

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1268

**Καταγραφή και ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς
σε φωτοβολταϊκά στοιχεία με την επεξεργασία
θερμικών εικόνων από θερμική κάμερα**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΙΟΠΕΤΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ:

ΔΡ. ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΥΦΑΝΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Πρόλογος:

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους εισηγητές της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Απόστολο Υφαντή και Δρ. Χρήστο Θεοχαράτο καθώς και τον Δρ. Ηλία Σταθάτο για την αμέριστη βοήθεια τους στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας. Η βοήθεια τους και η πάντα καλή διάθεση ήταν κάτι περισσότερο από καταλυτική. Επίσης η παρούσα πτυχιακή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την παραχώρηση της θερμικής κάμερας από το εργαστήριο Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου και Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων.

Συμπληρωματικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Κωνσταντίνο Τσουνή και κ. Κωνσταντίνο Κωστόπουλο για την βοήθεια τους στην επιμέλεια της εργασίας και στην μετάφραση ξενόγλωσσων πηγών.

Στις παρακάτω σελίδες θα δούμε μερικά πράγματα για την ηλιακή ενέργεια και την θερμική κάμερα και πως λειτουργεί. Στο βασικό μέρος όμως θα ασχοληθούμε με την θερμική συμπεριφορά φωτοβολταϊκού στοιχείου κάτω από πραγματικές καιρικές συνθήκες με την βοήθεια μίας θερμικής κάμερας. Από τις εικόνες θα εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τυχόν θερμότερες περιοχές, ελαττώματα κατασκευής, εξάπλωση θερμότητας και καταμερισμό αυτής. Θα γίνει σύγκριση των θερμικών εικόνων με αντίστοιχες μετρήσεις για κατανόηση της ροής ρεύματος και της ύπαρξης τάσης στο στοιχείο και ακολούθως να θα βγουν συμπεράσματα σχετικά με την εικόνα που πήραμε μέσα από τα διαδοχικά σετ μετρήσεων και εικόνων.

Περίληψη:

Στην σύγχρονη εποχή οι ανάγκες για ολοένα και περισσότερη ενέργεια μεγαλώνουν συνεχώς. Ως εκ τούτου η αναζήτηση πηγών ενέργειας συνεχίζεται με ταχείς ρυθμούς. Ωστόσο τα τελευταία πενήντα χρόνια η συνεχόμενη κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο επιβάρυνε πολύ την ατμόσφαιρα της γης με αποτέλεσμα να πέφτει βάρος στην αξιοποίηση πηγών ενέργειας που δεν έχουν τόσο βλαβερές για την ατμόσφαιρα μας επιπτώσεις. Αυτές είναι οι λεγόμενες ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τελευταία επικρατούν πολύ και ως πράσινες. Μερικές από αυτές είναι η αιολική, γεωθερμική, θαλάσσια, ηλιακή και άλλες. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η αξιοποίηση αυτών των πηγών ενέργειας έχει γίνει εφικτή και πλέον γίνεται συνεχώς βελτιστοποίηση των μέσων συλλογής της ενέργειας με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες.

Μία άφθονη σε ενέργεια πηγή, ειδικότερα για τη χώρα μας, είναι ο ήλιος. Στην Ελλάδα τα ποσοστά ηλιοφάνειας, η μέση θερμοκρασία και οι γενικότερες κλιματολογικές συνθήκες ευνοούν την τοποθέτηση και λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων και γι' αυτόν το λόγο ο συγκεκριμένος τομέας έχει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας. Ωστόσο αν και η ενέργεια που στέλνει ο ήλιος είναι τεράστια, δεδομένου ότι μπορεί κανείς να αναλογιστεί ότι αν μπορούσε να αξιοποιηθεί χωρίς καμία απώλεια τότε σε μία ώρα θα είχαμε καλύψει όλες τις ενεργειακές μας ανάγκες για ένα χρόνο, η τεχνολογία συλλογής και εκμετάλλευσης δεν επιτρέπει ακόμα μεγάλα ποσοστά απόδοσης. Γι' αυτόν το λόγο γίνονται συνεχώς έρευνες με σκοπό την βελτίωση των στοιχείων και όλων των τμημάτων του εξοπλισμού ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας. Το βασικότερο μέρος αυτών των ερευνών επικεντρώνεται στην θερμική συμπεριφορά των στοιχείων, στον τρόπο που αυτά επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες (ενδογενείς ή εξωγενείς) και στις επιπτώσεις που συνοδεύουν την απόδοσή τους.

Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται αναφορά στις διάφορες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στοιχείων που χρησιμοποιούνται σήμερα, και την κατασκευή τους. Επίσης περιγράφεται τι είναι και πως λειτουργεί μία θερμική κάμερα καθώς επίσης γίνεται αναφορά στις χρήσεις αυτής σε Φ/Β συστήματα και εγκαταστάσεις. Κυρίως όμως, η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην έρευνα με τη βοήθεια μίας φορητής θερμικής κάμερας της συμπεριφοράς δύο Φ/Β στοιχείων σε μη ελεγχόμενες συνθήκες για την κατανόηση και την εύρεση πιθανών παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Παράλληλα γίνονται μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών όπως η τάση ανοιχτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο ένα στοιχείο που είχε κατάλληλους ακροδέκτες. Σε αυτό το στοιχείο επικεντρωθήκαμε περισσότερο. Οι περισσότερες έρευνες γίνονται κάτω από ελεγχόμενες και συγκεκριμένες συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο η πειραματική διαδικασία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για να δούμε και μελετήσουμε την πραγματική απόδοση ενός στοιχείου σε πραγματικές συνθήκες και πραγματικό χρόνο.

Τέλος μέσα από τις πληροφορίες που μπορούμε να πάρουμε από τις εικόνες και την επεξεργασία τους καθώς και από τις μετρήσεις μας, προέκυψαν συμπεράσματα, ενώ έγινε εκτίμηση και αποτίμηση της συμπεριφοράς και απόδοσης των στοιχείων ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Τέλος έγινε προσπάθεια σύνδεσης των αποτελεσμάτων μας με διάφορες άλλες ερευνητικές προσπάθειες και μελέτες σε πιθανά κοινά αποτελέσματα και συμπεράσματα, παρά τις διαφορετικές μεθόδους δοκιμών.

Περιεχόμενα:

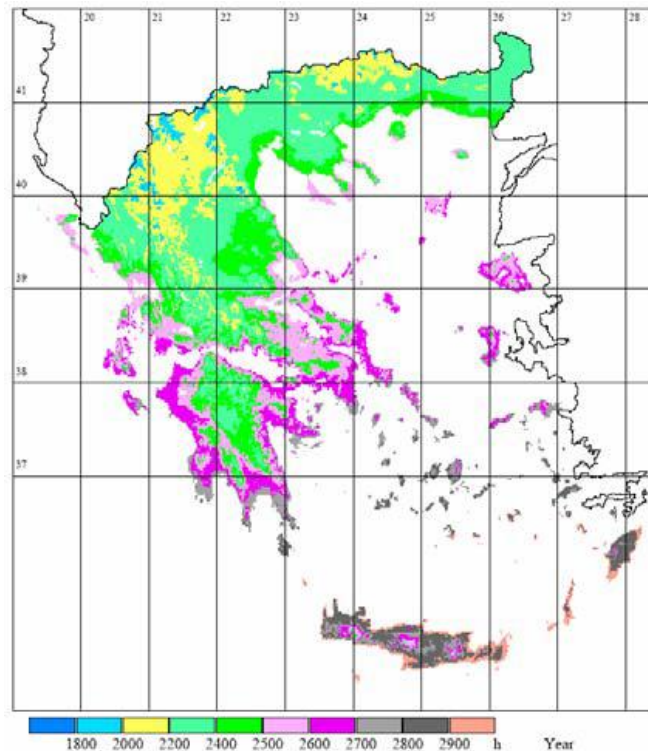
1. Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά	3
1.1. : Τεχνολογίες κατασκευής Φ/Β συστημάτων	6
1.2. : Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων	7
1.3. : Κατασκευές-χρήσεις Φ/Β συστημάτων	8
2. Κεφάλαιο 2 ^ο : Εισαγωγή στη θερμική κάμερα	12
2.1. : Υπέρυθρη ακτινοβολία – Infrared radiation	12
2.2. : Λειτουργία της θερμικής κάμερας	13
2.3. : Τύποι θερμικών καμερών	13
2.4. : Χρήσεις	14
3. Κεφάλαιο 3 ^ο : Χρήσεις θερμικής κάμερας σε Φ/Β συστήματα και εγκαταστάσεις.....	16
4. Κεφάλαιο 4 ^ο : Ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς Φ/Β στοιχείου με θερμική κάμερα....	17
4.1. Ανάλυση εργασιών	18
4.2. Μετρήσεις – πειράματα	21
4.2.1. Σειτ μετρήσεων #1 – Σάββατο 03/12/2011	21
4.2.2. Σειτ μετρήσεων #2 – Κυριακή 04/12/2011	27
4.2.3. Σειτ μετρήσεων #3 – Σάββατο 10/12/2011	31
4.2.4. Σειτ μετρήσεων #4 – Τετάρτη 21/03/2012	36
4.2.5. Σειτ μετρήσεων #5 – Τρίτη 05/06/2012	43
4.3. Εξαγωγή και επεξεργασία δεδομένων – Γραφήματα	48
4.4. Αποτελέσματα επεξεργασίας	67

4.5. Διαπιστώσεις κατά τη διαδικασία – Σφάλματα	81
5. Κεφάλαιο 5: Μελλοντικές περιπτώσεις στην ανάλυση των φωτοβολταϊκών στοιχείων	87
6. Επίλογος	90
Βιβλιογραφία	
Παραρτήματα	

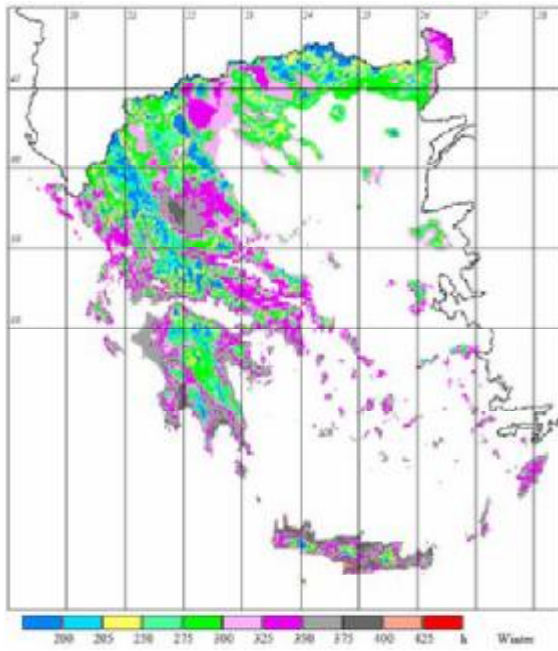
Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά.

Εάν σκεφτούμε ποια είναι η πιο άφθονη ενέργεια που μας παρέχεται από τη φύση στη χώρα μας θα δούμε ότι αυτή είναι η ηλιακή. Για αυτό το λόγο η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ευρέως διαδεδομένη από τοποθέτηση μικρών μονάδων σε σπίτια μέχρι τεράστια φωτοβολταϊκά πάρκα.

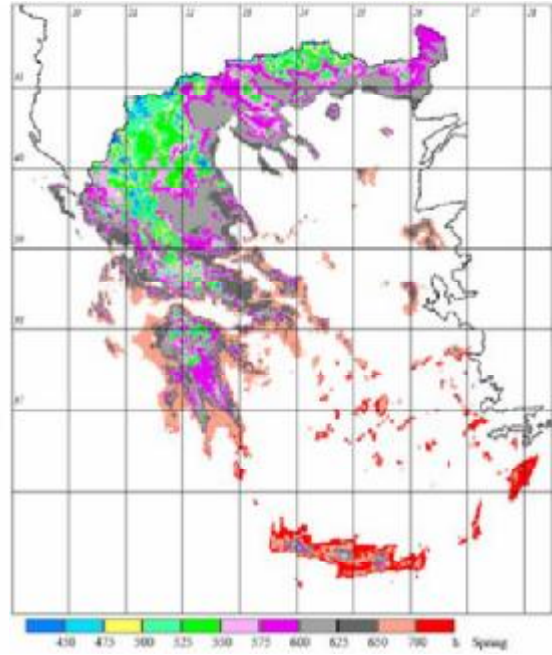
Παρουσιάζονται ενδεικτικά χάρτες με την διάρκεια ηλιοφάνειας στη χώρα μας αλλά και ένα γενικό χάρτη της Ευρώπης με την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία.



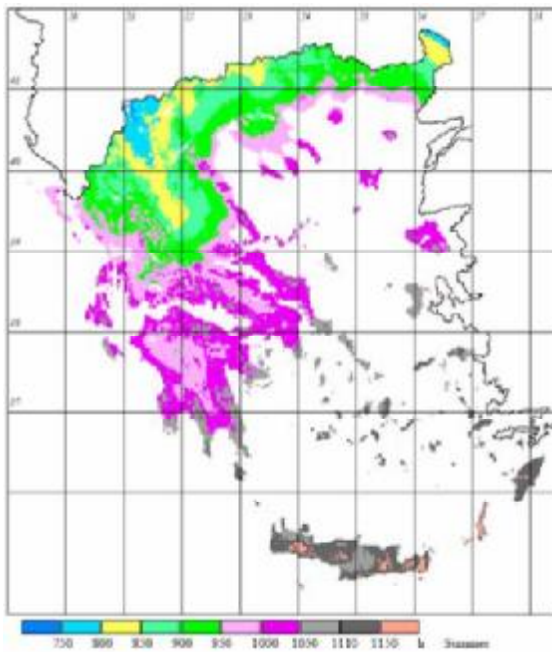
Ετήσια γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες).



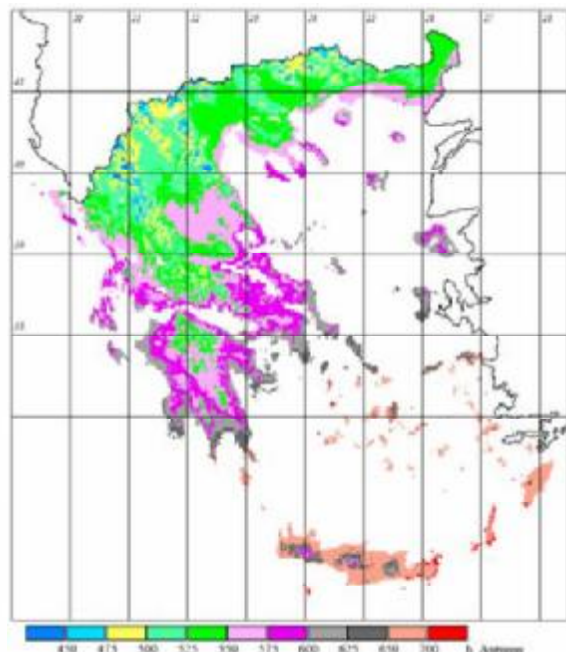
Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας το χειμώνα (σε ώρες).



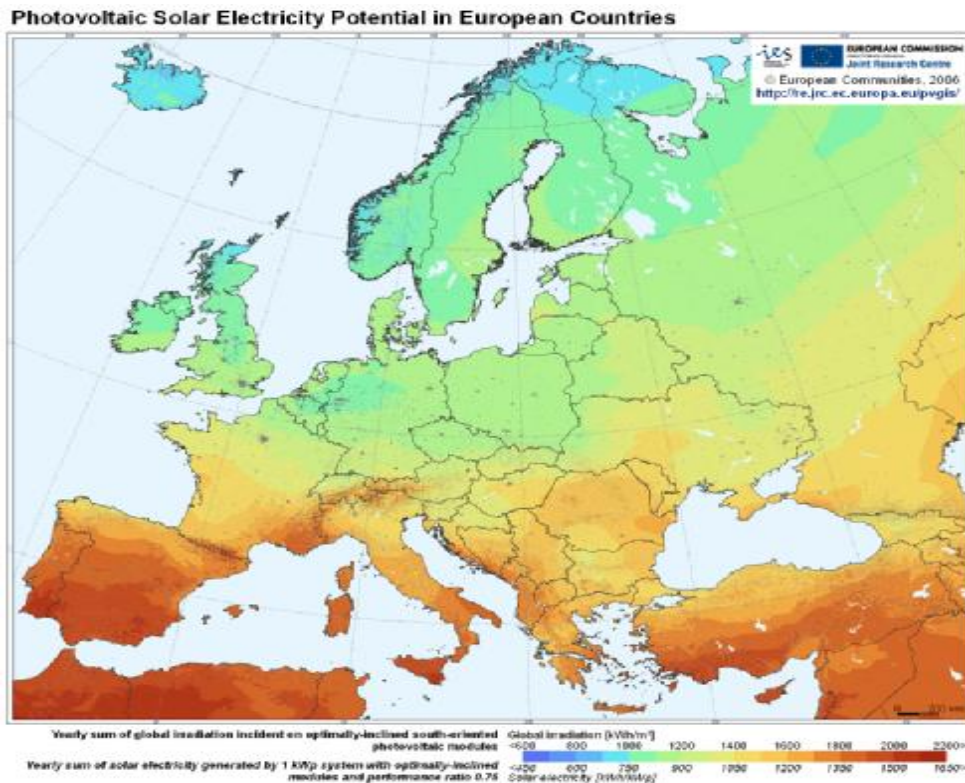
Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας την άνοιξη (σε ώρες).



Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας το καλοκαίρι (σε ώρες).



Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας το φθινόπωρο (σε ώρες).



Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στην Ευρώπη

Όπως διακρίνεται με ευκολία από τις εικόνες η τοποθεσία παίζει ρόλο. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος διαφέρει και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής δηλαδή η διαθέσιμη ηλιοφάνεια, οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής καθώς και η εποχή. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει ο προσανατολισμός των στοιχείων και η γωνία ηλιακής ακτινοβολίας στο κάθε στοιχείο. Φυσικά είναι αυτονόητο ότι δεν θα πρέπει να υπάρχουν εξωγενής παράγοντες, όπως δέντρα, τοίχοι κλπ, που να σκιάζουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ εάν είναι δυνατόν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Για αυτό το λόγο παρατηρείται η εγκατάσταση τους είτε σε σκεπές, ταράτσες σπιτιών είτε σε ανοιχτούς χώρους.

Η βασική δομή ενός Φ/Β στοιχείου πυριτίου αποτελείται από ένα αντιανακλάστικό στρώμα, το ηλεκτρόδιο της μπροστινής πλευράς, τα δύο στρώματα του ημιαγωγού πυριτίου n και p καθώς και από το ηλεκτρόδιο της πίσω πλευράς. Τα στοιχεία αυτά είναι μικρά σε διαστάσεις και παράγουν μικρή ισχύ. Τα πλαίσια Φ/Β που βλέπουμε στην αγορά αποτελούνται από πολλά τέτοια στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά έχοντας κοινή ηλεκτρική έξοδο.

Η αρχή λειτουργίας ενός στοιχείου στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο που είναι η άμεση-απευθείας μετατροπή της απορροφούμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φως με τη μορφή ενέργειας (φωτόνια), με τη σειρά του θα επιδράσει στο ημιαγωγό στοιχείο, προκαλώντας έτσι την απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Η κίνηση των ηλεκτρονίων κατά συνέπεια παράγει ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο φυσικά θα μεταφερθεί μέσω του ηλεκτρικού κυκλώματος που υπάρχει.

1.1 : Τεχνολογίες κατασκευής Φ/Β συστημάτων.

