Θέσεις)



Θέση Συστοιχίας 1, Θέση Πλαισίου 2



Θέση Συστοιχίας 1, Θέση Πλαισίου 3



Θέση Συστοιχίας 1, Θέση Πλαισίου 4



Θέση Συστοιχίας 1, Θέση Πλαισίου 5

**Απόσταση ενός μέτρου(1m) από την νοτιότερη συστοιχία**



**Θέση Συστοιχίας 2, Θέση Πλαισίου 1**



**Θέση Συστοιχίας 2, Θέση Πλαισίου 2**



**Θέση Συστοιχίας 2, Θέση Πλαισίου 3**



**Θέση Συστοιχίας 2, Θέση Πλαισίου 4**



**Θέση Συστοιχίας 2, Θέση Πλαισίου 5**

**Απόσταση ενάμιση μέτρου (1.5m) από την νοτιότερη συστοιχία**



**Θέση Συστοιχίας 3, Θέση Πλαισίου 1**



**Θέση Συστοιχίας 3, Θέση Πλαισίου 2**



**Θέση Συστοιχίας 3, Θέση Πλαισίου 3**



**Θέση Συστοιχίας 3, Θέση Πλαισίου 4**



**Θέση Συστοιχίας 3, Θέση Πλαισίου 5**

**Απόσταση δυο μέτρων (2m) από την νοτιότερη συστοιχία**



**Θέση Συστοιχίας 4, Θέση Πλαισίου 1**



**Θέση Συστοιχίας 4, Θέση Πλαισίου 2**