Όσο η τεχνολογία αναπτύσσεται δεν θα μπορούσε να μην προσπαθεί να αναπτύξει και να βελτιώσει τα Φ/Β στοιχεία και πάνελ. Έτσι έχουμε Φ/Β 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς.

Τα 1^{ης} γενιάς είναι στοιχεία πυριτίου(Si). Υπάρχουν όμως και εδώ διάφοροι τα τύποι όπως:

- Κατασκευή με μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (m-Si)
- Κατασκευή με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (p-Si)
- Κατασκευή άμορφου πυριτίου (a-Si)

Στα στοιχεία 2^{ης} γενιάς επικρατεί η κατασκευή λεπτών επιστρώσεων από διάφορα υλικά όπως:

- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)
- Κράματα Πυριτίου (a-SiGe, a-SiC)
- Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CIS)
- Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)
- Ετεροένωση (CuS / CdS)

Και σήμερα γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία 3^{ης} γενιάς που είναι τα οργανικά, τα πολυμερή, και τα υβριδικά. Αυτά είναι:

- Οργανική ουσία και TiO₂
- Οργανικές χρωστικές ουσίες
- Στοιχεία από πολυμερικά υλικά
- Υβριδικά (CdSe)

1.2 : Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Όπως συμβαίνει σε όλες τις κατασκευές, υπάρχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για την κατασκευή ενός Φ/Β συστήματος.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η αθόρυβη λειτουργία τους επιτρέπει την εγκατάσταση τους ακόμα και εντός κατοικημένης περιοχής.
- Διαθέτουν μεγάλη διάρκεια ζωής και έχουν σε γενικές γραμμές υψηλή αξιοπιστία.
- Δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης.
- Δυνατότητα υβριδικής διασύνδεσης με άλλα συστήματα (π.χ. ανεμογεννήτριες-αιολικό πάρκο).
- Η απόδοση τους συνεχώς βελτιώνεται με νέες τεχνολογίες κατασκευής.

Φυσικά όμως υπάρχουν και μειονεκτήματα με το βασικότερο να είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και παραγόμενης KWh. Ωστόσο το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί φθίνουσα πορεία. Επίσης ως ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι χρειάζονται καθαρίσματα τουλάχιστον μία φορά το χρόνο ανάλογα και με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στον τόπο τοποθέτησης του συστήματος.

Στη χώρα μας βέβαια υπάρχει και ένα ακόμη μειονέκτημα. Αυτό είναι ότι σε πολλές περιοχές το δίκτυο ηλεκτροδότησης έχει βγει κορεσμένο με αποτέλεσμα να μην προχωράνε κατασκευές αλλά να τίθενται και υπό στάση λειτουργίας πολλές άλλες. Έτσι υπάρχει περίπτωση να καθυστερήσει η πτωτική πορεία του κόστους παραγωγής.

1.3 : Κατασκευές – χρήσεις Φ/Β συστημάτων

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1 τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά και αποτελούν ένα πλαίσιο-πάνελ Φ/Β για τοποθέτηση σε μία κατασκευή ενός συστήματος.



Η τοποθέτηση ενός Φ/Β συστήματός γίνεται οπουδήποτε. Από στέγες σπιτιών, παράθυρα οροφής, φεγγίτες, ταράτσες, σε σκίαστρα ή περσίδες, σε οικόπεδα αναρτημένα σε βάσεις. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.2 λόγω της τελείως αθόρυβης λειτουργίας τους καθώς και των μηδενικών ρύπων, η εγκατάστασή τους γίνεται ακόμα και σε οικίες.

Υπάρχουν τρεις τρόποι κατασκευής αυτών των συστημάτων που παρατηρούνται. Η πρώτη και πιο διαδεδομένη είναι η διασύνδεση του συστήματος με ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας όπως στην Ελλάδα το δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης όμως παρουσιάζονται μερικές φορές και άλλοι τύποι κατασκευών όπως αυτόνομη τοποθέτηση, μη συνδεδεμένη σε δίκτυο, στη οποία όμως απαιτείται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες, συσσωρευτές.

Ένας τελευταίος τύπος εγκατάστασης που παρατηρείται μόνο σε μεγάλα ενεργειακά πάρκα είναι ο υβριδικός όπου συνδυάζεται η παραγωγή ενέργειας από διάφορες πηγές. Για παράδειγμα ο συνδυασμός Φ/Β συστήματος με γεννήτρια πετρελαίου ή ανεμογεννήτριες σε ένα αιολικό πάρκο.

Είναι κατανοητό λοιπόν ότι γίνεται χρήση των φωτοβολταϊκών σε όλους του τομείς για αυτό και παρατηρείται η χρήση τους σε σπίτια, επιχειρήσεις, εργοστάσια, ενεργειακά πάρκα, οικόπεδα ακόμα και στο διάστημα, όπου πολλοί δορυφόροι χρησιμοποιούν τα πάνελ για να είναι αυτόνομοι σε ενέργεια. Ενδεικτικά μερικές εικόνες από διάφορες κατασκευές ανά τον κόσμο.







Κεφάλαιο 2^ο : Εισαγωγή στη θερμική κάμερα

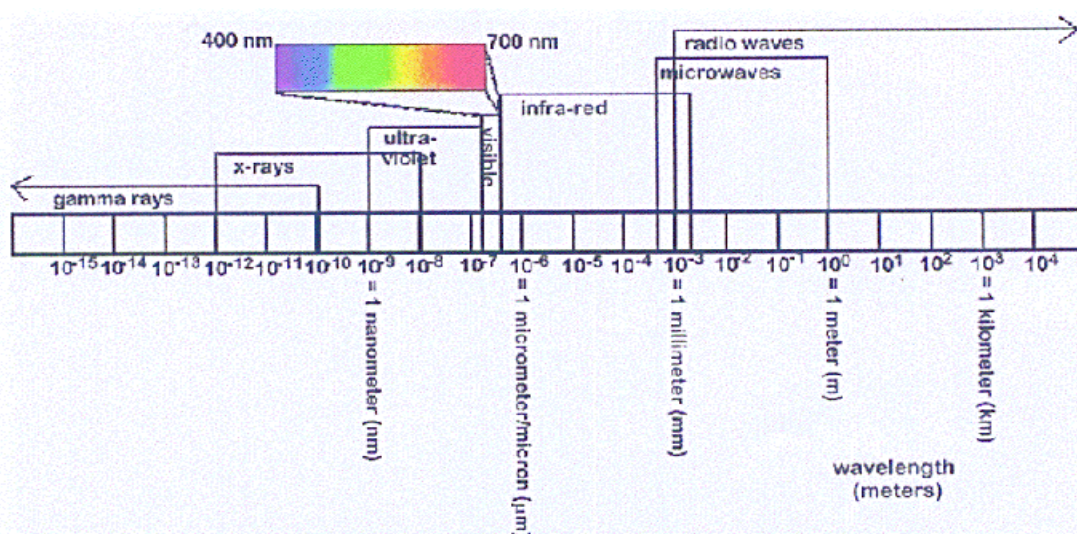
Το 1929 εμφανίστηκε για πρώτη φορά η θερμική κάμερα με χρήση σε αντιαεροπορικά όπλα από τον Kalman Tihanyi. Η πρώτη όμως συμβατική θερμική κάμερα ή αλλιώς κάμερα υπέρυθρων χρονολογείται κοντά στα τέλη της δεκαετίας του 1950. Σαφώς σήμερα η εξέλιξη των τεχνολογιών γύρω από αυτόν τον τομέα έχει ανάγει την θερμική κάμερα σε ένα από τα κορυφαία διαγνωστικά εργαλεία πάνω σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Η θερμική κάμερα ή αλλιώς κάμερα υπέρυθρων δημιουργεί εικόνες καταγράφοντας την ακτινοβολία στο φάσμα των υπέρυθρων(infrared) με παρόμοιο τρόπο με μία απλή κάμερα που καταγράφει εικόνες στο φάσμα της ορατής ακτινοβολίας του φωτός. Στη συνέχεια της μετατρέπει σε εικόνες ορατές από το μάτι του ανθρώπου.

2.1 : Υπέρυθρη ακτινοβολία – Infrared radiation

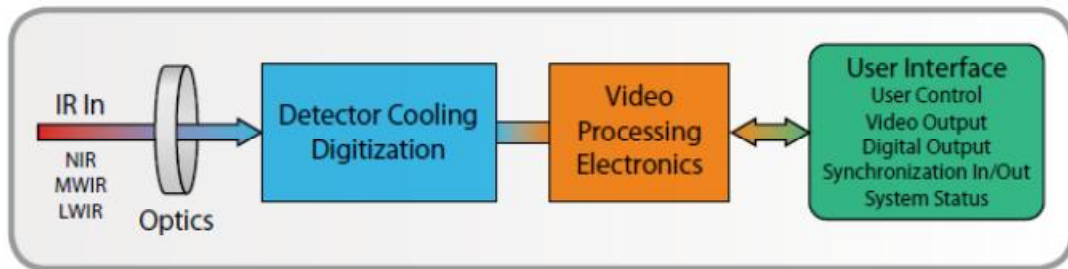
Ο άνθρωπος μπορεί να αναγνωρίσει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που βρίσκεται στο φάσμα του ορατού φωτός. Ωστόσο υπάρχουν και άλλες περιοχές και τύποι ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι η υπέρυθη, που το μάτι του ανθρώπου δεν μπορεί να την δει.

Η υπέρυθη ακτινοβολία βρίσκεται ανάμεσα στο ορατό φάσμα και στα μικροκύματα. Η κύρια πηγή της ακτινοβολίας είναι η θερμότητα ή η θερμική ακτινοβολία. Κάθε σώμα που είναι πάνω από το απόλυτο μηδέν(0K ή -273 °C) εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία. Είναι εύκολα κατανοητό λοιπόν ότι καθημερινά περιβαλλόμαστε από υπέρυθη ακτινοβολία και την νιώθουμε. Για παράδειγμα η ζέστη που νιώθουμε από τις ακτίνες του ηλίου. Ωστόσο είναι απόλυτα κατανοητό ότι και εμείς ως σώμα εκπέμπουμε τη δική μας ακτινοβολία στο φάσμα των υπέρυθρων.



2.2 : Λειτουργία της θερμικής κάμερας

Η θερμική κάμερα αποτελείται από τον φακό, τον ανιχνευτή υπέρυθρων, ένα ηλεκτρονικό μετατροπέα για επεξεργασία εικόνας καθώς και μία οθόνη προβολής των εικόνων. Ο φακός λαμβάνει την υπέρυθρη ακτινοβολία από ένα αντικείμενο και την μεταφέρει στον ανιχνευτή υπέρυθρων. Αυτός με τη σειρά του με την βοήθεια του ηλεκτρονικού μετατροπέα, μετατρέπει σε ορατή εικόνα αυτή την ακτινοβολία και στη συνέχεια προβάλλεται στην οθόνη της κάμερας.



Πέρα από την μετατροπή αυτή σε εικόνα που βλέπει το ανθρώπινο μάτι γίνονται και άλλες επεξεργασίες έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάγνωση σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) θερμοκρασιών από την εικόνα. Η απεικόνιση αυτή γίνεται συνήθως με διάφορους χρωματισμούς ή χρωματικές παλέτες όπως τα χρώματα του ουράνιου τόξου ή ασπρόμαυρη κατανομή (greyscale). Συνηθίζεται να απεικονίζονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες με χρώματα όπως το μπλέ και εντελώς ψυχρά το μαύρο και όσο ανεβαίνουμε θερμοκρασίες περνάμε από το πράσινο, στο κίτρινο και στη συνέχεια πιο κοντά στην περιοχή του κόκκινου. Η κλιμάκωση αυτή έχει να κάνει με την παλέτα που επιλέγει ο χρήστης ή υποστηρίζει η κάμερα καθώς και από την περιοχή θερμοκρασιών (εύρος μέτρησης) που επιλέγεται κατά τις μετρήσεις ή υποστηρίζει η κάμερα.

2.3 : Τύποι θερμικών καμερών

Υπάρχουν πολλοί τύποι θερμικών καμερών ή καμερών υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ωστόσο αν και όλες στηρίζονται στην αρχή της καταγραφής αυτής της ακτινοβολίας αλλάζουν μερικά από τα χαρακτηριστικά τους. Ίσως από τα πιο σημαντικά είναι ο ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR Detector). Υπάρχουν διάφοροι τύποι καθώς συνήθως η περιοχή χρήσης τους είναι μικρότερη από το φάσμα συχνοτήτων της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για αυτό το σκοπό ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την κάμερα με τον κατάλληλο ανιχνευτή με βάση την χρήση για την οποία προορίζει την κάμερα.

Ουσιαστικά υπάρχουν δυο περιοχές που συνηθίζεται να μετράμε. Την χαμηλή/μέση περιοχή συχνοτήτων(SW/MW) 2-6μm και τη υψηλή(LW) 8-14μm. Οι περισσότερες κάμερες χρησιμοποιούν τους μικροβολομετρικούς(micro bolometers) ανιχνευτές που μπορούν να μετρήσουν όλο το εύρος. Ωστόσο για καλύτερες αποκρίσεις και ακρίβεια και για πιο συγκεκριμένες μετρήσεις υπάρχουν και άλλου είδους ανιχνευτές με περιορισμό σε μικρότερη περιοχή μετρήσεων, π.χ. LW, SW, αλλά με άλλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ο καθένας όπως ίσως η περιοχή της θερμοκρασίας λειτουργίας του σένσορα.

2.4 : Χρήσεις θερμικής κάμερας

Οι ανάγκες για μεγαλύτερη ασφάλεια των εγκαταστάσεων ειδικά στις βιομηχανίες και η καλύτερη πρόληψη των ατυχημάτων, έχει καταστήσει την χρήση θερμικής κάμερας σε πάρα πολλές βιομηχανικές εφαρμογές επιτακτική και πολύ σημαντική. Μεγάλο πεδίο χρήσης της κάμερας είναι σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, σε μηχανολογικές εγκαταστάσεις καθώς και σε πολλά άλλα πεδία της βιομηχανίας. Συνοπτικά θα δούμε παρακάτω σε μερικούς τομείς τι μπορεί να δει κάποιος με μία θερμική κάμερα.

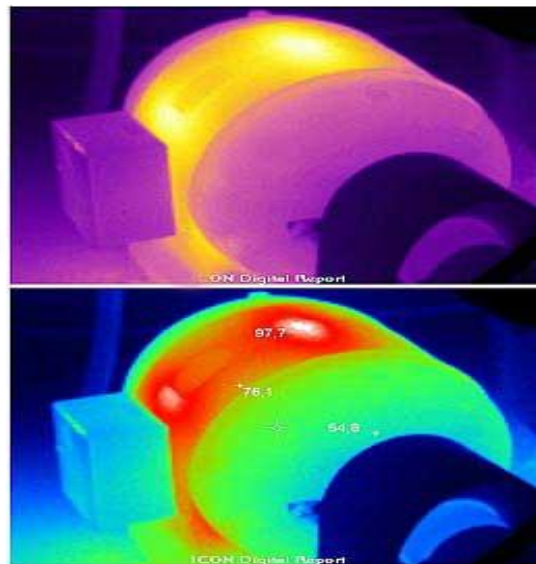
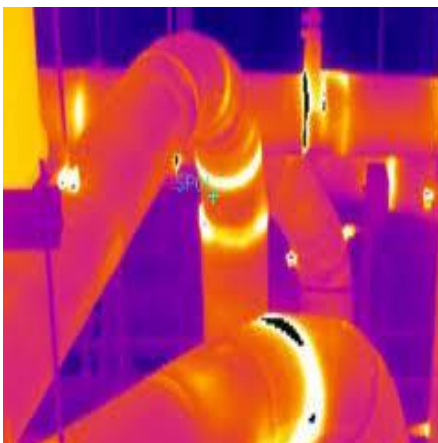
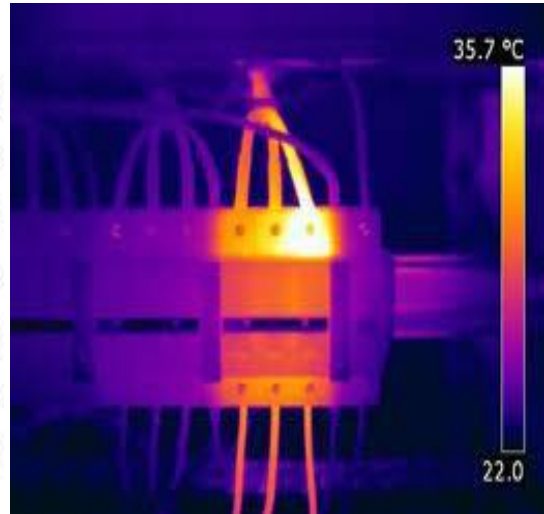
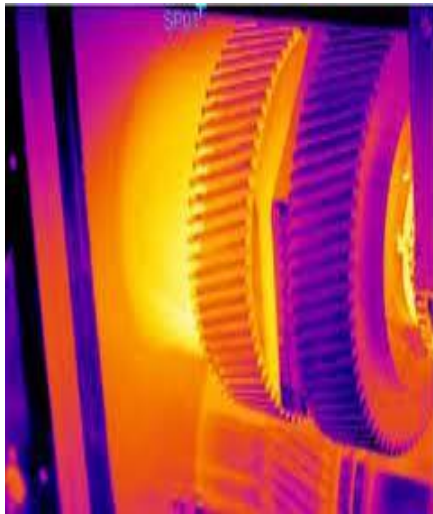
Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις υψηλής και χαμηλής τάσης

- Κακές συνδέσεις, κακή σύσφιξη συνδέσεων
- Ελαττωματικές μονώσεις
- Υπερθέρμανση συνδέσεων
- Οξείδωση διακοπών υψηλής
- Συνδέσεις υψηλής αντίστασης
- Ζημιά ασφαλειών και διακοπών

Μηχανολογικές εγκαταστάσεις

- Υπερθέρμανση κινητήρων
- Προβλήματα λίπανσης
- Αστοχίες
- Ελαττωματικά, φθαρμένα ρουλεμάν
- Υπερφορτωμένες σωληνώσεις
- Υπερθέρμανση αξόνων ενός κινητήρα
- Διαρροή σε σωλήνες, βαλβίδες κλπ
- Υποχωρήσεις μονώσεων

Φυσικά η χρήση δεν περιορίζεται μόνο σε αυτές τις δύο εφαρμογές αλλά χρησιμοποιείται ακόμα για επιθεώρηση ηλεκτρονικών συστημάτων όπως η μητρική ενός υπολογιστή, για ανίχνευση στάθμης σε δεξαμενές, ανίχνευση φλόγας μη ορατής πολλές φορές στο γυμνό μάτι, επιθεώρηση αεροναυτικών υλικών καθώς και άλλες πάρα πολλές εφαρμογές της τεχνολογίας και της βιομηχανίας.



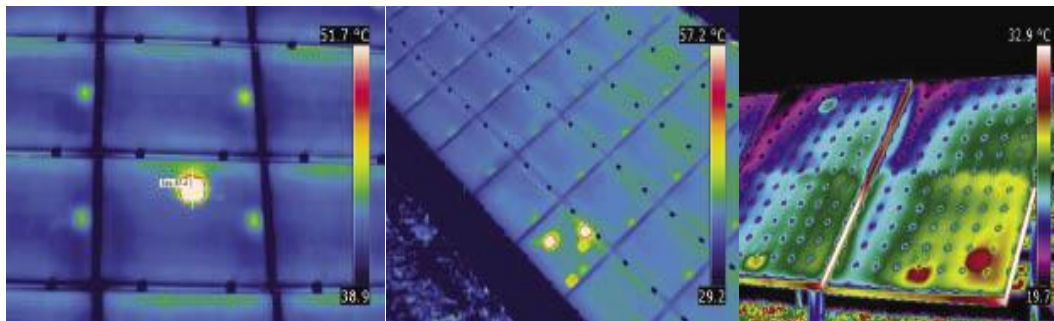
Κεφάλαιο 3^ο : Χρήση θερμικής κάμερας σε Φ/Β συστήματα και εγκαταστάσεις

Όπως προαναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες η χρήση της θερμικής κάμερας βρίσκει πεδίο χρήσης σε πάρα πολλούς τομείς. Ένας τομέας είναι τα φωτοβολταϊκά, τομέας που μας ενδιαφέρει άμεσα, αφού με αυτό ασχοληθήκαμε και θα αναλύσουμε τα ευρήματα στην επόμενη ενότητα.

Η χρήση της θερμικής κάμερας σε φωτοβολταϊκά πάνελ βρίσκει πρώτα από όλα εφαρμογή για την διασφάλιση της ποιότητας, όπου είναι πολύ βασική στα Φ/Β πάνελ. Είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να μην υπάρχουν ελαττωματικά προϊόντα αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής και την απόδοση της επένδυσης. Για αυτό το λόγο έλεγχοι γίνονται και κατά τη διάρκεια της παραγωγής αλλά και μετά την εγκατάσταση των πάνελ. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά με κυριότερο ότι η θερμική κάμερα έχει εφαρμογή ακόμα και κατά λειτουργία των πάνελ.

Ωστόσο εκεί που έχει καθιερωθεί ως ένα βασικότατο εργαλείο είναι στον τομέα της ανάπτυξης και της έρευνας, δίνοντας στους ερευνητές μία «εσωτερική» ματιά στα πάνελ και τη συμπεριφορά τους και την αξιολόγησή τους. Σε αυτήν τη φάση ελέγχου συνήθως η εξέταση των πάνελ γίνεται με δύο τρόπους και φυσικά κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Είτε με ηλεκτρική τροφοδοσία είτε με λάμπες για να εξασφαλιστεί η ύπαρξη αρκετής θερμικής ενέργειας για να γίνουν οι μετρήσεις, κάτι που σε πραγματικές συνθήκες δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί αφού η ενέργεια από τον ήλιο δεν είναι σταθερή και επηρεάζεται από πολλές συνθήκες.

Από την θερμική εικόνα μπορούμε να δούμε αν υπάρχουν πιο θερμά σημεία(hot spots) στο πάνελ ή θερμότερες περιοχές(hot areas). Αναλόγως με το μέρος και το είδος, σχήμα αυτών των θερμών σημείων και περιοχών μπορούν να αποκαλυφθούν διάφορα λάθη. Για παράδειγμα αν ολόκληρο το πάνελ είναι πιο θερμό από αυτό που θα έπρεπε τότε πολύ πιθανόν να υπάρχει πρόβλημα στις διασυνδέσεις ενώ αν ανιχνευτεί κάποιο σημείο πιο ζεστό τότε πολύ πιθανές αιτίες που παρουσιάζονται είναι οι ελαττωματικές δίοδοι παράκαμψης, ελαττωματικό κελί καθώς και πιθανά εσωτερικά βραχυκυκλώματα.



Κεφάλαιο 4^ο : Ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς Φ/Β στοιχείου με θερμική κάμερα

Σε αυτό το κεφάλαιο που είναι και το βασικό μέρος αυτής της πτυχιακής εργασίας θα περιγράψουμε αναλυτικά την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς θα παρουσιαστούν οι διάφορες μετρήσεις και τα αποτελέσματα αυτών. Φυσικά θα προσπαθήσουμε μέσα από τα συμπεράσματα που θα βγουν να κατανοήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος την θερμική συμπεριφορά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου κάτω από μη ελεγχόμενες συνθήκες.

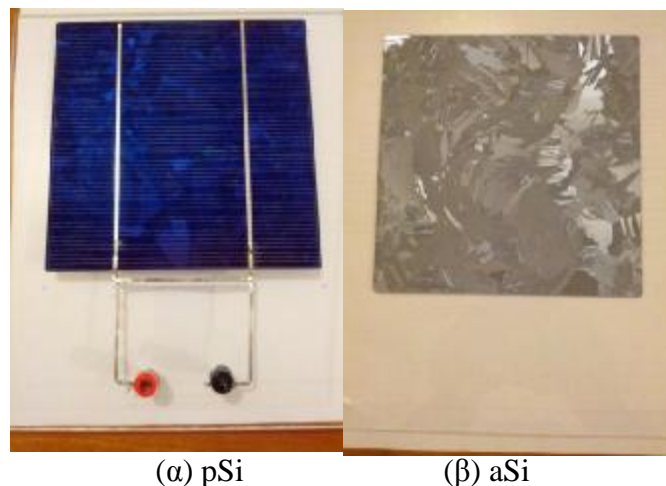
Για την ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς του στοιχείου όπως υπαγορεύει και ο τίτλος χρησιμοποιήθηκε μία θερμική κάμερα, φορητή, και οι μετρήσεις έγιναν σε φυσικό περιβάλλον. Αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού οι περισσότερες έρευνες γίνονται σε εργαστήρια και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

Το μοντέλο της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι το INV 770-P της Imprac. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της είναι:

- Η ανάλυση 320 x 240 pixels(76800 pixels) που επιτρέπει την ανάλυση των εικόνων σε 76800 διαφορετικά σημεία με διαφορετική θερμοκρασία.
- Η ακριβής μέτρηση, με διακριτική ικανότητα 0,1°C
- Η ένδειξη των εικόνων που τραβάει ο χρήστης σε οθόνη 3,5" LCD
- Η χωρητικότητα 400 εικόνων
- Και η διασύνδεση της είτε με υπολογιστή μέσω θύρας USB είτε με απευθείας προβολή των εικόνων σε κάποιο άλλο μέσο μέσω Video Out.

Τα αναλυτικά τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας βρίσκονται στο παράρτημα 1.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ένα πολυκρυσταλλικό(p-Si) φωτοβολταϊκό πάνελ εικόνα (α) καθώς και ένα άμορφου πυριτίου(a-Si) εικόνα (β).



Στο πολυκρυσταλλικό υπήρχαν και ακροδέκτες για την μέτρηση ηλεκτρικών στοιχείων όπως η τάση ανοιχτού κυκλώματος(V_{oc}) και το ρεύμα βραχυκύκλωσης(I_{sc}) όπως διακρίνεται και από την παραπάνω φωτογραφία.

4.1 : Ανάλυση εργασιών

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρήσιμων προς επεξεργασία και την κατάληξη σε συμπεράσματα εκτελέστηκαν διάφορες εργασίες και έγιναν κάποιες μετρήσεις, οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάστηκαν. Συγκεκριμένα η όλη διαδικασία χωρίζεται σε 2 στάδια.

- Στάδιο μέτρησης
- Στάδιο επεξεργασίας, που περιλαμβάνει την χρήση υπολογιστή και τα προγράμματα Micro Spec 4.0 της Impac για την επεξεργασία των εικόνων της θερμικής κάμερας και του Matlab 2012a για την επεξεργασία των μετρήσεων και την εξαγωγή διαγραμμάτων για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του πειράματος.

Αναλυτικότερα για το πρώτο στάδιο, αυτό των μετρήσεων έγιναν οι εξής εργασίες:

- Τοποθέτηση φωτοβολταϊκού στοιχείου/ων σε ταράτσα πολυκατοικίας για την αποφυγή σκιάσεων από φυσικά αντικείμενα. Η τοποθέτηση έγινε στις 45° μετά από υπόδειξη των εισηγητών
- Σύνδεση ακροδεκτών του πολυκρυσταλλικού στοιχείου με πολύμετρο για την μέτρηση και καταγραφή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος Voc(Volt) της κλίμακας περίπου των 0,5-0,6V, καθώς και την μέτρηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης Isc(A) της κλίμακας μερικών αμπερ(0-5A).
- Φωτογράφιση των στοιχείων με τη θερμική κάμερα ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα των 5, 10 και 15 λεπτών. Ανά σύνολο μετρήσεων (ημέρα μετρήσεων) πραγματοποιήθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί σε διάρκεια μετρήσεων καθώς και συχνότητα δειγματοληψίας. Για παράδειγμα σε σύνολο μετρήσεων 6 ωρών ακολουθήθηκε ο εξής ρυθμός καταγραφής. Για την πρώτη ώρα θερμική φωτογραφία και καταγραφή μετρήσεων ανά 5 λεπτά, για την δεύτερη ώρα ανά 10 λεπτά και τις υπόλοιπες 4 ώρες ανά 15 λεπτά για ένα δείγμα. Ενώ για μετρήσεις 2 ωρών η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά και για τις 2 ώρες ή 5 λεπτά την πρώτη ώρα και 10 λεπτά την δεύτερη ανάλογα με την εκτίμηση του πειραματιστή.

Με το πέρας των μετρήσεων, κάθε σύνολο χρειαζόταν κατάλληλη επεξεργασία. Σε αυτό το δεύτερο στάδιο εκτελέστηκαν οι παρακάτω διεργασίες:

- Με την χρήση του προγράμματος Micro Spec 4.0 της Impac που συνόδευε την θερμική κάμερα έγινε η εξαγωγή των εικόνων σε bmp format και στη συνέχεια η επεξεργασία κάθε μίας εικόνας ξεχωριστά με σκοπό την καταγραφή 2 στοιχείων. Τη μέση θερμοκρασία όλου του φωτοβολταϊκού στοιχείου/ων και τη μέση θερμοκρασία κάθε ενός από τα 4 τεταρτημόρια των ηλιακών πάνελ. Τοποθέτηση των θερμοκρασιών αυτών στον πίνακα με την τάση και το ρεύμα για την αντίστοιχη χρονική στιγμή.
- Αφού ολοκληρωνόταν η εξαγωγή της μέσης θερμοκρασίας για κάθε φωτογραφία, τότε με την βοήθεια του προγράμματος Matlab παράχθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα: Τάσης-Χρόνου $V(t)$, Ρεύματος-Χρόνου $I(t)$, Μέσης θερμοκρασίας-Χρόνου $T_{avg}(t)$ και μέσης θερμοκρασίας κάθε τεταρτημορίου με το χρόνο. $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$.

1.1	1.2
2.1	2.2

Τεταρτημόρια Ηλιακού πάνελ

- Επίσης πέρα από αυτά τα γραφήματα έγιναν άλλα 3 με μία ιδιαίτερη επεξεργασία πρώτα. Έγινε η συσχέτιση των τριών βασικών μεγεθών που μετρήσαμε. Τάση(V_{oc}), ρεύμα(I_{sc}) και μέση θερμοκρασία πάνελ(T_{avg}). Για να γίνει η συσχέτιση πρώτα έγινε κανονικοποίηση αυτών διαιρώντας όλες τις μετρήσεις με την μέγιστη από αυτές έτσι ώστε να γίνει αναγωγή των μετρήσεων σε τιμές από 0 έως 1. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι απόλυτες τιμές των διαφορών αυτών των μεγεθών και συγκεκριμένα του ρεύματος με την θερμοκρασία ($I_n - T_{avg_n}$), της τάσης με τη θερμοκρασία ($V_n - T_{avg_n}$), και του ρεύματος και της τάσης ($I_n - V_n$). Αυτά ονομάστηκαν D1, D2, D3 αντίστοιχα που είναι και η συσχέτιση των μετρήσεων αυτών.

Χαρακτηριστικά ακολουθούν οι εντολές του Matlab στη γενική τους μορφή.

`time=[...];` **Χρόνος σε minutes**

`Voc=[...];` **Τάση σε mVolts**

`Isc=[...];` **Ρεύμα σε Ampere**

`Tc=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius – mSi**

`Tc11=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.1 τεταρτημορίου mSi**

`Tc12=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.2 τεταρτημορίου mSi**

`Tc21=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.1 τεταρτημορίου mSi**

`Tc22=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.2 τεταρτημορίου mSi**

`Tr=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius – aSi**

`Tr11=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.1 τεταρτημορίου aSi**

`Tr12=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.2 τεταρτημορίου aSi**

`Tr21=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.1 τεταρτημορίου aSi**

`Tr22=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.2 τεταρτημορίου aSi**

`Vd=Voc/max(Voc);` **Κανονικοποιημένη τάση**

`Id=Isc/max(Isc);` **Κανονικοποιημένο ρεύμα**

`Td=Tc/max(Tc);` **Κανονικοποιημένη θερμοκρασία**

$D1 = \text{abs}(I_d - T_d);$ Συσχέτιση ρεύματος - θερμοκρασίας
 $D2 = \text{abs}(V_d - T_d);$ Συσχέτιση τάσης - θερμοκρασίας
 $D3 = \text{abs}(I_d - V_d);$ Συσχέτιση ρεύματος τάσης

$a =$ αριθμός μετρήσεων (σημεία μείον 1 αφού μετράμε ξεκινάμε από το μηδέν) Π.χ.
 για 31 σημεία δόθηκε $a = 0:1:30;$

`subplot(2,2,1),plot(time,Voc);` γράφημα $V(t)$
`xlabel({'Time(min)'});`
`ylabel({'Voc(mV)'});`
`title({'ΗΜΕΡΑ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ --- ΤΕΣΤ #'});`

`subplot(2,2,2),plot(time,Isc);` γράφημα $I(t)$
`xlabel({'Time(min)'});`
`ylabel('Isc(A)');`
`title({'ΗΜΕΡΑ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ --- ΤΕΣΤ #'});`

`subplot(2,2,3),plot(time,Tc);` γράφημα $T_{\text{avg}}(t)$
`xlabel({'Time(min)'});`
`ylabel('Avg. Temp (oC)');`

`subplot(2,2,4),plot(time,Tc11,time,Tc12,time,Tc21,time,Tc22);`
 κοινό γράφημα $T_{\text{avg}1.1}(t), T_{\text{avg}1.2}(t), T_{\text{avg}2.1}(t), T_{\text{avg}2.2}(t)$

`xlabel({'Time(min)'});`
`ylabel('Avg. Temp (oC) of 4 quarters');`

`figure, subplot(2,2,1),plot(a,D1);` γράφημα συσχέτισης $D1$
`subplot(2,2,2),plot(a,D2);` γράφημα συσχέτισης $D2$
`subplot(2,2,3),plot(a,D3);` γράφημα συσχέτισης $D3$
`subplot(2,2,4),plot(a,D1,a,D2,a,D3);` γράφημα συσχέτισης $D1,D2,D3$

4.2 : Μετρήσεις – Πειράματα

4.2.1 : Σετ μετρήσεων #1 – Σάββατο 03/12/2011

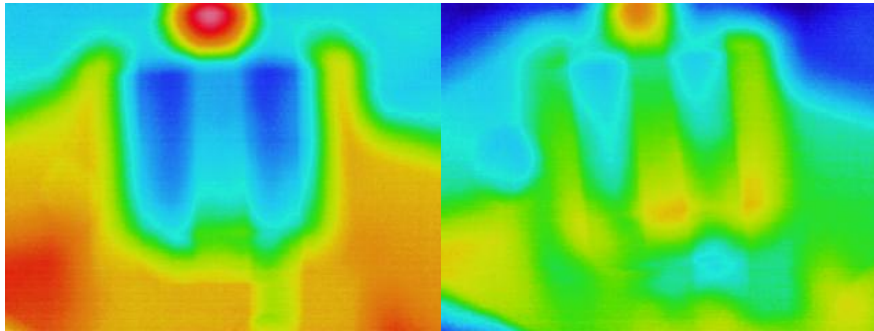
Στο πρώτο τεστ πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφιών μόνο στο πολυκρυσταλλικό πάνελ για 6 ώρες (10 πρωί έως τις 4 το μεσημέρι) καθώς και μέτρηση τάσης και ρεύματος του πάνελ και έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων και εικόνων όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18).

Πίνακας 1.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. (°C)	Μέση Θερμ. 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. 2.2 (°C)
1	0	580	3	7.2	6	5.9	7.8	8
2	5	576	3.15	15.8	14.7	15.2	16.5	17.3
3	10	573	3.15	17.3	15.6	17.2	17.4	19.1
4	15	566	2.6	18.7	17.5	18.4	19.2	20.4
5	20	568	2.8	19.6	18.4	19.5	19.9	21.2
6	25	570	3.3	19.2	18.1	18.8	19.8	20.5
7	30	570	3.61	19	16.3	17.3	21.3	20.5
8	35	570	3.25	19	17.1	18.2	20.7	20.5
9	40	570	3.66	19	16.3	17.3	22	20.2
10	45	570	3.6	18.5	16.5	17.5	19.1	20.5
11	50	565	3.1	20	17.9	19.1	20.3	22.1
12	55	566	3.2	18.5	16	18.3	18.6	20.9
13	60	568	3.1	19.1	16.9	18.6	19.2	21.4
14	70	570	3.17	17.8	15.9	17.1	18.2	20
15	80	565	3.63	19.5	17.7	18.7	20.5	21.6
16	90	565	4	21.5	19.3	21	21.9	23.8
17	100	563	3.73	19.1	17.1	18.6	19.6	21.3
18	110	560	3.55	20.5	18.7	20	20.9	22.4
19	120	560	4.18	19.7	18.2	18.7	20.6	21.4
20	135	563	3.3	22.9	20.6	22.3	23.4	25.2
21	150	567	3.63	21	19.4	19.9	22.1	22.9
22	165	565	3.85	22	20	21.3	22.4	24.4
23	180	567	3.76	22.3	20.5	21.4	23	24.6
24	195	570	3.75	19.6	17.8	19	20.1	21.5
25	210	572	3.48	20.7	18.4	19.6	21.4	23.7
26	225	573	3.48	20.8	18.8	19.5	21.5	23.6
27	240	570	3.72	18.7	16.4	17.6	18.8	22.2
28	255	570	3.51	19.3	17.4	18	19.9	21.8
29	270	571	3.68	18.2	16.4	17.2	18.6	20.5
30	285	574	3.52	17.5	15.8	16.6	18.3	19.6
31	300	574	3.59	16.1	14.1	14.7	16.8	19.4
32	315	574	3.49	15.3	13.1	13.6	15.5	18.8

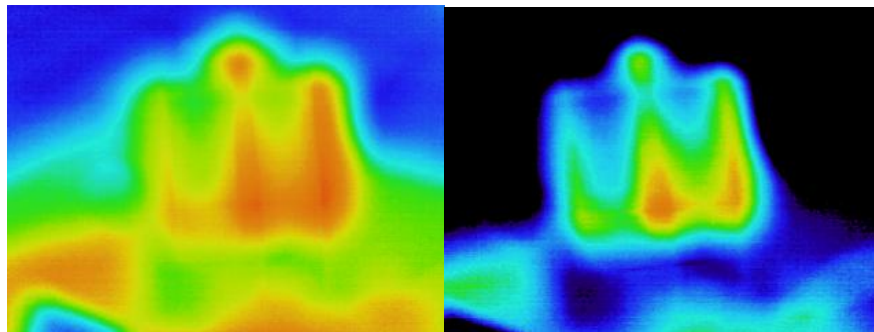
33	330	572	3.21	15.1	13	13.6	15.7	18
34	345	572	2.88	13.2	11	12.3	13.5	16
35	360	567	2.41	10	8.6	9.1	10.9	11.6

Παρακάτω ακολουθεί η παρουσίαση των θερμικών εικόνων που τραβήχτηκαν με την θερμική κάμερα κατά τη διάρκεια του πρώτου πειράματος.