**Θέση Συστοιχίας 4, Θέση Πλαισίου 3**



**Θέση Συστοιχίας 4, Θέση Πλαισίου 4**



**Θέση Συστοιχίας 4, Θέση Πλαισίου 5**



**Απόσταση δυόμιση μέτρων (2.5m) από την νοτιότερη συστοιχία**



**Θέση Συστοιχίας 5, Θέση Πλαισίου 1**



**Θέση Συστοιχίας 5, Θέση Πλαισίου 2**



**Θέση Συστοιχίας 5, Θέση Πλαισίου 3**



**Θέση Συστοιχίας 5, Θέση Πλαισίου 4**



**Θέση Συστοιχίας 5, Θέση Πλαισίου 5**

**Απόσταση τριών μέτρων (3m) από την νοτιότερη συστοιχία**



**Θέση Συστοιχίας 6, Θέση Πλαισίου 1**



**Θέση Συστοιχίας 6, Θέση Πλαισίου 2**



**Θέση Συστοιχίας 6, Θέση Πλαισίου 3**

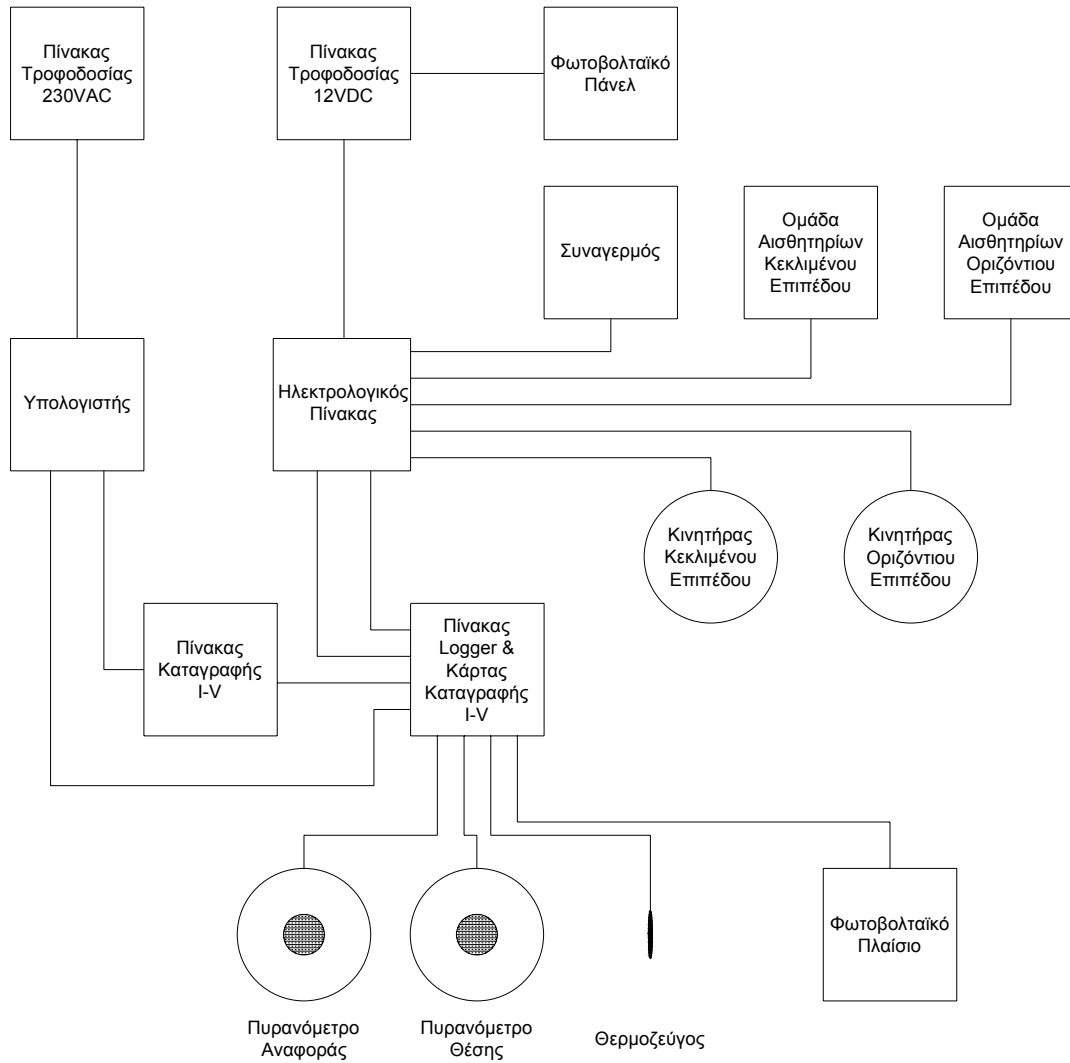


**Θέση Συστοιχίας 6, Θέση Πλαισίου 4**

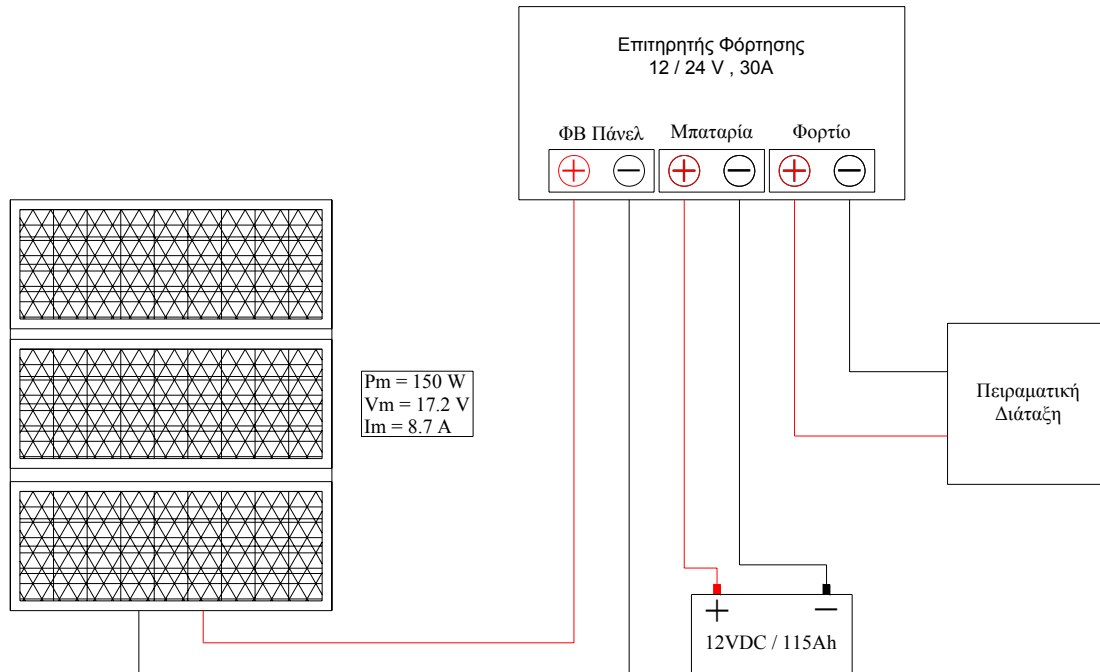


**Θέση Συστοιχίας 6, Θέση Πλαισίου 5**

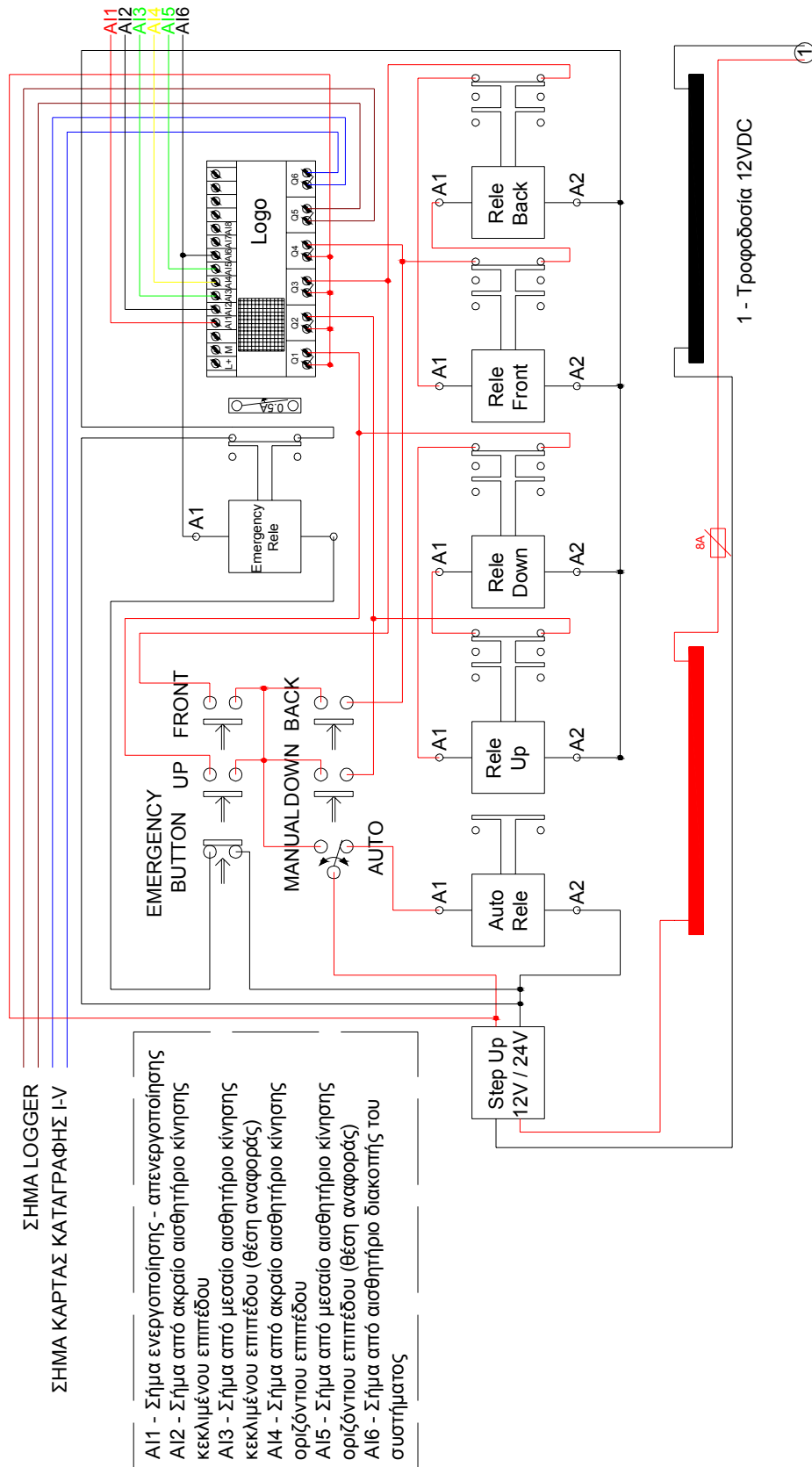
## Παράρτημα Γ1 – Διάγραμμα λειτουργίας συστήματος