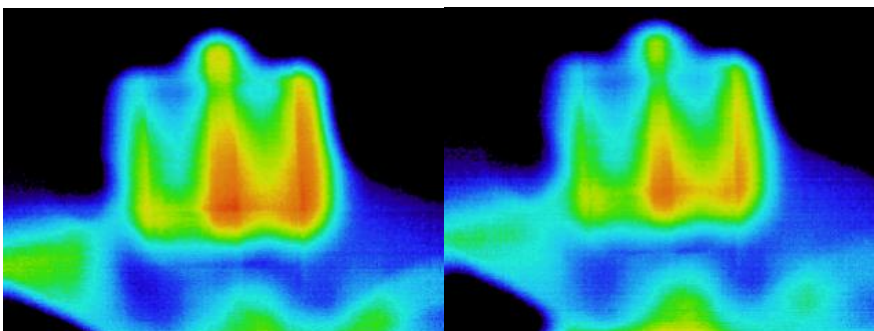
Εικόνα 1.1

Εικόνα 1.2



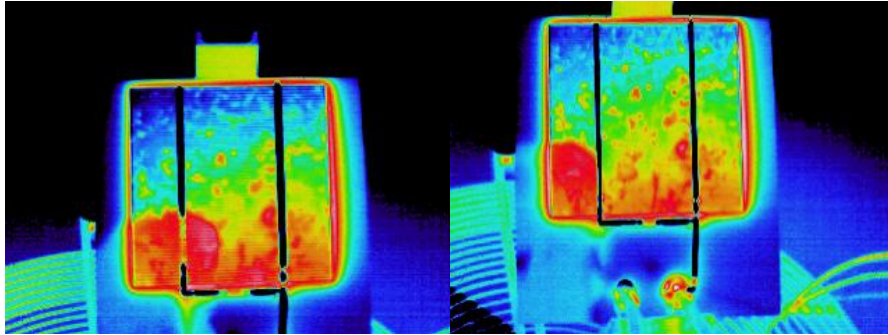
Εικόνα 1.3

Εικόνα 1.4



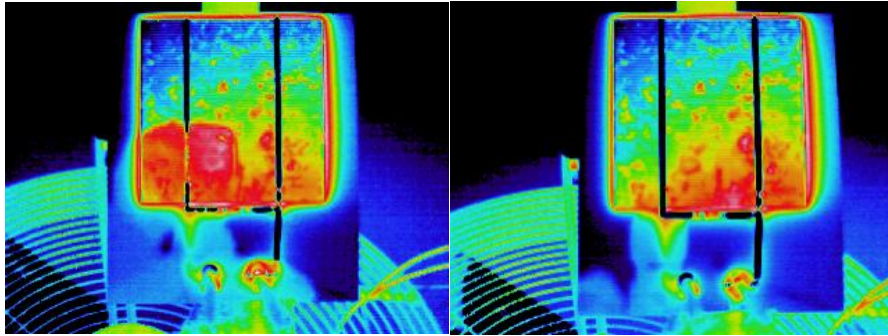
Εικόνα 1.5

Εικόνα 1.6



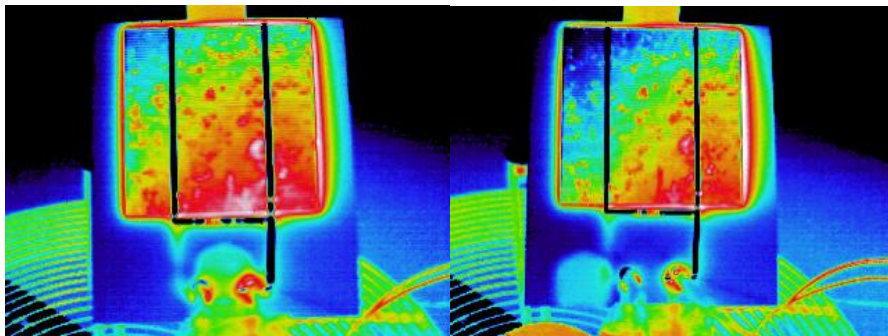
Εικόνα 1.7

Εικόνα 1.8



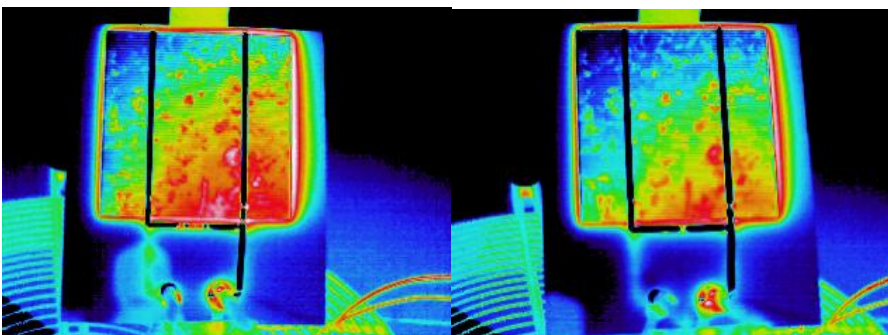
Εικόνα 1.9

Εικόνα 1.10



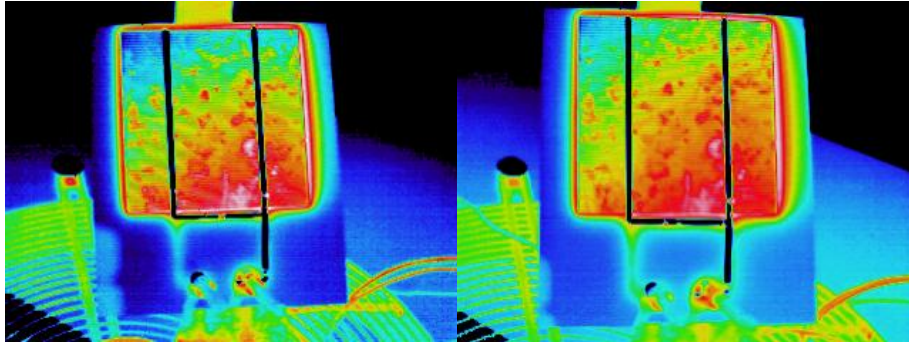
Εικόνα 1.11

Εικόνα 1.12



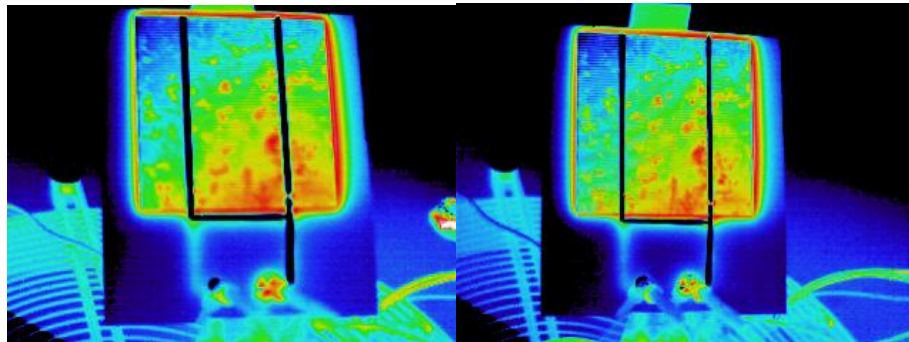
Εικόνα 1.13

Εικόνα 1.14



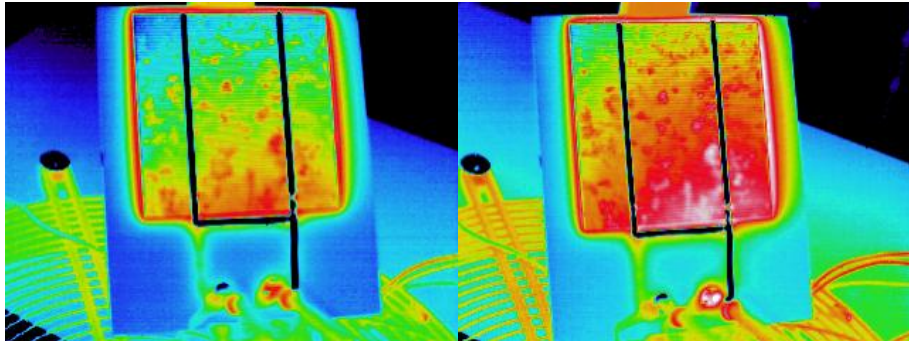
Εικόνα 1.16

Εικόνα 1.16



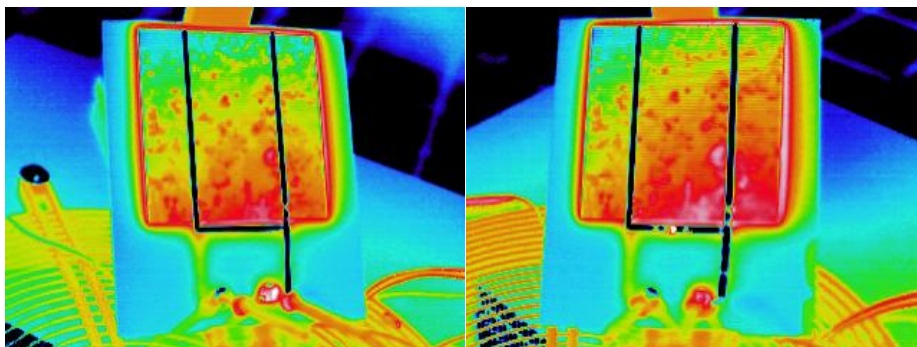
Εικόνα 1.17

Εικόνα 1.18



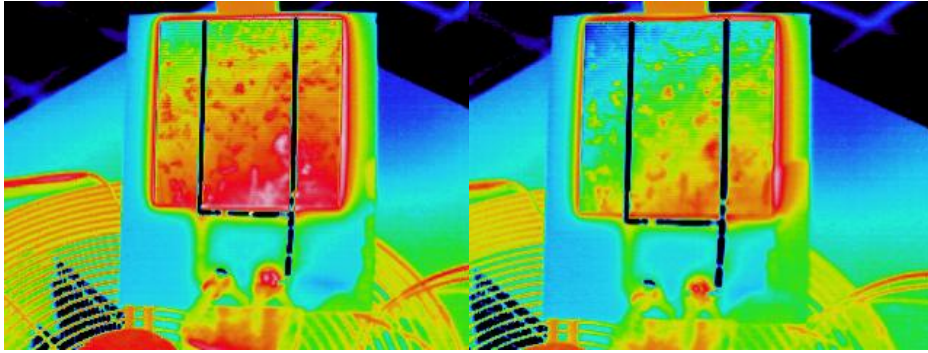
Εικόνα 1.19

Εικόνα 1.20



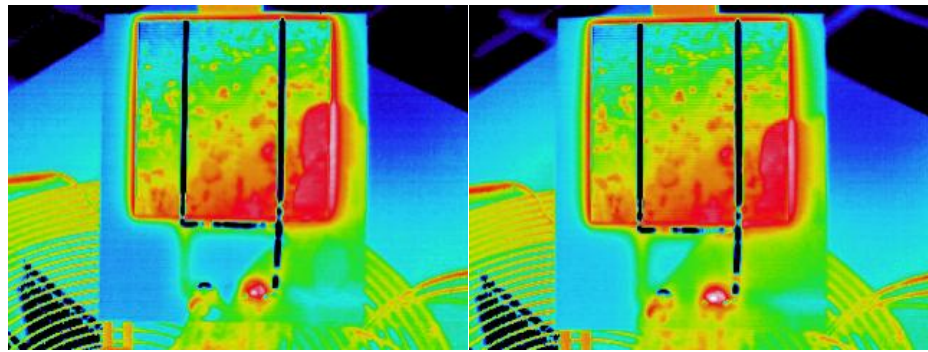
Εικόνα 1.21

Εικόνα 1.22



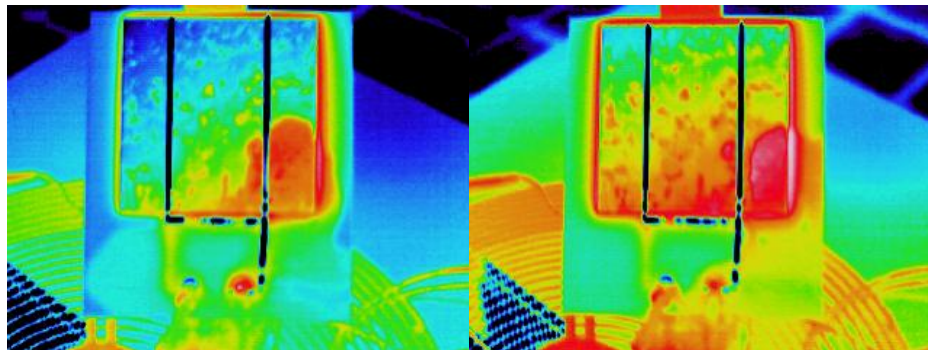
Εικόνα 1.23

Εικόνα 1.24



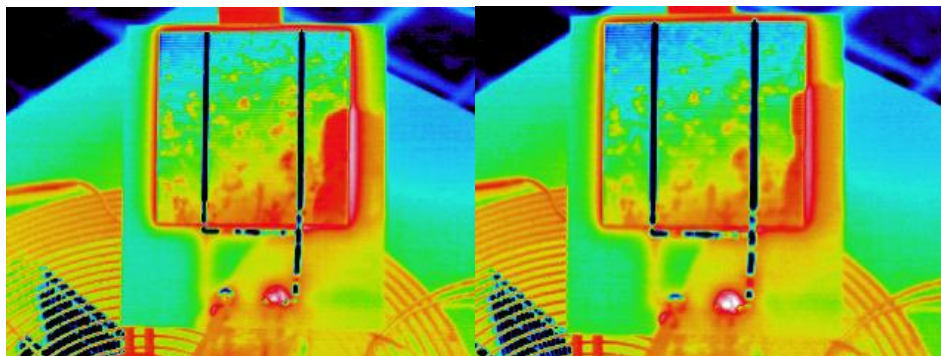
Εικόνα 1.25

Εικόνα 1.26



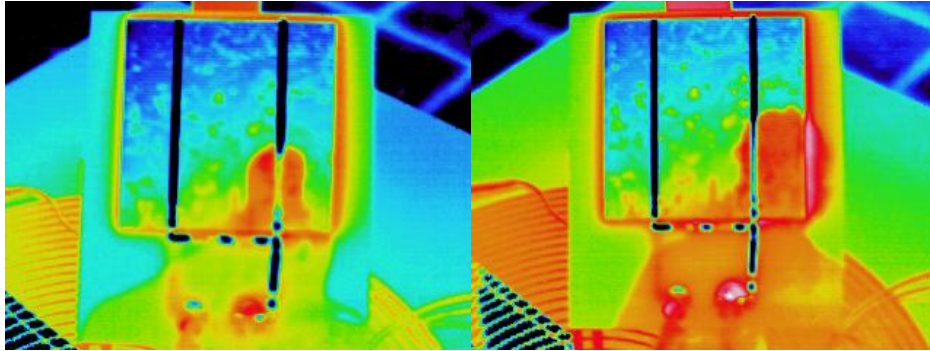
Εικόνα 1.27

Εικόνα 1.28



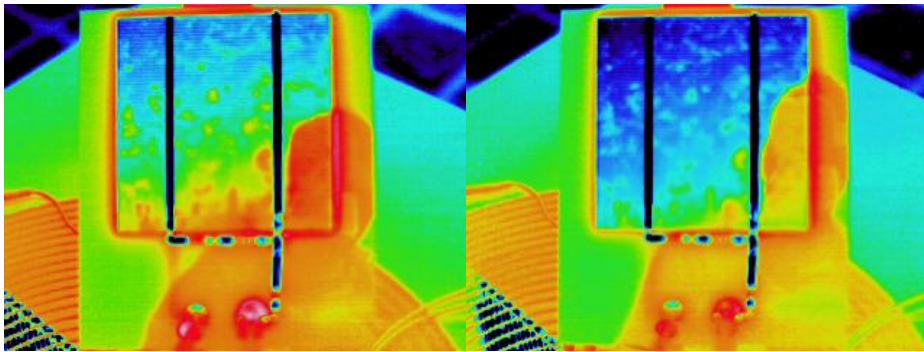
Εικόνα 1.29

Εικόνα 1.30



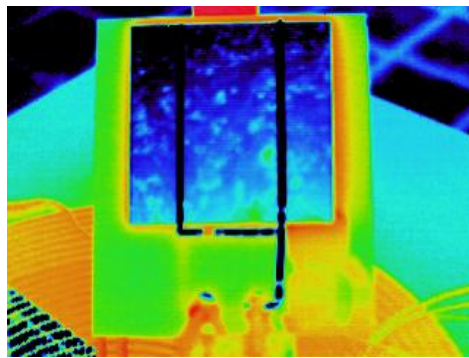
Εικόνα 1.31

Εικόνα 1.32



Εικόνα 1.33

Εικόνα 1.34



Εικόνα 1.35

Η επεξεργασία των εικόνων αυτών έγινε με το πρόγραμμα της Imrac, Micro Spec 4.0 και στα όποια συμπεράσματα βγήκαν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που παρουσιάζονται παραπάνω θα αναφερθούμε σε αυτά σε παρακάτω παράγραφο.

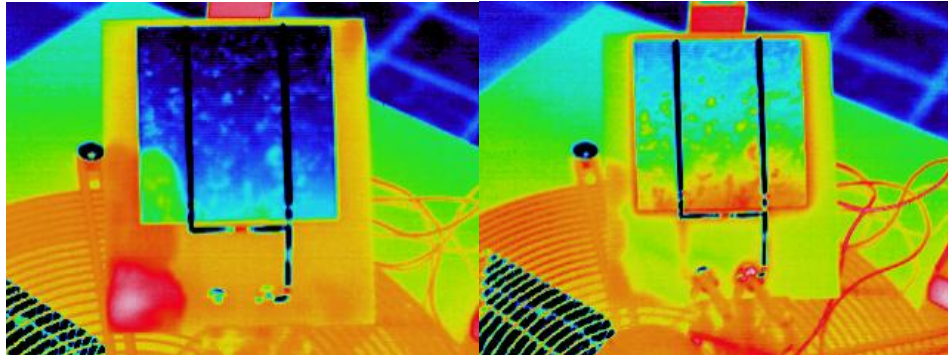
4.2.2 : Σετ μετρήσεων #2 – Κυριακή 04/12/2011

Και στο δεύτερο τεστ πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφιών μόνο στο πολυκρυσταλλικό πάνελ αλλά για 2 ώρες (10 το πρωί έως 12 το μεσημέρι) καθώς και μέτρηση τάσης και ρεύματος του πάνελ με τις καιρικές συνθήκες όμως να μεταβάλλονται (ηλιοφάνεια, αραιή συννεφιά, πολύ συννεφιά και έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων και εικόνων όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά και για τις 2 ώρες.

Πίνακας 2.1

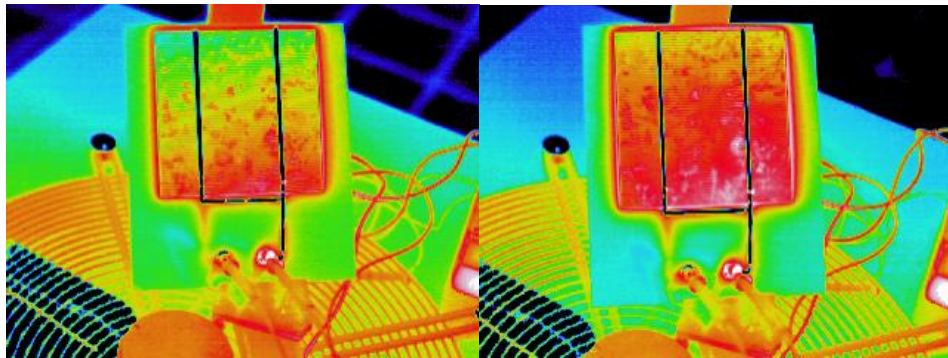
Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. (°C)	Μέση Θερμ. 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. 2.2 (°C)
1	0	577	1.8	9.3	8.2	7.8	11.3	10.3
2	5	588	3.98	13.2	11.8	11.8	14.4	14.9
3	10	578	3.7	17.5	15.9	16.3	18.4	19.2
4	15	572	3.85	21.7	20.4	20.6	22.4	23.2
5	20	572	3.94	21.6	20.2	21	21.8	23.1
6	25	570	3.36	21.1	20.2	21.2	21.2	22.1
7	30	555	1.8	13.3	11.8	12.4	13.9	14.8
8	35	574	3.7	20	18.6	18.6	21.4	21.5
9	40	570	3.89	19	17.2	18	19.9	20.8
10	45	562	2.1	12.3	10.7	11.6	12.8	13.8
11	50	570	2.2	10.2	9	9	11.5	11.4
12	55	565	1.95	11.5	10.5	11	11.9	12.7
13	60	572	3.3	19.1	18.4	19.2	19	19.9
14	65	565	2.5	15.7	14.8	14.8	16.5	16.7
15	70	559	1.85	11.7	10.5	10.8	12.7	13
16	75	576	3.4	18.4	16.9	17.6	19.9	20.1
17	80	572	3.77	21.3	19.3	20.3	22.1	23.5
18	85	568	3.2	22.4	20.3	21.6	23.1	24.8
19	90	565	3.8	21.5	19.5	20.8	22.2	23.9
20	95	565	3.6	21.3	19.2	20.8	21.7	23.8
21	100	565	3.2	21.7	19.9	21.1	22.1	23.8
22	105	566	3.2	21.6	19.5	21	21.8	23.9
23	110	564	3.06	20.2	18.3	20	20.4	22.2
24	115	564	2.2	12.8	11.3	12.4	13.2	14.6
25	120	582	3.92	17.6	15.2	16.4	18.4	20.5

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί η παρουσίαση των θερμικών εικόνων που τραβήχτηκαν με την θερμική κάμερα κατά τη διάρκεια του δεύτερου πειράματος.



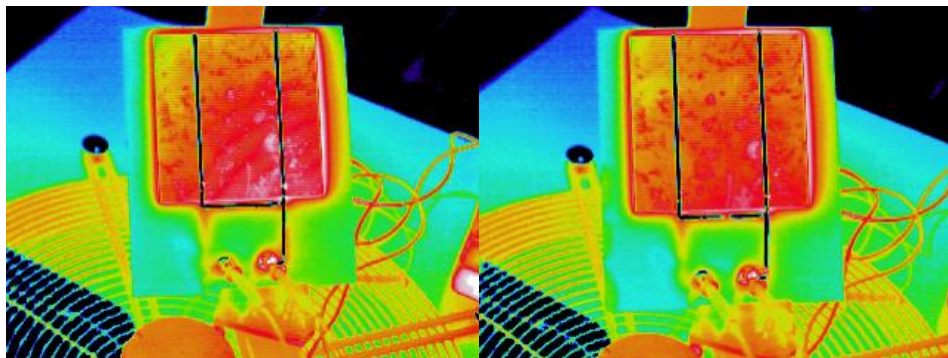
Εικόνα 2.1

Εικόνα 2.2



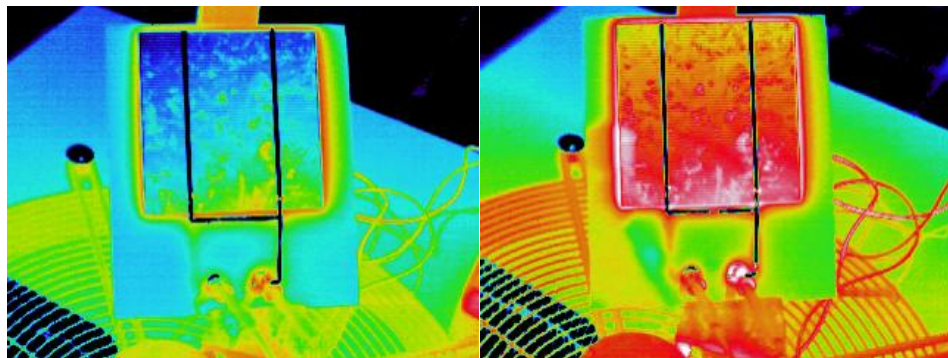
Εικόνα 2.3

Εικόνα 2.4



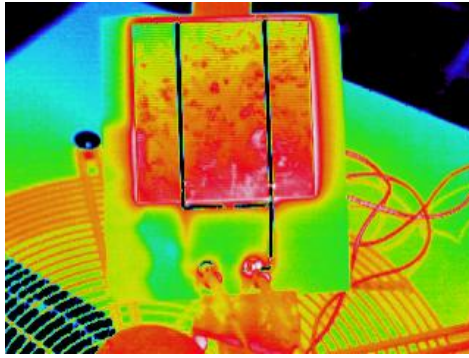
Εικόνα 2.5

Εικόνα 2.6

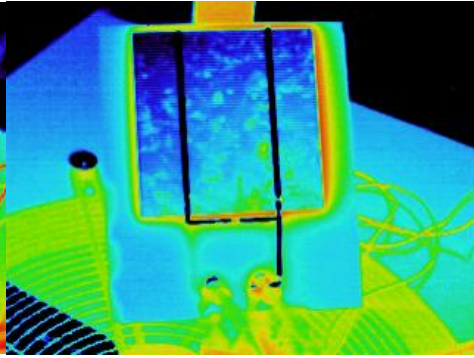


Εικόνα 2.7

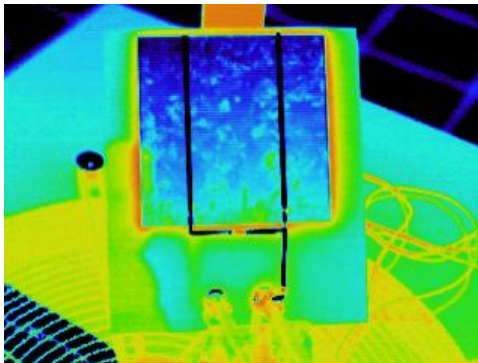
Εικόνα 2.8



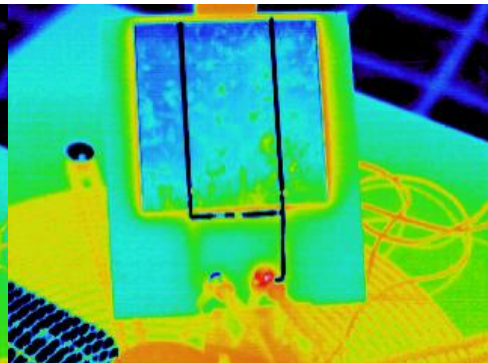
Εικόνα 2.9



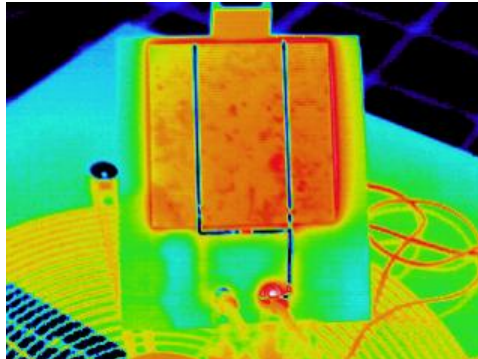
Εικόνα 2.10



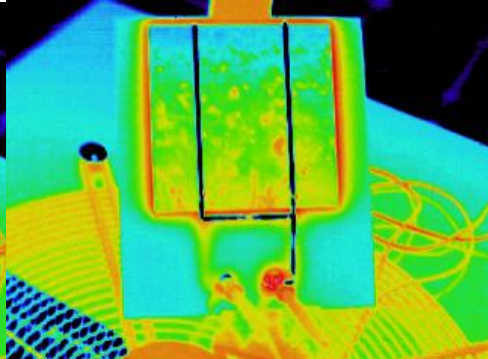
Εικόνα 2.11



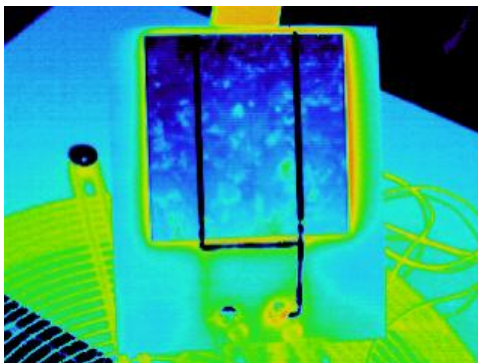
Εικόνα 2.12



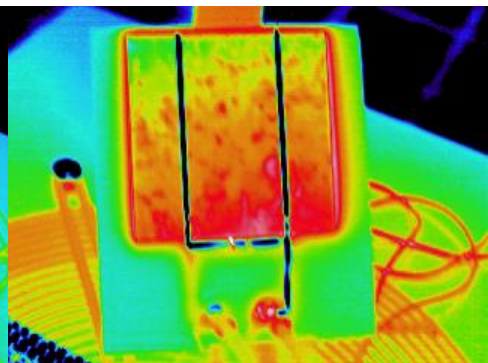
Εικόνα 2.13



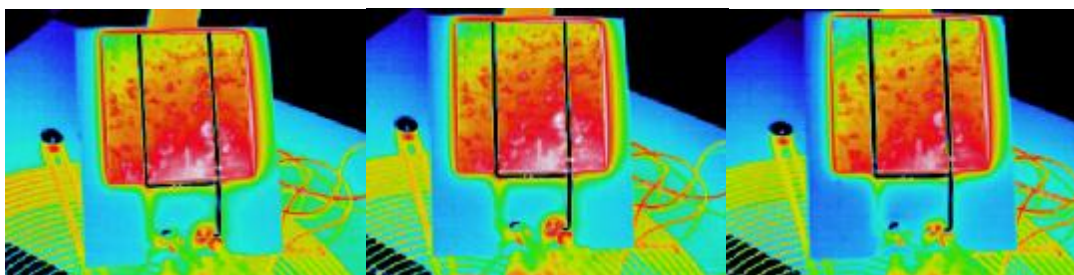
Εικόνα 2.14



Εικόνα 2.15



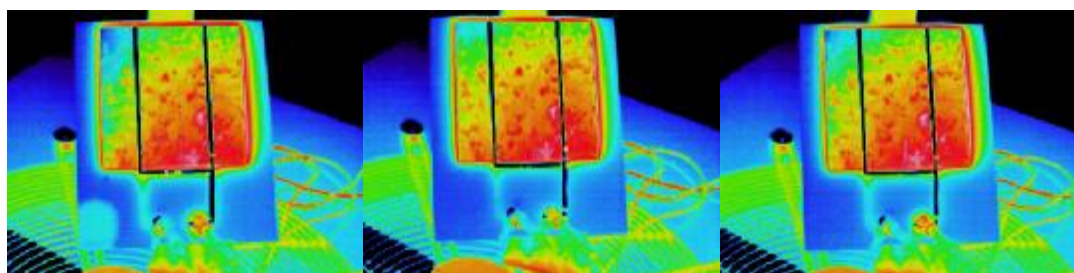
Εικόνα 2.16



Εικόνα 2.17

Εικόνα 2.18

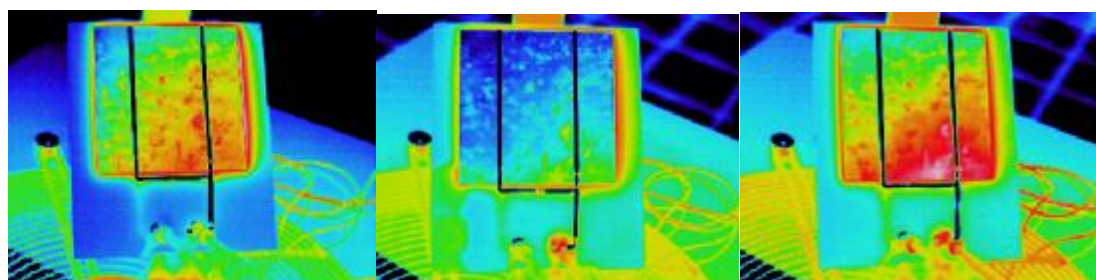
Εικόνα 2.19



Εικόνα 2.20

Εικόνα 2.21

Εικόνα 2.22



Εικόνα 2.23

Εικόνα 2.24

Εικόνα 2.25

Όπως και στο πρώτο πείραμα έτσι και σε αυτό η επεξεργασία των εικόνων έγινε με το πρόγραμμα της Iprac, Micro Spec 4.0 και στα όποια συμπεράσματα βγήκαν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που παρουσιάζονται παραπάνω θα αναφερθούμε σε αυτά σε παρακάτω παράγραφο.

4.2.3 : Σετ μετρήσεων #3 – Σάββατο 10/12/2011

Σε αυτό το σετ μετρήσεων πραγματοποιήθηκε πάλι λήψη φωτογραφιών αυτή τη φορά όμως με το πολυκρυσταλλικό στοιχείο καθώς και το άμορφο πυρίτιο δίπλα-δίπλα για 2 ώρες (10 το πρωί με 12 το μεσημέρι). Μετρήσεις τάσης και ρεύματος έγιναν πάλι για το πολυκρυσταλλικό πάνελ αφού είναι το μόνο που έχει ακροδέκτες. Γενικά οι καιρικές συνθήκες ήταν σταθερές με μικρή περίοδο συννεφιάς αλλά και ηλιοφάνεια με πολύ «αχνά» σύννεφα τα οποία θα δούμε σε παρακάτω κεφάλαιο από την ανάλυση αν επηρεάζουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα για αυτό το πείραμα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά.

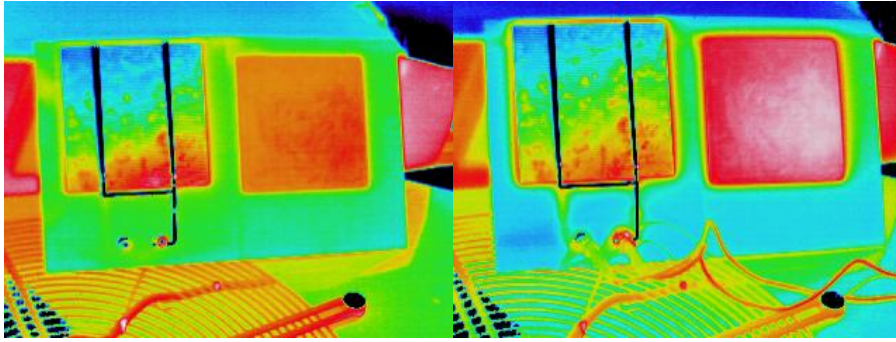
Πίνακας 3.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. pSi (°C)	Μέση Θερμ. aSi (°C)
1	1	560	4.1	14.7	18.9
2	5	560	3.84	16.7	24.4
3	10	560	4.11	18.3	26.5
4	15	560	4.04	21	29.2
5	20	558	4.15	22.1	29.7
6	25	556	4.04	22.8	31.3
7	30	556	4.09	21.7	30
8	35	555	4.04	23.8	32.7
9	40	556	4.04	25.8	34.1
10	45	556	4.02	27.2	35.5
11	50	556	4.02	27.1	35.3
12	55	555	3.98	26.2	34.3
13	60	557	3.4	18.8	26.1
14	65	558	3.78	20.4	27.8
15	70	560	3.8	22.2	29.9
16	75	562	3.61	19.6	26.6
17	80	570	3.5	17.2	24.5
18	85	564	3.9	21.2	29.8
19	90	553	3.93	26.6	35.4
20	95	555	3.98	27.3	35.6
21	100	546	3.95	29.7	38.2
22	105	542	3.93	34.7	44.4
23	110	548	3.85	30.5	35.8
24	115	560	3.8	23.2	29.6
25	120	558	3.23	23.2	29

Πίνακας 3.2

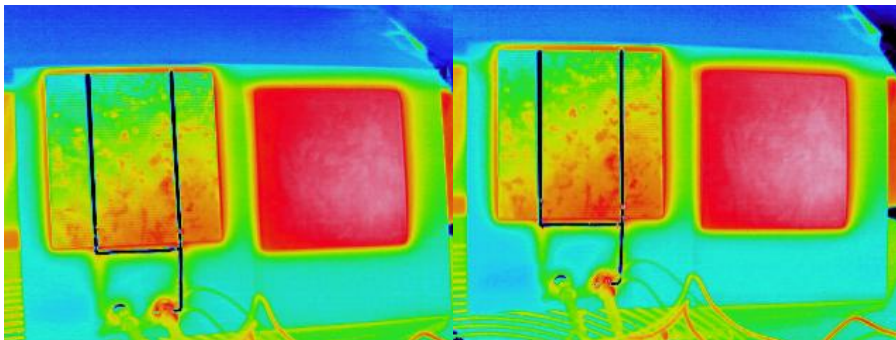
Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Μέση Θερμ. pSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.2 (°C)
1	1	12.4	13.1	15.8	17.2	18.5	18.8	18.9	19.6
2	5	14.8	15.4	17.6	18	23.6	24.6	24	25.3
3	10	16.3	17.1	19.4	20.9	25.8	27	26	27.7
4	15	18.8	20	22	23.5	28.4	29.6	28.4	30
5	20	20	20.9	23.3	24.6	29.3	30.5	28.8	30.5
6	25	20.9	21.8	23.8	25.2	30.7	31.8	30.4	31.8
7	30	19.9	20.6	22.2	24.1	29.3	30.5	29.1	30.8
8	35	21.8	23.2	24.3	26.3	32	33.6	31.4	33.4
9	40	23.5	24.8	26.3	28.1	33.4	34.5	33	34.6
10	45	24.7	26.3	27.5	30.2	34.7	36.7	34.3	36.5
11	50	24.7	26.4	27.5	29.9	34.2	36.5	34.2	36.6
12	55	23.9	25.5	26.6	28.8	33.4	35.3	33.4	35.4
13	60	16.8	18.1	19.3	21	25.8	26.4	25.4	26.5
14	65	18.6	19.1	21.2	22.5	27.2	28.1	27.4	28.4
15	70	20.8	21.5	22.7	23.7	29.6	30.2	29.2	30.4
16	75	18.1	19	20.1	21.3	26.3	27	26	27.2
17	80	15.2	16.4	17.5	19.4	24	25.1	23.8	25
18	85	18.6	19.8	21.9	23.9	28.8	30.3	29.3	30.9
19	90	24.2	25.4	27.4	29.4	34.5	36.5	34.3	36.7
20	95	25.1	26.1	28	30	34.5	36.2	34.9	37.1
21	100	27.7	28.4	30.7	31.9	37.6	38.6	37.5	38.9
22	105	32.5	33.5	35.3	37.3	43.9	46.4	41.7	45.1
23	110	28.8	30.1	31.1	32.4	35.4	35.5	35.5	36.4
24	115	20.9	22.7	23.7	25.4	29.2	30.1	29	30.1
25	120	21.5	23.2	23.1	25	28.6	29.2	28.5	29.2

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί η παρουσίαση των θερμικών εικόνων που τραβήχτηκαν με την θερμική κάμερα κατά τη διάρκεια του τρίτου πειράματος.