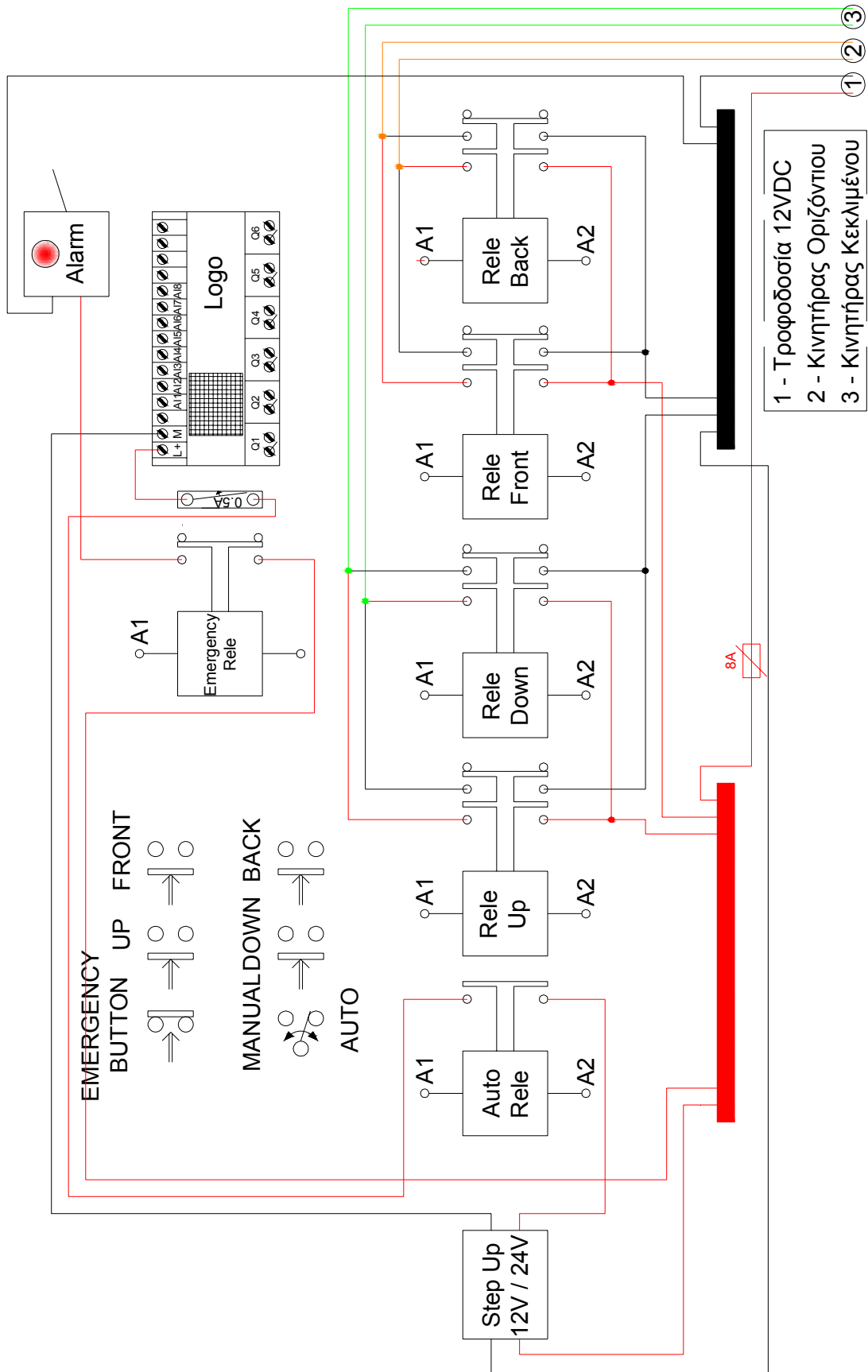
## Παράρτημα Γ2 – Πίνακας Φόρτισης Συσσωρευτή



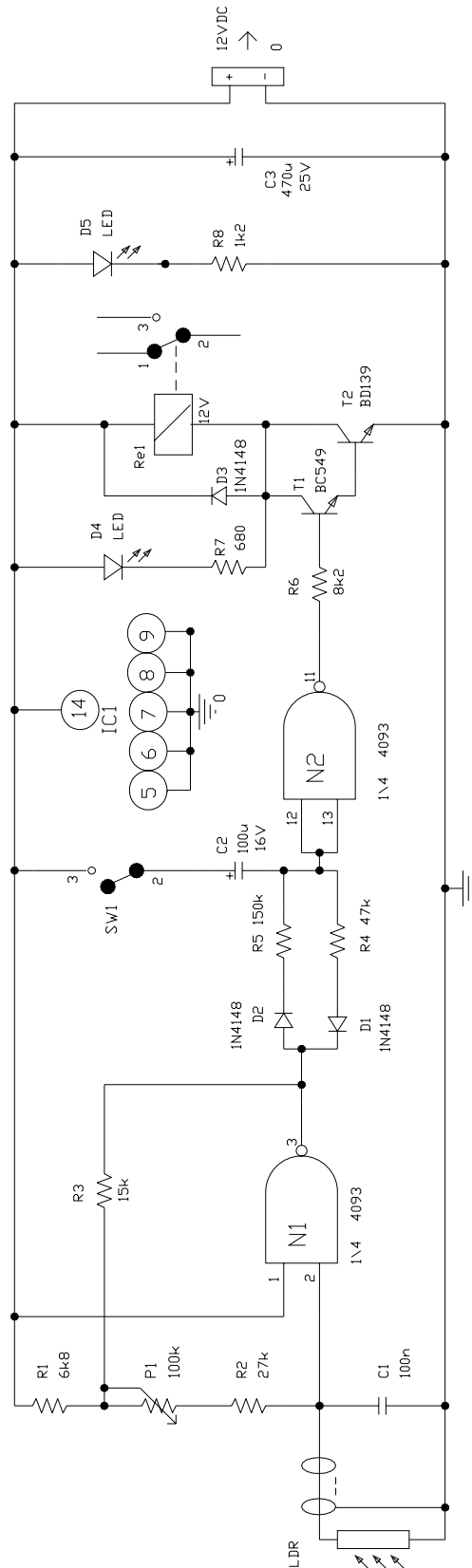
## Παράρτημα Γ3 – Βοηθητικό κύκλωμα διάταξης