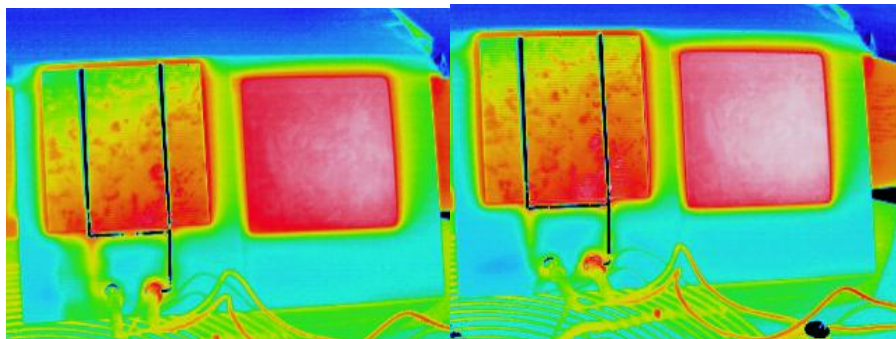
Εικόνα 3.1

Εικόνα 3.2



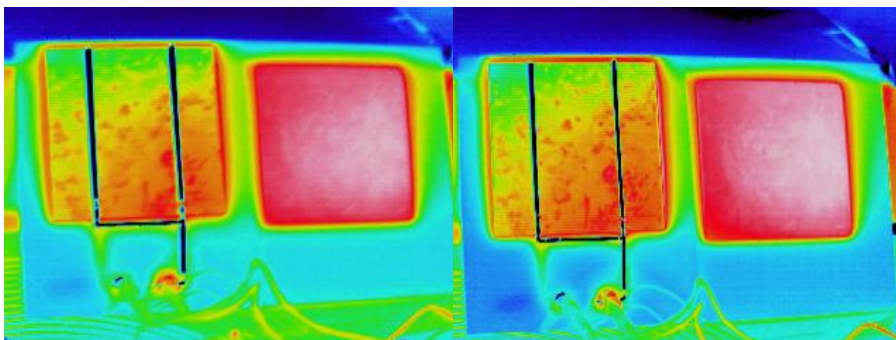
Εικόνα 3.3

Εικόνα 3.4



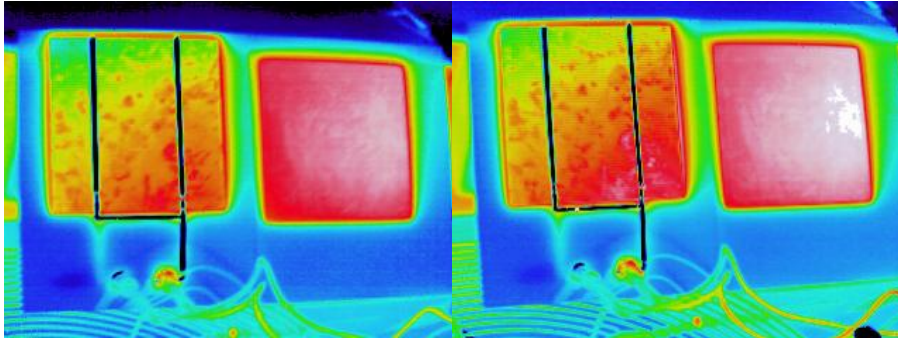
Εικόνα 3.5

Εικόνα 3.6



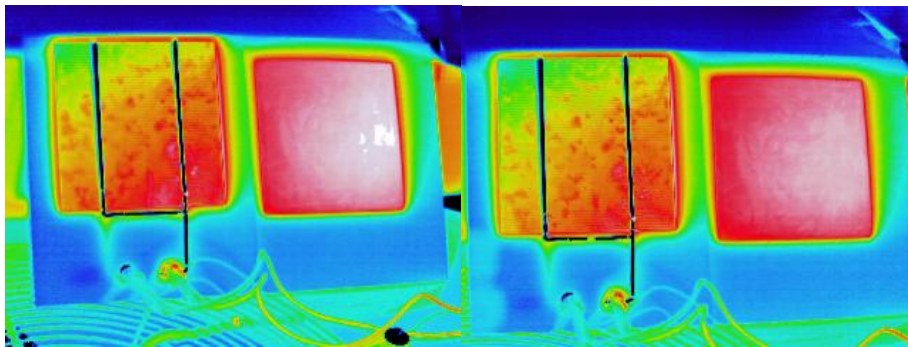
Εικόνα 3.7

Εικόνα 3.8



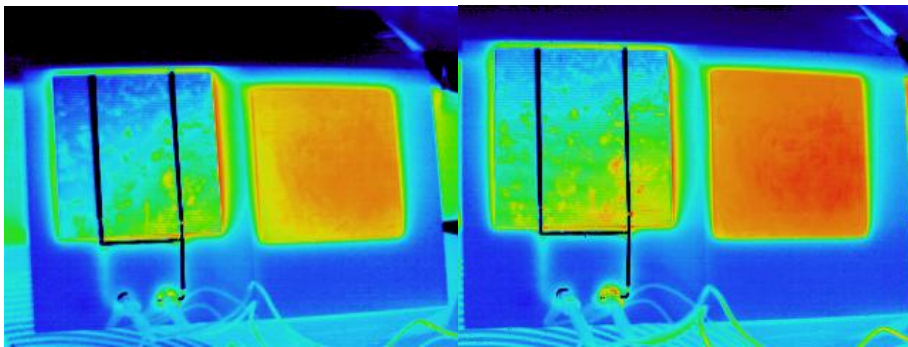
Εικόνα 3.9

Εικόνα 3.10



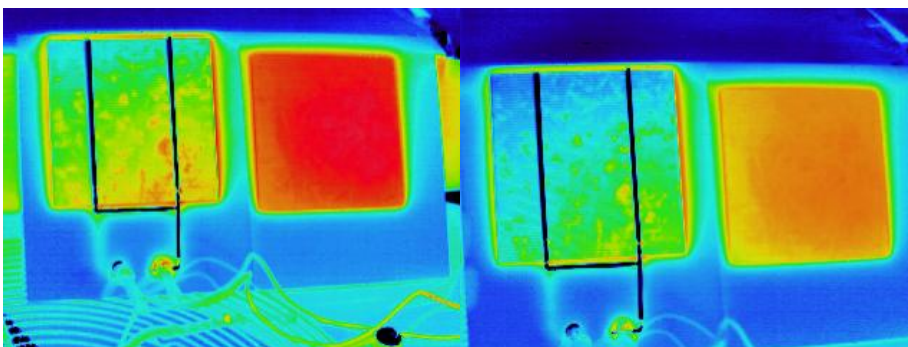
Εικόνα 3.11

Εικόνα 3.12



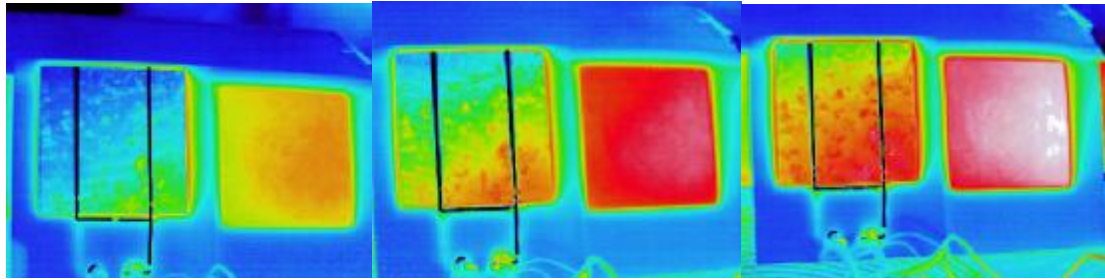
Εικόνα 3.13

Εικόνα 3.14



Εικόνα 3.15

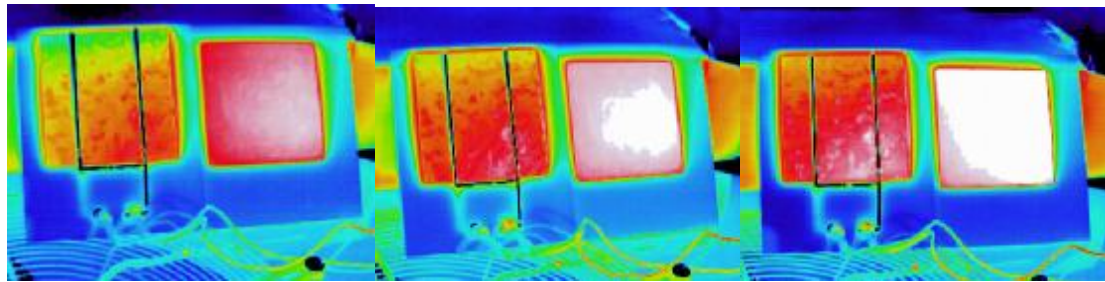
Εικόνα 3.16



Εικόνα 3.17

Εικόνα 3.18

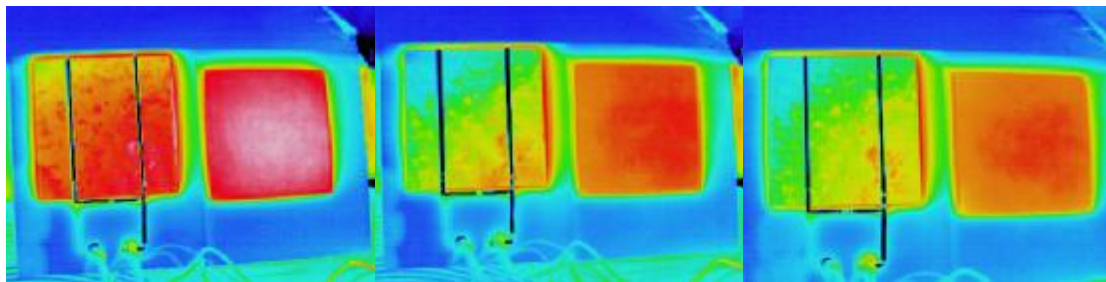
Εικόνα 3.19



Εικόνα 3.20

Εικόνα 3.21

Εικόνα 3.22



Εικόνα 3.23

Εικόνα 3.24

Εικόνα 3.25

Όπως και στα δύο προηγούμενα πειράματα έτσι και σε αυτό η επεξεργασία των εικόνων έγινε με το πρόγραμμα της Iprac, Micro Spec 4.0 και στα όποια συμπεράσματα βγήκαν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που παρουσιάζονται παραπάνω θα αναφερθούμε σε αυτά σε παρακάτω παράγραφο.

4.2.4 : Σετ μετρήσεων #4 – Τετάρτη 21/03/2012

Σε αυτό το σετ μετρήσεων πραγματοποιήθηκε πάλι λήψη φωτογραφιών αυτή τη φορά όμως με το πολυκρυσταλλικό στοιχείο καθώς και το άμορφο πυρίτιο δίπλα-δίπλα όμως για 6 ώρες (10 το πρωί με 4 το μεσημέρι). Μετρήσεις τάσης και ρεύματος έγιναν πάλι για το πολυκρυσταλλικό πάνελ αφού είναι το μόνο που έχει ακροδέκτες. Γενικά είχαμε αίθριες καιρικές συνθήκες. Κατά περιόδους υπήρξαν ελάχιστες αραιές νεφώσεις αλλά για ελάχιστο χρονικό διάστημα το πολύ ενός-δύο λεπτών που δεν επηρέασε πολύ τις μετρήσεις μας λόγω της γρήγορης απόκρισης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Η διαδικασία έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα για αυτό το πείραμα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά για την πρώτη ώρα, ανά 10 λεπτά την δεύτερη και ανά 15 για τις υπόλοιπες 4 ώρες.

Πίνακας 4.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. pSi (°C)	Μέση Θερμ. aSi (°C)
1	0	108	0.8	12.4	15.7
2	5	569	3.1	20.8	26.2
3	10	568	3.61	22.4	28.9
4	15	562	3.44	23.3	29.3
5	20	561	3.61	25.6	30.9
6	25	559	4.09	26.4	31.8
7	30	560	4.08	25.9	31.2
8	35	560	3.93	27.5	33
9	40	558	3.76	24.5	30.3
10	45	560	3.42	25.5	30
11	50	560	3.64	27.3	31.8
12	55	558	3.5	24.1	29.4
13	60	564	3.14	22.3	28
14	70	560	2.9	23.7	29.8
15	80	557	3.15	24.2	30.5
16	90	559	4.18	25.9	30.4
17	100	553	3.95	24.6	30.9
18	110	559	3.92	26.6	31.6
19	120	558	3.3	25.6	30.8
20	135	554	3.82	27.3	31.8
21	150	554	3.72	27.8	31.9
22	165	560	4.12	25.7	31.5
23	180	557	4	28.3	32
24	195	561	3.85	27.4	31.4
25	210	558	4	27.6	31.8
26	225	557	4.16	29.5	33.8
27	240	555	3.51	27.8	32.4
28	255	557	3.9	28.4	32.7
29	270	561	4.11	23.9	28.7

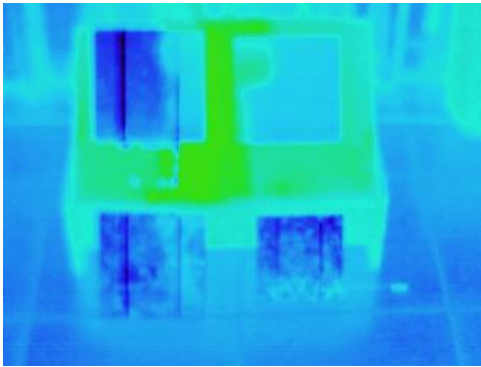
30	285	562	3.28	26.5	28.6
31	300	561	3.78	22.1	26.9
32	315	563	3.77	23.3	27.9
33	330	557	2.78	24.2	28.7
34	345	561	3.17	22.1	26.8
35	360	556	2.35	21.6	27

Πίνακας 4.2

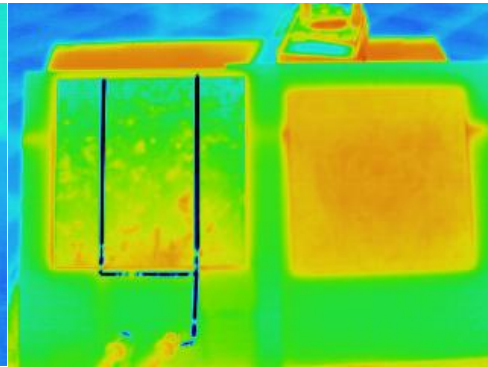
Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Μέση Θερμ. pSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.2 (°C)
		1	0	9.6	14.8	11.5	14.4	17	15.4
2	5	19.2	19	22.4	22.7	26.4	26.2	26.1	26.1
3	10	20.8	21.3	23.5	24.6	29.1	29.3	28.3	28.8
4	15	21.3	22.1	23.9	26.9	29.7	29.8	28.6	29.1
5	20	23.1	25	25.3	29	31.3	32	29.6	30.5
6	25	24.4	25.1	26.2	27.8	32.4	32.5	31	31.3
7	30	24.1	25.1	26.2	27.8	31.7	31.8	30.4	30.9
8	35	25.2	26.8	27.4	30.4	33.6	34	31.7	32.5
9	40	22.7	24.4	24.5	26	30.9	31.3	29.1	29.9
10	45	23.7	24.6	26	27.9	30.8	30.2	29.6	29.4
11	50	24.7	26.2	27.3	30.8	32.4	32.4	31	31.3
12	55	22.4	23.3	24.4	26	30.1	30	28.4	29.1
13	60	20.4	22	22.5	24.2	28.4	28.8	26.7	27.7
14	70	21.9	23.2	24.2	25.5	30.1	30.7	28.8	29.7
15	80	22.5	23.4	25	26.1	30.9	30.9	29.5	30.3
16	90	24.2	24.8	26.6	27.8	31.1	30.9	29.8	30.4
17	100	23.2	24.2	25.3	26.1	31.5	32	29.8	30.6
18	110	24.9	25.6	27.3	28.5	32.5	32.2	31	31.3
19	120	24.1	24.4	26.6	27.1	31.5	31.5	30	30.5
20	135	26.2	26.2	28.3	28.4	32.8	32.1	31.3	31.2
21	150	27	26.7	28.9	28.8	33.3	32.2	31.8	31.2
22	165	24.7	25.1	26.5	27	32.5	32.1	30.9	30.8
23	180	26.8	26.8	29.5	29.9	33.1	32.2	31.7	31.2
24	195	26.1	25.8	28.9	29.2	32.6	31.4	31.5	30.7
25	210	27	26	29	28.5	33.1	32.1	31.7	31.2
26	225	28.5	28.1	30.5	30.7	35.2	34.4	33.1	32.9
27	240	27.5	26.5	28.8	28.6	33.5	32.9	32	31.7
28	255	27.8	27	29.7	29.6	33.8	33.2	32.2	32
29	270	23.1	22.7	24.8	24.8	29.4	29.3	28.2	28.5

30	285	25.8	25.1	28	27.5	30.5	28.3	28.8	27.3
31	300	21.2	20.6	23.4	23	27.4	27.5	26.1	26.7
32	315	22.4	21.5	24.9	24.3	28.5	28.1	27.4	27.7
33	330	23.5	23	25.6	25.2	29.1	29.2	28.1	28.6
34	345	21.1	20.8	23.5	23.2	27.1	27.2	26.2	26.7
35	360	20.8	20.3	22.7	22.4	26.5	27.5	25.5	28.5

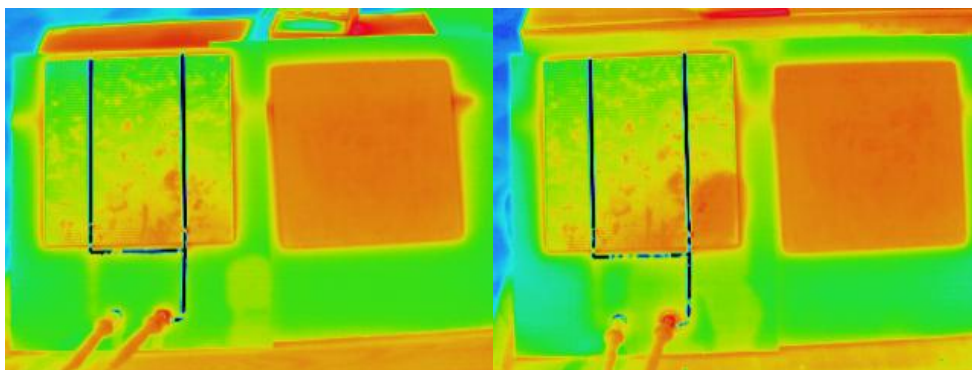
Παρακάτω θα δούμε τις θερμικές εικόνες που τραβήχτηκαν από τη θερμική κάμερα για αυτό το σετ μετρήσεων. Η επεξεργασία των εικόνων αυτών έγινε όπως και στα άλλα πειράματα με το Micro Spec 4.0 της Imprac. Όποια συμπεράσματα προκύπτουν από την συσχέτιση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας αυτής και των μετρήσεων θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.