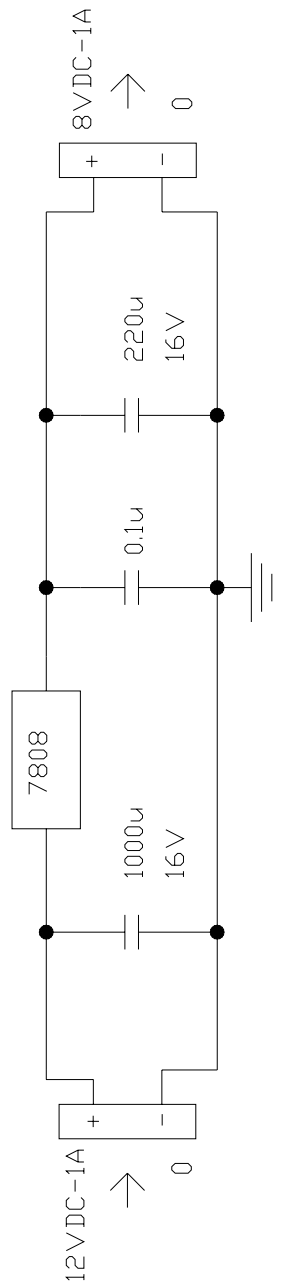
Παράρτημα Γ4 – Κύκλωμα ισχύος διάταξης



## Παράρτημα Γ5 – Αισθητήρας εκκίνησης – λήξης της λειτουργίας του συστήματος

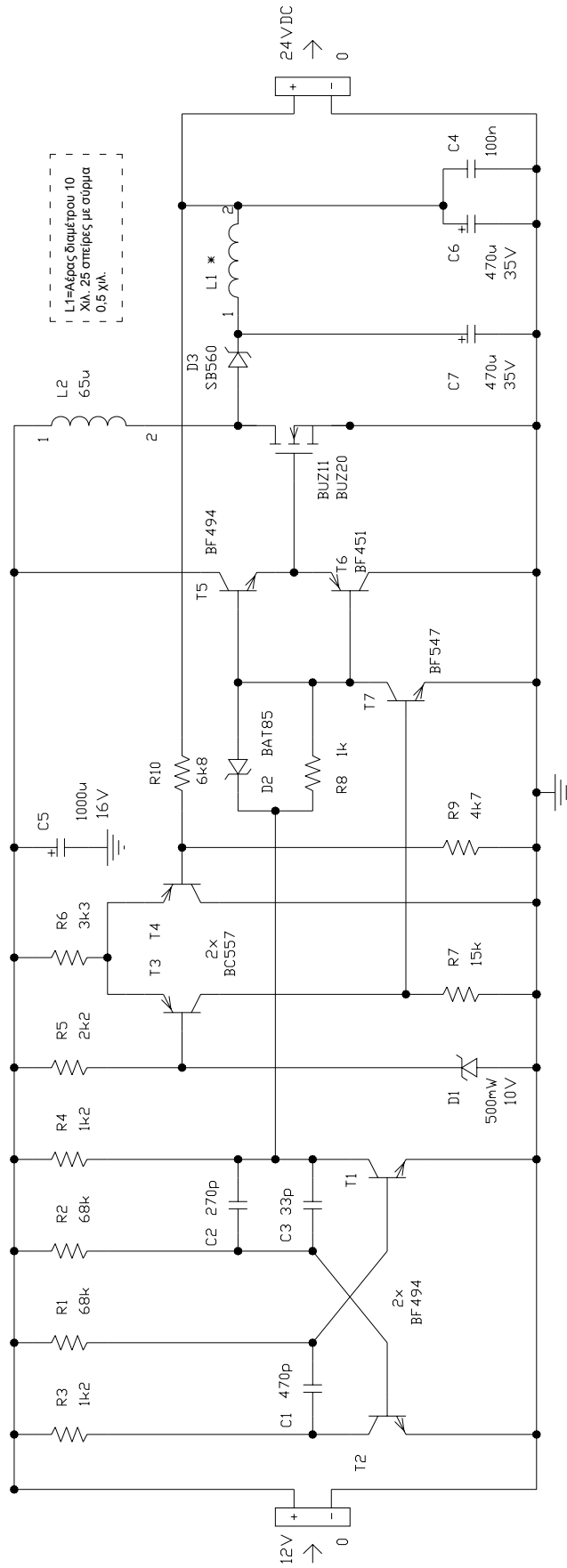


**Παράρτημα Γ6 – Ρυθμιστής τάσης (*Regulator*)**





Παράρτημα Γ7 –Ανυψωτής τάσης (Step up)



# **Παράρτημα Δ1**

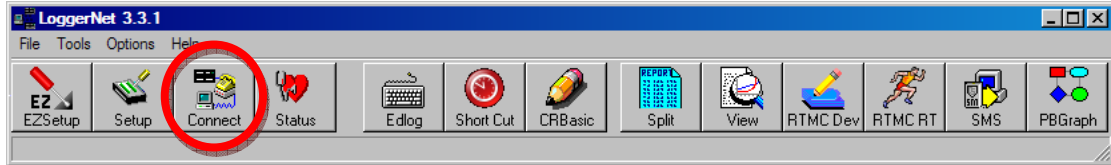
## **Πρόγραμμα *xLogic***

## **Παράρτημα Δ2**

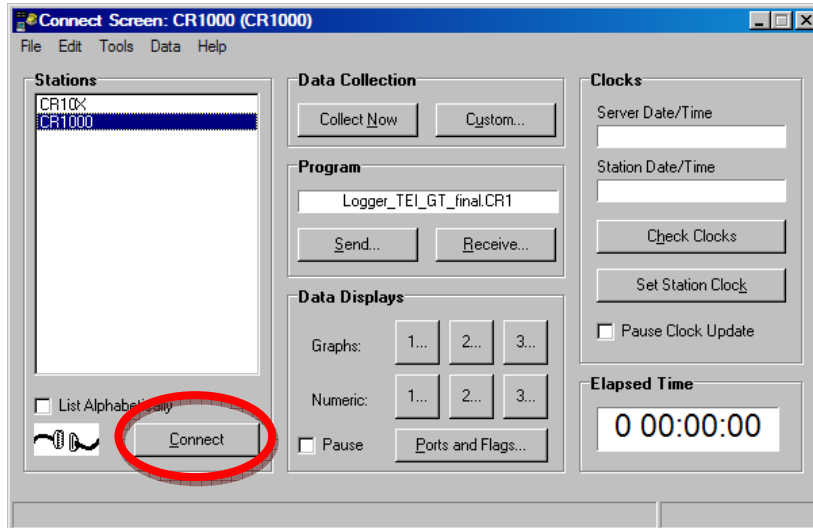
### **Πρόγραμμα *Siemens***

## Παράρτημα Ε - Διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων

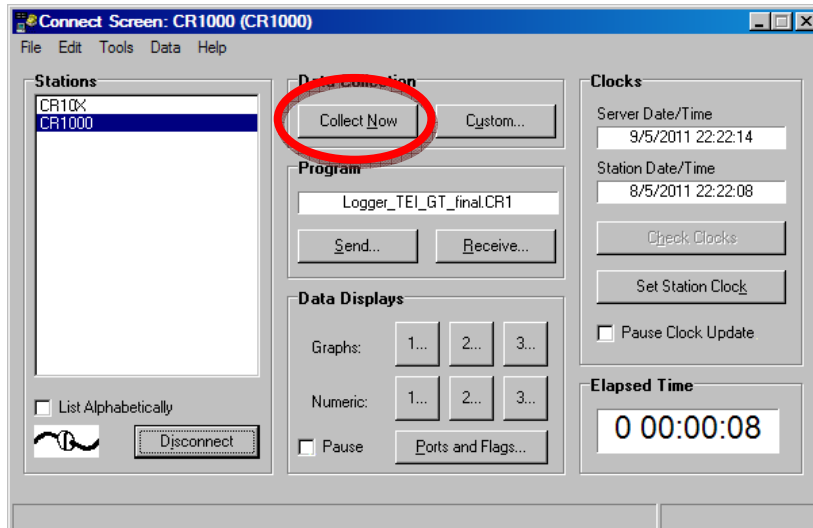
### Βήμα πρώτο



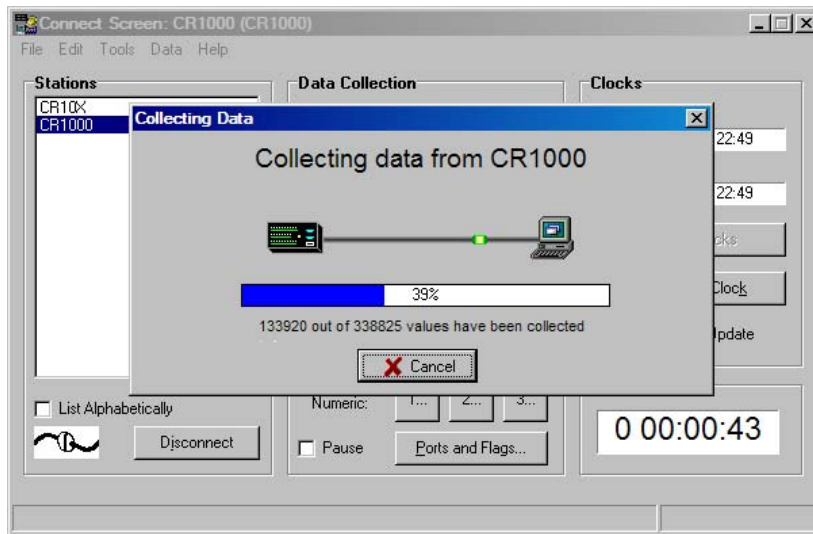
### Βήμα δεύτερο



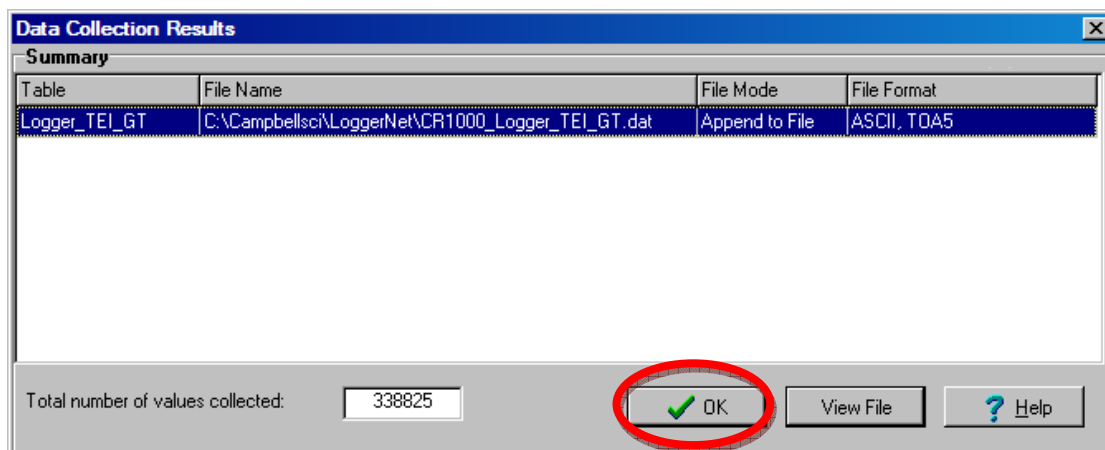
### Βήμα τρίτο



**Βήμα τέταρτο**



**Βήμα πέμπτο**



## Παράρτημα ΣΤ1 - 'Ταξινόμηση Ι – V'

### Μέρος 1 – Parser

```

package parser;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.BufferedWriter;
import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileReader;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Iterator;
import java.util.List;

public class Parser {

    private static ArrayList<Count> position1;
    private static ArrayList<Count> position2;
    private static ArrayList<Count> position3;
    private static ArrayList<Count> position4;
    private static ArrayList<Count> position5;
    private static ArrayList<Count> position6;

    private static String resultsPath = "./results/";

    private static int lineNo;

    private static String errorStr = "";

    private static String errorPosition1;
    private static String errorPosition2;
    private static String errorPosition3;
    private static String errorPosition4;
    private static String errorPosition5;
    private static String errorPosition6;

    public static void main(String[] args) throws IOException{
        if ( args.length==0 )
            parseAll();
        else if ( args.length==1 )
            parseFile(args[0]);
        writeErrorFile();
    }

    private static void writeErrorFile() throws IOException{
        BufferedWriter out = new BufferedWriter( new FileWriter( resultsPath + "_errors.txt" ) );
        out.write(errorStr);
        out.close();
    }

    private static void parseAll() throws IOException{
        File dir = new File(".");
        String filenames[] = dir.list();
        for ( String filename: filenames ){
            File file = new File(filename);
            if ( file.isFile() && filename.length()==13 && filename.startsWith("iv_")
                && isTextFile(filename) ){
                parseFile(filename);
            }
        }
    }

    private static boolean fileExists(String filename){
        File file = new File(filename);
        return file.exists();
    }

    private static boolean isTextFile(String filename){
        String format = filename.substring(filename.length()-4, filename.length());
        format = format.toLowerCase();
        if ( format.equals(".txt") )

```

```

        return true;
    else
        return false;
}

private static void parseFile(String filename) throws IOException{
    if ( !fileExists(filename) ){
        printError("File " + filename + " does not exist.");
        return;
    }
    if ( !isTextFile(filename) ){
        printError("File " + filename + " is not a text file.");
        return;
    }
    lineNo = 0;
    errorPosition1 = "";
    errorPosition2 = "";
    errorPosition3 = "";
    errorPosition4 = "";
    errorPosition5 = "";
    errorPosition6 = "";
    BufferedReader in = null;
    try {
        in = new BufferedReader( new FileReader(filename) );
    } catch (FileNotFoundException e) {
        System.out.println("File " + filename + "not found.");
    }
    boolean error = false;
    ArrayList<Count> glist = new ArrayList<Count>();
    String line = "", nextLine;
    while ( in.ready()){
        line = in.readLine(); lineNo++;
        String time = null;
        try{
            time = line.substring(9);
        }catch(Exception e){
            printError("at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
        }