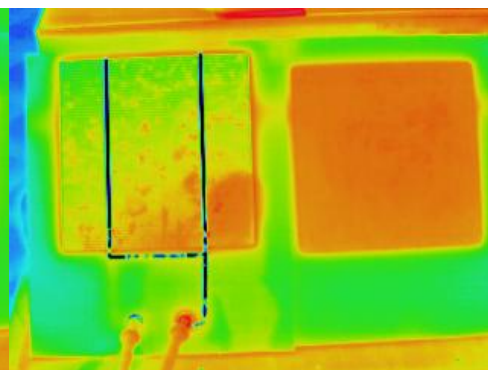
Εικόνα 4.1



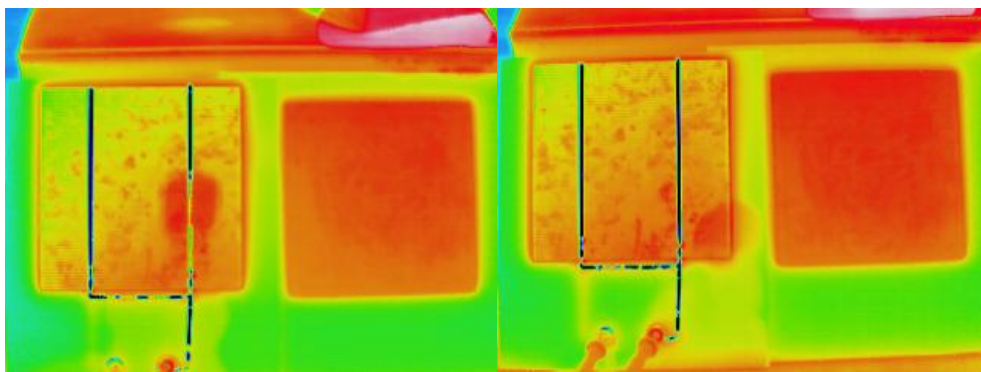
Εικόνα 4.2



Εικόνα 4.3

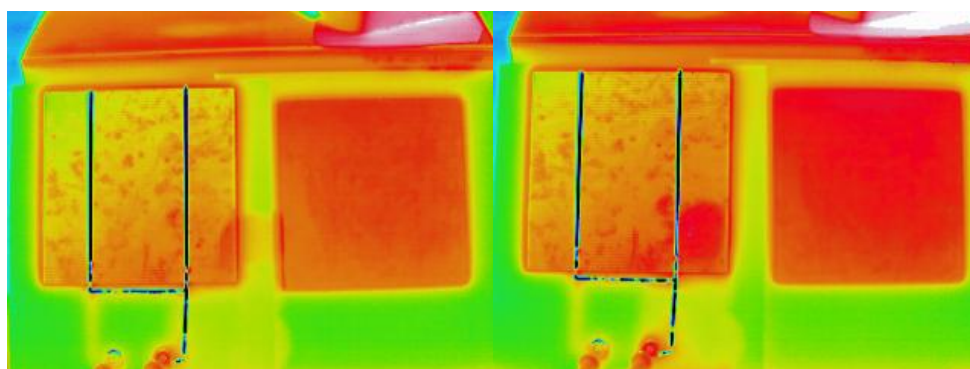


Εικόνα 4.4



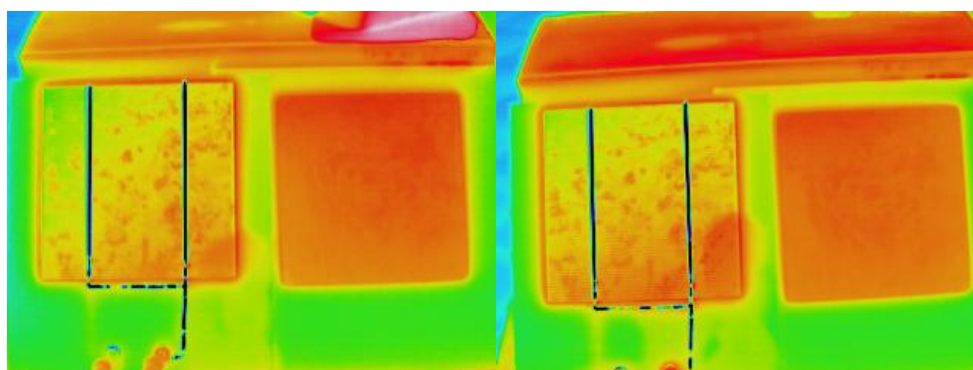
Εικόνα 4.5

Εικόνα 4.6



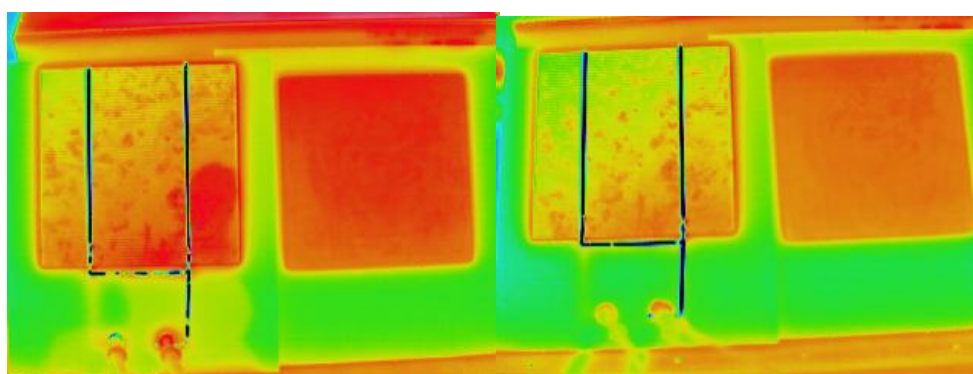
Εικόνα 4.7

Εικόνα 4.8



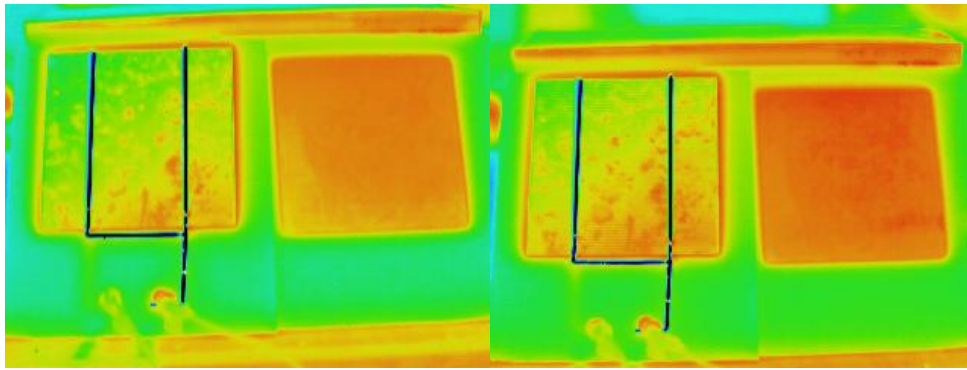
Εικόνα 4.9

Εικόνα 4.10



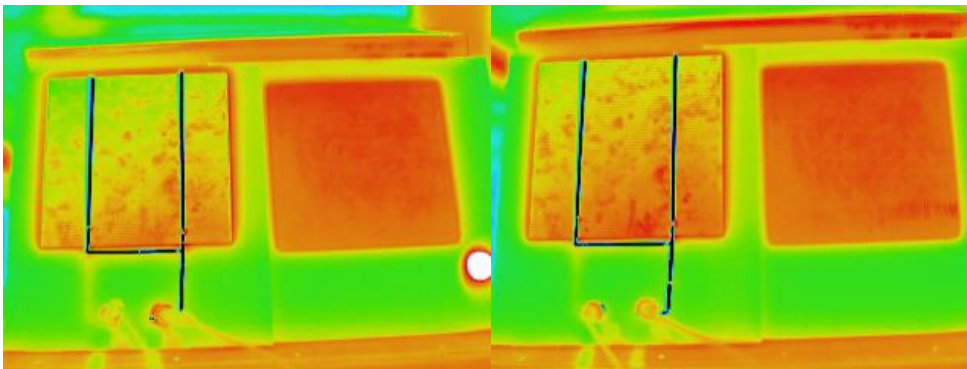
Εικόνα 4.11

Εικόνα 4.12



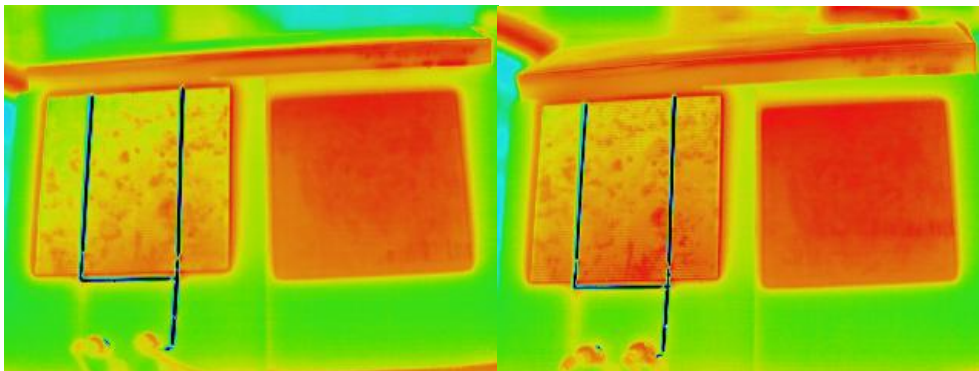
Εικόνα 4.13

Εικόνα 4.14



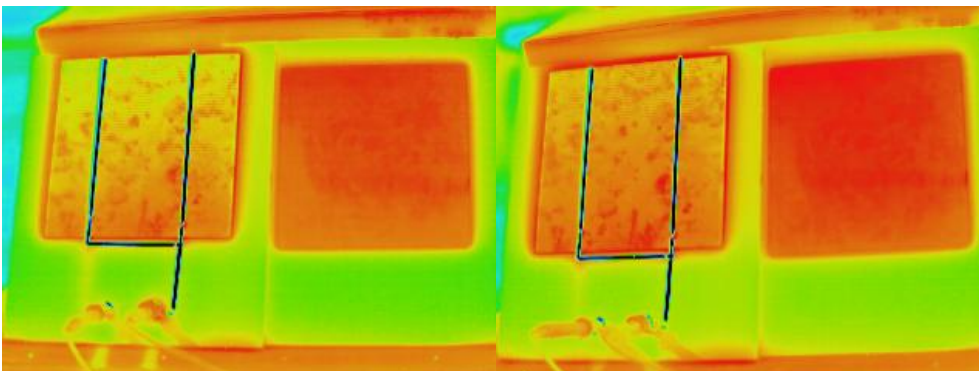
Εικόνα 4.15

Εικόνα 4.16



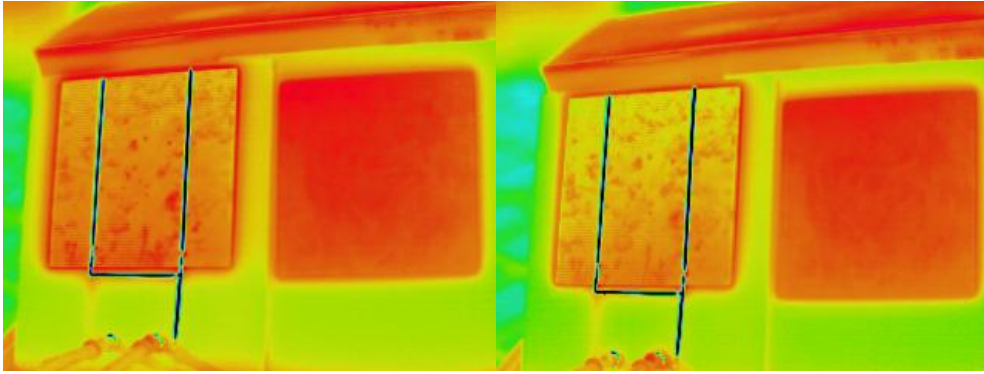
Εικόνα 4.17

Εικόνα 4.18



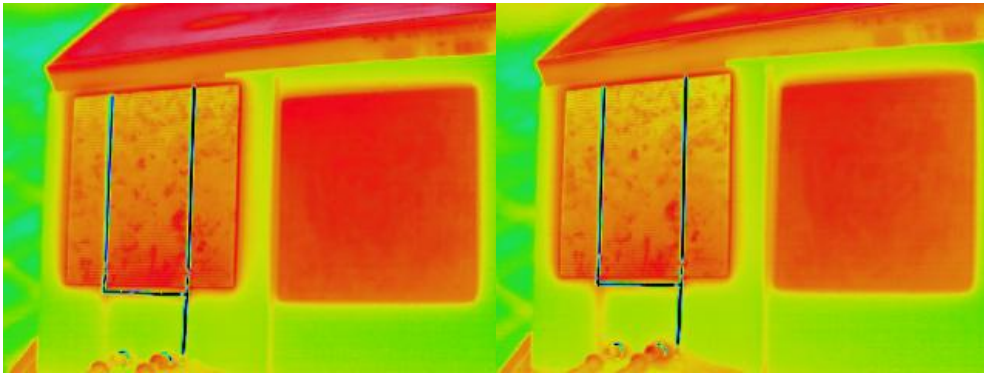
Εικόνα 4.19

Εικόνα 4.20



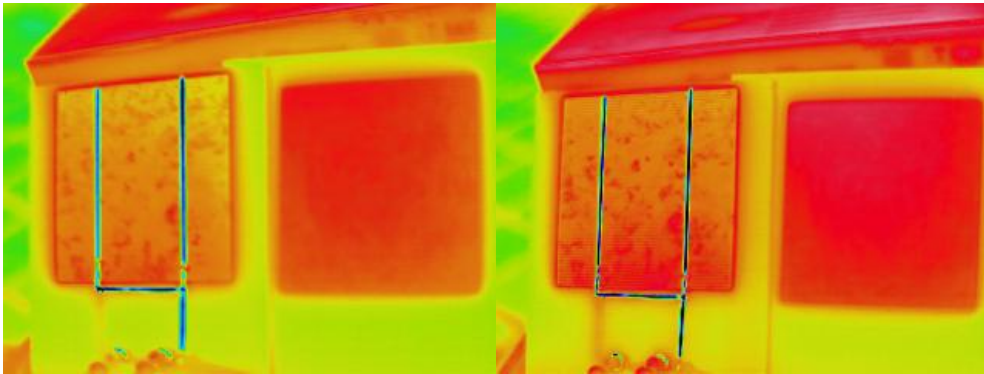
Εικόνα 4.21

Εικόνα 4.22



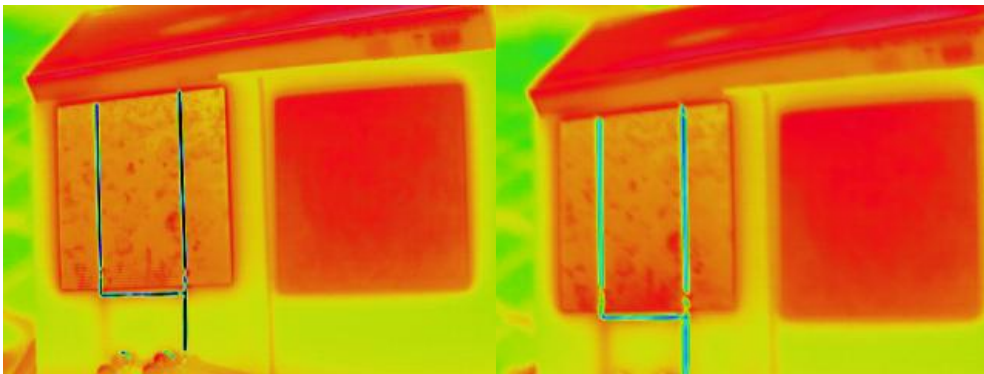
Εικόνα 4.23

Εικόνα 4.24



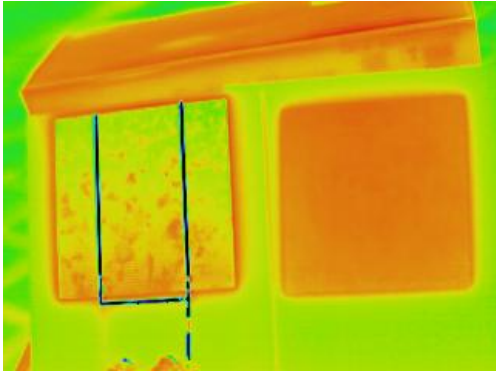
Εικόνα 4.25

Εικόνα 4.26

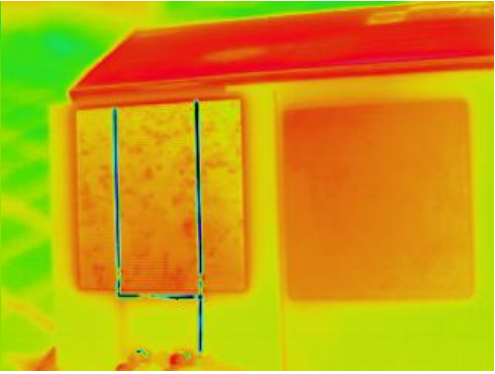


Εικόνα 4.27

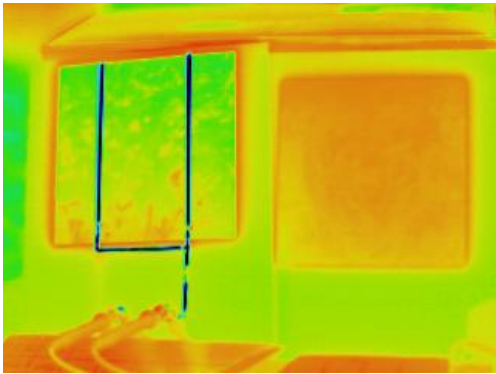
Εικόνα 4.28



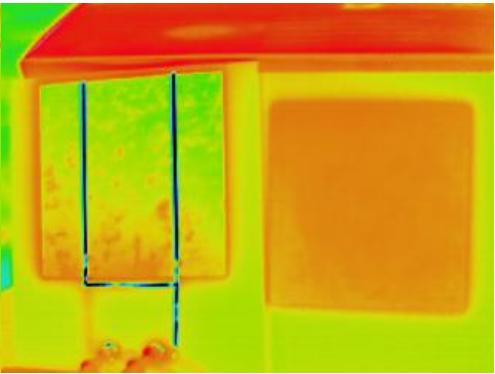
Εικόνα 4.29



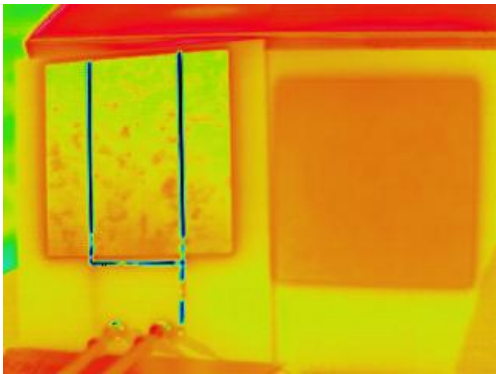
Εικόνα 4.30



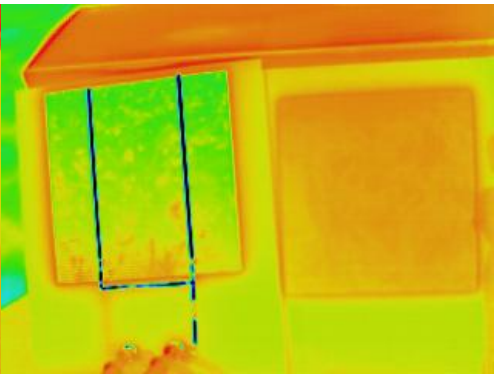
Εικόνα 4.31



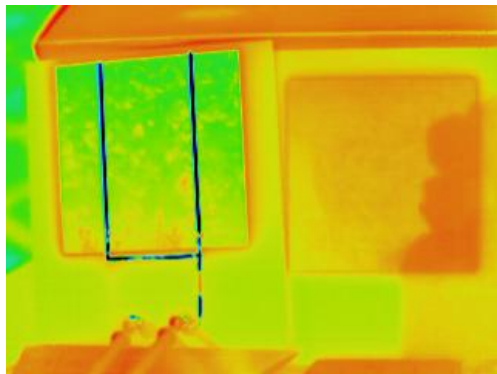
Εικόνα 4.32



Εικόνα 4.33



Εικόνα 4.34



Εικόνα 4.35

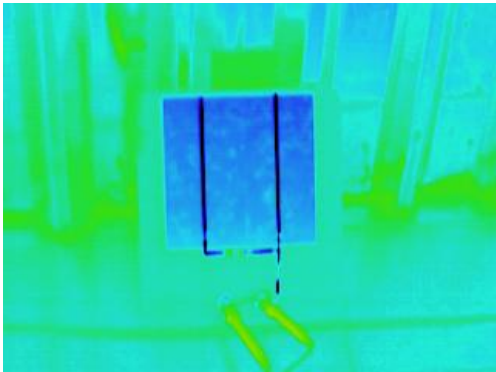
4.2.5 : Σετ μετρήσεων #5 – Τρίτη 05/06/2012

Στο τελευταίο πείραμα-σετ μετρήσεων μας λήφθηκαν φωτογραφίες μόνο από το πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό. Η διάρκεια ήταν 2 ώρες και 45 λεπτά (10 το πρωί με 12:45 το μεσημέρι). Όπως συνέβη και στα προηγούμενα πειράματα, έτσι και σε αυτό κρατήθηκαν μετρήσεις τάσης και ρεύματος του πάνελ από τους ακροδέκτες που έχει για αυτό το σκοπό. Ο καιρός είχε γενικά αρκετές αυξομειώσεις, με αραιή και αρκετή συννεφιά αλλά με περισσότερη ώρα να υπάρχει ηλιοφάνεια. Η διαδικασία έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1 (βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν ένα δείγμα κάθε 5 λεπτά για τις πρώτες 2 ώρες ενώ για τα υπόλοιπα 45 λεπτά ήταν κάθε 15'.