        in.readLine(); lineNo++;

        line = in.readLine(); lineNo++;
        double pmax = -1;
        try{
            pmax = Double.parseDouble(line.substring(6));
        }catch(Exception e){
            printError("at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
        }

        in.readLine(); lineNo++;
        in.readLine(); lineNo++;

        line = in.readLine(); lineNo++;
        double isc = -1;
        try{
            isc = Double.parseDouble(line.substring(6));
        }catch(Exception e){
            printError("at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
        }

        line = in.readLine(); lineNo++;

        double voc = -1;
        try{
            voc = Double.parseDouble(line.substring(6));
        }catch(Exception e){
            printError("at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
        }

        }

    if ( !error ){

```

```

        Count count = new Count(time, pmax, isc, voc);
        glist.add(count);
    }

    nextLine = in.readLine(); lineNo++;
    while ( !line.equals("") || !nextLine.equals("") ){
        line = nextLine;
        nextLine = in.readLine(); lineNo++;
    }
}
if ( !error ){
    writeToFile(glist, filename);
    System.err.println("File read:\t" + filename);
}
else
    System.err.println("File read:\t" + filename + "error");
}

private static void writeToFile(List<Count> list, String srcFile) throws IOException{
    createPositionLists(list);

    String prefix = getPrefix(srcFile);

    writeList(position1, prefix + "_position01" + errorPosition1 + ".txt");
    writeList(position2, prefix + "_position02" + errorPosition2 + ".txt");
    writeList(position3, prefix + "_position03" + errorPosition3 + ".txt");
    writeList(position4, prefix + "_position04" + errorPosition4 + ".txt");
    writeList(position5, prefix + "_position05" + errorPosition5 + ".txt");
    writeList(position6, prefix + "_position06" + errorPosition6 + ".txt");
}

private static String getPrefix(String filename){
    String prefix = filename.substring(0, filename.length()-4);
    return prefix;
}

private static void resetPositionLists(){
    position1 = new ArrayList<Count>();
    position2 = new ArrayList<Count>();
    position3 = new ArrayList<Count>();
    position4 = new ArrayList<Count>();
    position5 = new ArrayList<Count>();
    position6 = new ArrayList<Count>();
}

private static void createResultsDir(){
    File dir = new File(resultsPath);
    if ( dir.exists() )
        return;
    boolean success = dir.mkdir();
    if ( !success ){
        printError("The directory for the results couldn't be created.");
        System.exit(0);
    }
}

private static void writeList(List<Count> list, String outName) throws IOException{
    createResultsDir();
    BufferedWriter out = new BufferedWriter( new FileWriter(resultsPath + outName) );
    boolean printLast = false;
    Count count = null;
    Iterator<Count> iter = list.iterator();
    while ( iter.hasNext() ){
        Count previous = null;
        for (int i=0; i<5; i++){
            if ( printLast ){
                printLast = false;
                previous = count;
                out.write(count + "\t");
            }
            else{
                if(iter.hasNext()){
                    count = iter.next();
                    long diff = 0;

```



```

previous.getTime().getTime());
    if ( previous!=null )
        diff = count.getTime().getTime() -
        if ( previous!=null && diff>=180000 ){
            errorStr = errorStr + "ERROR at file " +
            printLast = true;
            break;
        }
        out.write(count + "\t");
        previous = count;
    }
}
}
}
}
}
}
}
}
}
}

private static void printError(String msg){
    System.err.println("ERROR: " + msg);
}
}

```

## Μέρος 2 – Count

```

import java.sql.Time;
import java.util.StringTokenizer;

public class Count {

    private Time time;
    private double pmax;
    private double isc;
    private double voc;

    public Count (String time, double pmax, double isc, double voc){
        this.time = parseTime(time);
        this.pmax = pmax;
        this.isc = isc;
        this.voc = voc;
    }

    @SuppressWarnings("deprecation")
    private Time parseTime(String time){
        StringTokenizer tok = new StringTokenizer(time, ":");
        int hour = Integer.parseInt(tok.nextToken());
        int min = Integer.parseInt(tok.nextToken());
        int sec = Integer.parseInt(tok.nextToken());
        return new Time(hour, min, sec);
    }

    @Override
    public String toString() {
        return time + "\t" + pmax + "\t" + isc + "\t" + voc;
    }

    public double getPmax() {
        return pmax;
    }

    public Time getTime() {
        return time;
    }
}

```

## Παράρτημα ΣΤ2 - 'Ταξινόμηση Logger'

### Μέρος 1 – *ParserGlobalFile*

```

package parsersglobalfile;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.BufferedWriter;
import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileReader;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Calendar;
import java.util.HashMap;
import java.util.Iterator;
import java.util.List;
import java.util.Map;
import java.util.StringTokenizer;

public class ParserGlobalFile {

    private static ArrayList<Count> position1;
    private static ArrayList<Count> position2;
    private static ArrayList<Count> position3;
    private static ArrayList<Count> position4;
    private static ArrayList<Count> position5;
    private static ArrayList<Count> position6;

    private static String resultsPath = "./results/";

    private static int lineNo;

    private static String errorStr = "";

    private static String errorPosition1;
    private static String errorPosition2;
    private static String errorPosition3;
    private static String errorPosition4;
    private static String errorPosition5;
    private static String errorPosition6;

    public static void main(String[] args) throws IOException{
        if ( args.length==1 ){
            parseFile(args[0]);
            writeErrorFile();
        }
    }

    private static void writeErrorFile(){
        String path = resultsPath + "_errors.txt";
        try{
            BufferedWriter out = new BufferedWriter( new FileWriter( path ) );
            out.write(errorStr);
            out.close();
        }catch(Exception e){
            printError("Couldn't write file: " + path);
        }
    }
    /*
    private static void parseAll() throws IOException{
        File dir = new File(".");
        String filenames[] = dir.list();
        for ( String filename: filenames ){
            File file = new File(filename);
            if ( file.isFile() && filename.length()==13 && filename.startsWith("iv_")

                && isTextFile(filename) ){
                    parseFile(filename);
            }
        }
    }
    */

```

```

private static boolean fileExists(String filename){
    File file = new File(filename);
    return file.exists();
}
/*
private static boolean isTextFile(String filename){
    String format = filename.substring(filename.length()-4, filename.length());
    format = format.toLowerCase();
    if (format.equals(".txt") )
        return true;
    else
        return false;
}
*/
private static void parseFile(String filename) throws IOException{
    if ( !fileExists(filename) ){
        printError("File " + filename + " does not exist.");
        return;
    }
    lineNo = 0;
    errorPosition1 = "";
    errorPosition2 = "";
    errorPosition3 = "";
    errorPosition4 = "";
    errorPosition5 = "";
    errorPosition6 = "";
    BufferedReader in = null;
    try {
        in = new BufferedReader( new FileReader(filename) );
    } catch (FileNotFoundException e) {
        System.err.println("File " + filename + "not found.");
    }
    boolean error = false;
    ArrayList<Count> glist = new ArrayList<Count>();
    String line = "";
    while ( in.ready()){
        line = in.readLine(); lineNo++;
        if ( lineNo==1 || lineNo==2 || lineNo==3 || lineNo==4 )
            continue;
        String date = null;
        String time = null;
        try{
            date = line.substring(1, 11);
            time = line.substring(12, 20);
        }catch(Exception e){
            printError("date, time: at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
            continue;
        }
        StringTokenizer tok = new StringTokenizer(line, ",");
        if ( tok.countTokens()!=7 ){
            printError("countTokens: at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
            continue;
        }
        Double value1 = null;
        Double value2 = null;
        Double value3 = null;
        Double value4 = null;
        try{
            tok.nextToken();
            tok.nextToken();
            tok.nextToken();

            String token = tok.nextToken();
            if ( token.equals("\NAN\N") ) value1 = null;
            else value1 = Double.parseDouble(token);

            token = tok.nextToken();
            if ( token.equals("\NAN\N") ) value2 = null;
            else value2 = Double.parseDouble(token);

            token = tok.nextToken();
            if ( token.equals("\NAN\N") ) value3 = null;
            else value3 = Double.parseDouble(token);

```

```

        token = tok.nextToken();
        if ( token.equals("\NaN") ) value4 = null;
        else value4 = Double.parseDouble(token);

    }catch(Exception e){
        printError("parseDouble: at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
        error = true;
        continue;
    }

    if ( !error ){
        Count count = null;
        try{
            count= new Count(date, time, value1, value2, value3, value4);
            glist.add(count);
        }catch (Exception e){
            printError("date, time: at file" + filename + " at line " + lineNo + ".");
            error = true;
            continue;
        }
    }
}
System.err.println("Lines read: " + lineNo + "\tLegal entries: " + glist.size());
System.err.println();
Map<String, ArrayList<Count>> files = separateFiles(glist);

int counter = 0;
for (String key: files.keySet()){
    ArrayList<Count> list = files.get(key);
    System.err.println("Writing file: " + key + "\t" + list.size() + " entries");
    writeToFile(list, key);
    counter += list.size();
}
System.err.println();
System.err.println("Total Entries: " + counter);

/*
if ( !error ){
    //writeToFile(glist, filename);
    System.err.println("File read:\t" + filename);
}
else
    System.err.println("File read:\t" + filename + "error");
*/
}

private static Map<String, ArrayList<Count>> separateFiles(ArrayList<Count> glist){
    Map<String, ArrayList<Count>> map = new HashMap<String, ArrayList<Count>>();
    for (Count count: glist){
        String filename = createFilename(count.getDate());
        if ( map.containsKey(filename) ){
            map.get(filename).add(count);
        }
        else{
            ArrayList<Count> list = new ArrayList<Count>();
            list.add(count);
            map.put(filename, list);
        }
    }
    return map;
}

private static String createFilename(Calendar date){
    String filename = "iv_";
    int day = date.get(Calendar.DAY_OF_MONTH);
    int month = date.get(Calendar.MONTH);
    int year = date.get(Calendar.YEAR);
    filename += String.format("%02d%02d%02d", day, month+1, year%100);
    filename += ".txt";
    return filename;
}

private static void writeToFile(List<Count> list, String srcFile) throws IOException{
    createPositionLists(list);
}

```

```

String prefix = getPrefix(srcFile);

writeList(position1, prefix + "_position01" + errorPosition1 + ".txt");
writeList(position2, prefix + "_position02" + errorPosition2 + ".txt");
writeList(position3, prefix + "_position03" + errorPosition3 + ".txt");
writeList(position4, prefix + "_position04" + errorPosition4 + ".txt");
writeList(position5, prefix + "_position05" + errorPosition5 + ".txt");
writeList(position6, prefix + "_position06" + errorPosition6 + ".txt");
}

private static String getPrefix(String filename){
    String prefix = filename.substring(0, filename.length()-4);
    return prefix;
}

private static void resetPositionLists(){
    position1 = new ArrayList<Count>();
    position2 = new ArrayList<Count>();
    position3 = new ArrayList<Count>();
    position4 = new ArrayList<Count>();
    position5 = new ArrayList<Count>();
    position6 = new ArrayList<Count>();
}

private static void createResultsDir(){
    File dir = new File(resultsPath);
    if ( dir.exists() )
        return;
    boolean success = dir.mkdir();
    if ( !success ){
        printError("The directory for the results couldn't be created.");
        System.exit(0);
    }
}

private static void writeList(List<Count> list, String outName) throws IOException{
    createResultsDir();
    BufferedWriter out = new BufferedWriter( new FileWriter(resultsPath + outName) );
    boolean printLast = false;
    Count count = null;
    Iterator<Count> iter = list.iterator();
    while ( iter.hasNext() ){
        Count previous = null;
        for (int i=0; i<5; i++){
            if ( printLast ){
                printLast = false;
                previous = count;
                out.write(count + "\t");
            }
            else{
                if(iter.hasNext()){
                    count = iter.next();
                    long diff = 0;
                    if ( previous!=null )
                        diff = count.getTime().getTime() -
previous.getTime().getTime();
                    if ( previous!=null && diff>=180000 ){
                        errorStr = errorStr + "ERROR at file " +
outName + "\t" + previous.getTimeString() + " - " + count.getTimeString() + "\n";
                        printLast = true;
                        break;
                    }
                    out.write(count + "\t");
                    previous = count;
                }
            }
        }
        out.write("\n");
    }
    out.close();
}

private static void printError(String msg){
    System.err.println("ERROR: " + msg);
}

```

```

    }
}

```

## Μέρος 2 – Count

```

package parserglobalfile;

import java.util.Calendar;
import java.util.Date;
import java.util.StringTokenizer;

public class Count {

    private Calendar date;
    private Double value1;
    private Double value2;
    private Double value3;
    private Double value4;

    public Count (String date, String time, Double value1, Double value2, Double value3, Double value4){
        this.date = parseDate(date, time);
        this.value1 = value1;
        this.value2 = value2;
        this.value3 = value3;
        this.value4 = value4;
    }

    private Calendar parseDate(String date, String time){
        StringTokenizer tok = new StringTokenizer(date, "-");
        int year = Integer.parseInt(tok.nextToken().trim());
        int month = Integer.parseInt(tok.nextToken().trim());
        int day = Integer.parseInt(tok.nextToken().trim());

        tok = new StringTokenizer(time, ":");
        int hour = Integer.parseInt(tok.nextToken().trim());
        int min = Integer.parseInt(tok.nextToken().trim());
        int sec = Integer.parseInt(tok.nextToken().trim());

        Calendar dateVar = Calendar.getInstance();
        dateVar.set(year, month-1, day, hour, min, sec);

        return dateVar;
    }

    @Override
    public String toString() {
        String str = getTimeString() + "\n";
        str += value1 + "\n";
        str += value2 + "\n";
        str += value3 + "\n";
        str += value4;
        return str;
    }

    public String getTimeString(){
        int hour = date.get(Calendar.HOUR_OF_DAY);
        int min = date.get(Calendar.MINUTE);
        int sec = date.get(Calendar.SECOND);
        String str = String.format("%02d:%02d:%02d", hour, min, sec);
        return str;
    }

    public boolean hasSameDate(Calendar arg){
        int year1 = this.date.get(Calendar.YEAR);
        int month1 = this.date.get(Calendar.MONTH);
        int day1 = this.date.get(Calendar.DAY_OF_MONTH);

        int year2 = arg.get(Calendar.YEAR);
        int month2 = arg.get(Calendar.MONTH);
        int day2 = arg.get(Calendar.DAY_OF_MONTH);

        if (year1==year2 && month1==month2 && day1==day2 )
            return true;
    }
}

```

```
        else
            return false;
    }

    public Date getTime() {
        return date.getTime();
    }

    public Calendar getDate() {
        return date;
    }
}
```

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <http://www.solarenergy4u.gr/displayITM1.asp?ITMID=104&LANG=GR>
2. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2011 Ι. Ε. Φραγκιαδάκης Φωτοβολταϊκά Συστήματα 3<sup>η</sup> Έκδοση
3. [http://gneng.blogspot.com/p/blog-page\\_19.html](http://gneng.blogspot.com/p/blog-page_19.html)
4. <http://www.scribd.com/doc/53105107/5/>

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

**Όνοματεπώνυμο :**

Αθανάσιος Κουτσάκης

**Τηλέφωνο:**

6977990038

***e-mail :***

[koutsakis\\_thanos@hotmail.com](mailto:koutsakis_thanos@hotmail.com)

**Όνοματεπώνυμο :**

Γεώργιος Ζακάκης

**Τηλέφωνο:**

6979513083

***e-mail :***

[georgezakakis@hotmail.com](mailto:georgezakakis@hotmail.com)