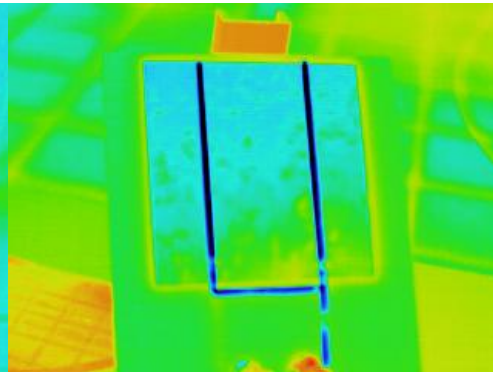
Πίνακας 5.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. (°C)	Μέση Θερμ. 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. 2.2 (°C)
1	0	27	0.44	15	14.4	14.1	16.1	15.8
2	5	565	2.24	20.3	18.8	19.5	21	22.3
3	10	555	1.8	21.8	20.2	21.2	22.4	23.9
4	15	556	2	23.7	21.6	23.3	24	26.3
5	20	556	2.18	23.6	21.6	23.2	23.7	25.9
6	25	552	2.72	24.2	22.2	23.6	24.4	26.6
7	30	552	2.32	24.1	22.3	24	24.3	26.4
8	35	552	3.02	23.4	21.5	23.4	23.5	25.8
9	40	555	2.8	23.8	21.5	23.8	23.6	26.4
10	45	552	2.11	25.5	22.8	25.1	25.5	28.7
11	50	540	2.05	26.4	24.6	26.7	26.6	27.7
12	55	554	2.9	26.6	23.8	26.4	27.2	29.4
13	60	555	2.3	25.2	23.5	24.9	25.5	27
14	65	547	2.51	25.6	23.8	24.9	26	27.6
15	70	550	2.81	27.6	25.2	26.8	27.8	30.5
16	75	542	2.95	30.3	28.1	29.4	30.6	32.8
17	80	549	3.05	26.9	24.7	25.9	27.3	29.6
18	85	544	2.86	29.4	27.1	28.8	29.6	31.9
19	90	552	2.45	26.2	24.2	25.6	26.6	28.3
20	95	551	3.2	27.7	25.6	26.9	28.1	30.2
21	100	553	3.1	28.5	26.2	28	28.7	31.1
22	105	553	2.9	27.7	25.5	26.8	28.1	30.2
23	110	552	2.7	28.7	26.5	27.9	28.9	31.2
24	115	551	2.92	28.6	26.3	28	29	31
25	120	552	3.28	27	24.7	26.2	27.4	29.3
26	135	548	2.7	32.8	30.9	32	33.2	35.2
27	150	551	2.2	34.8	32.7	34.1	35.1	37.3
28	165	530	1.84	22.8	21	22	23.6	24.7

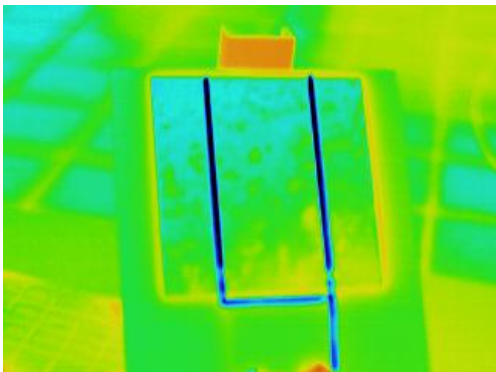
Παρακάτω θα δούμε τις θερμικές εικόνες που τραβήχτηκαν από τη θερμική κάμερα για το τελευταίο σετ μετρήσεων. Η επεξεργασία των εικόνων αυτών έγινε όπως και στα άλλα πειράματα με το Micro Spec 4.0 της Imprac. Όποια συμπεράσματα προκύπτουν από την συσχέτιση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας αυτής και των μετρήσεων θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.



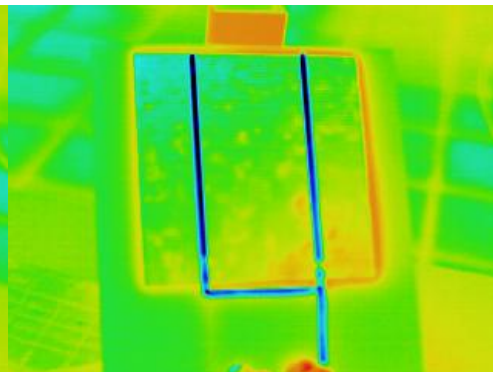
Εικόνα 5.1



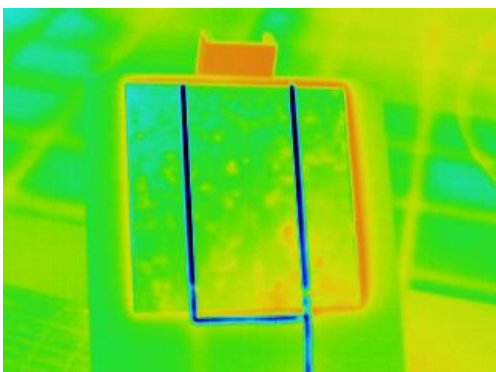
Εικόνα 5.2



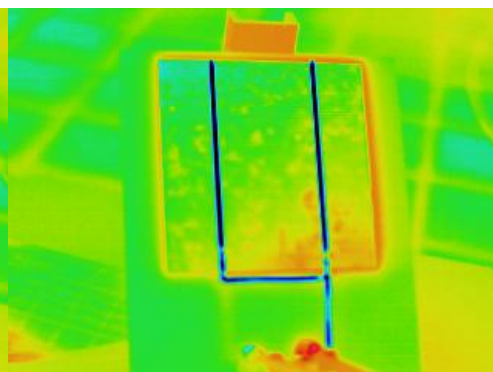
Εικόνα 5.3



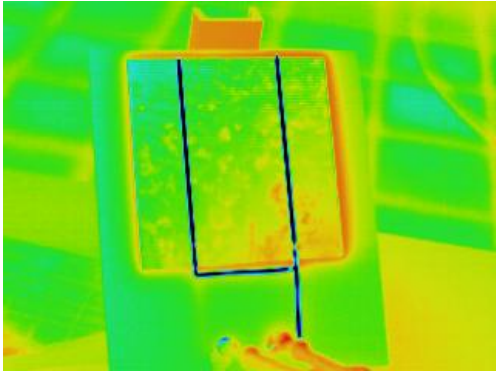
Εικόνα 5.4



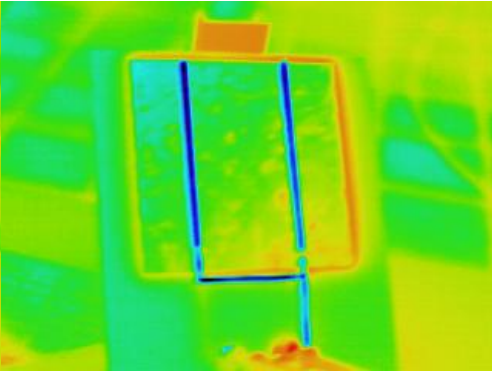
Εικόνα 5.5



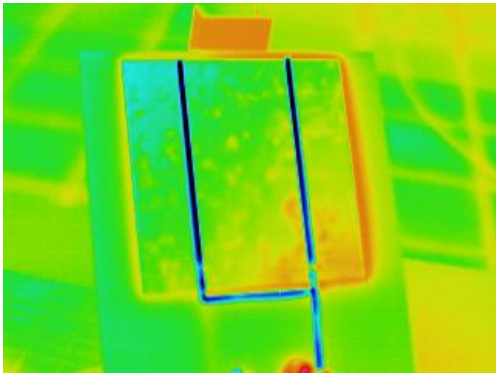
Εικόνα 5.6



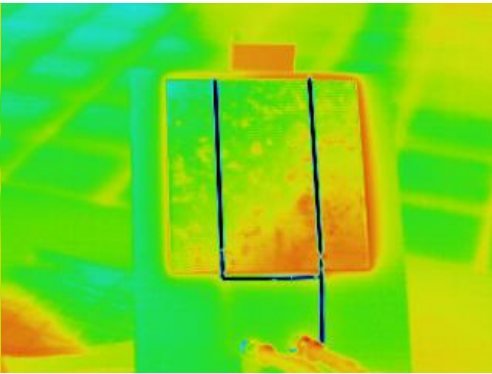
Εικόνα 5.7



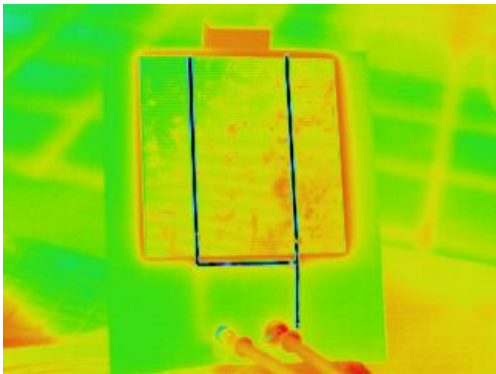
Εικόνα 5.8



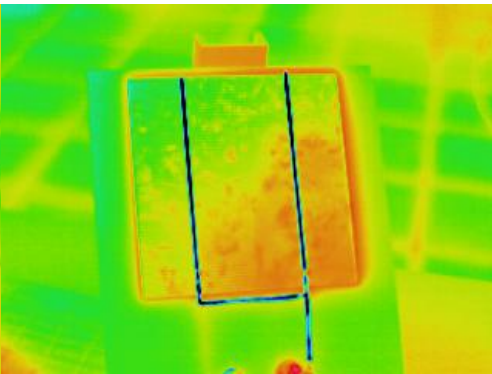
Εικόνα 5.9



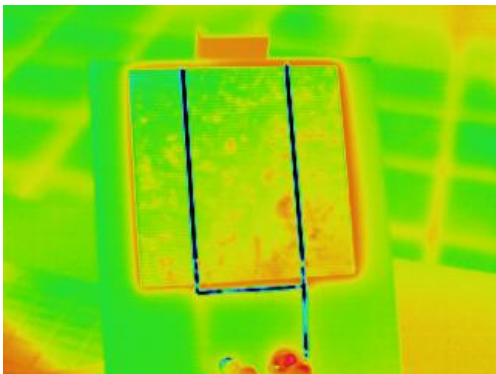
Εικόνα 5.10



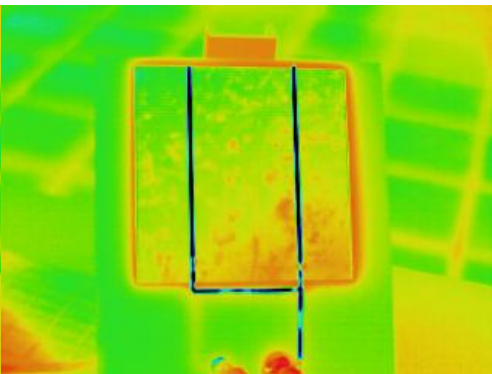
Εικόνα 5.11



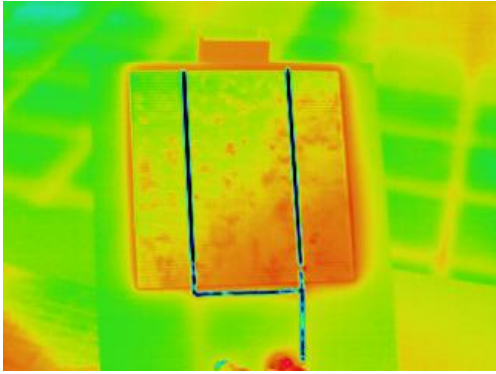
Εικόνα 5.12



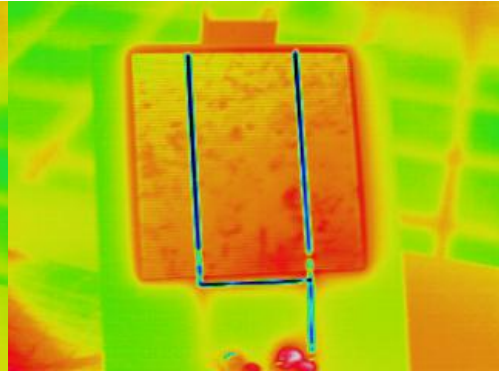
Εικόνα 5.13



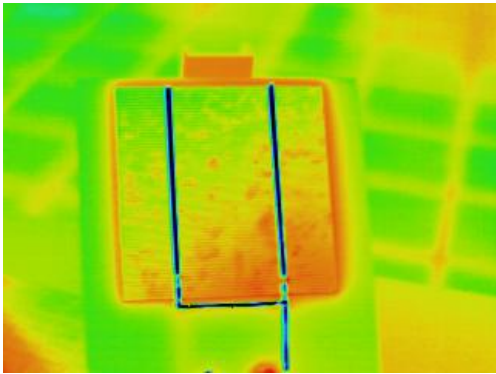
Εικόνα 5.14



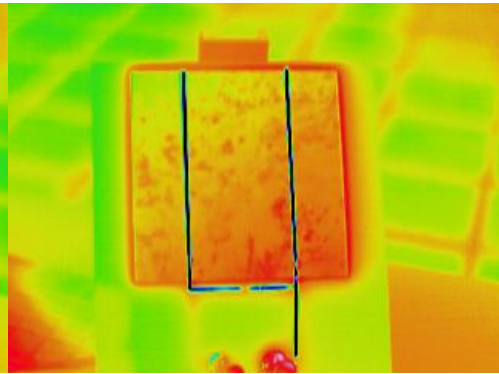
Εικόνα 5.15



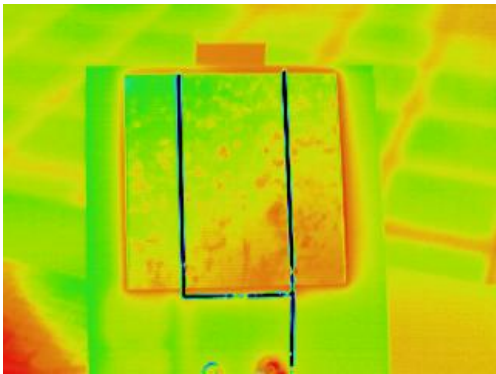
Εικόνα 5.16



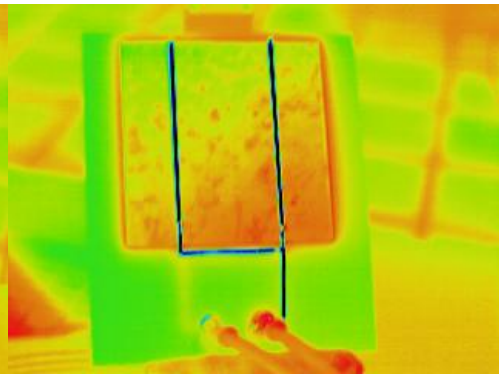
Εικόνα 5.17



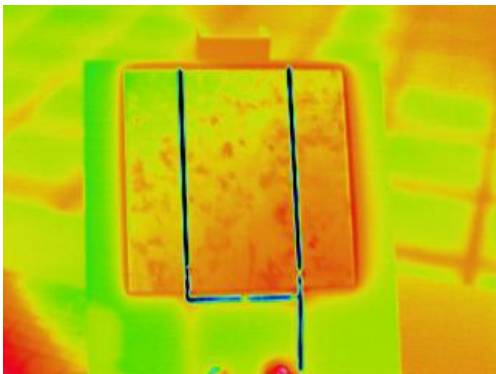
Εικόνα 5.18



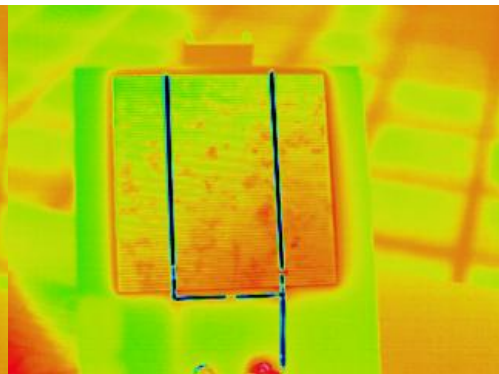
Εικόνα 5.19



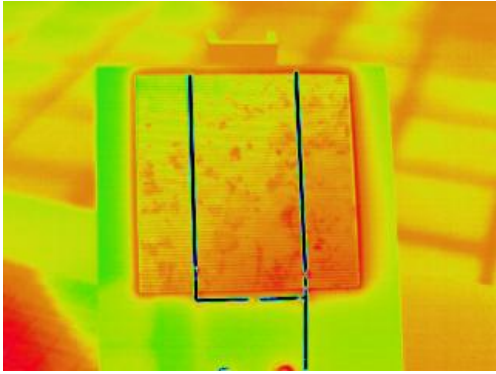
Εικόνα 5.20



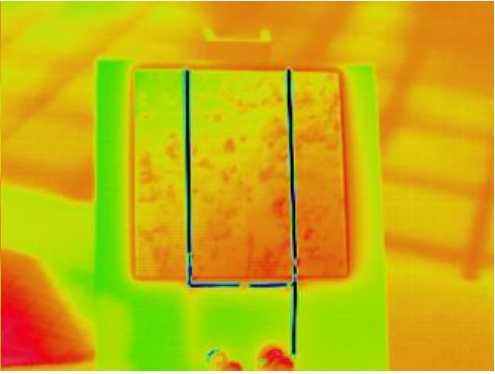
Εικόνα 5.21



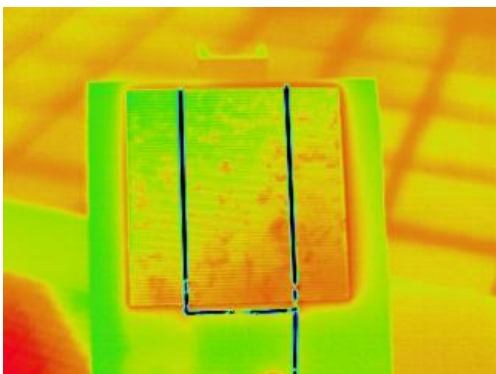
Εικόνα 5.22



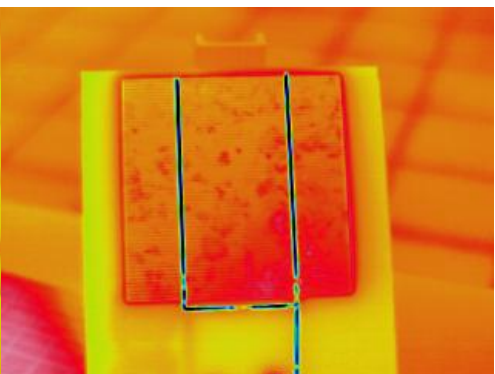
Εικόνα 5.23



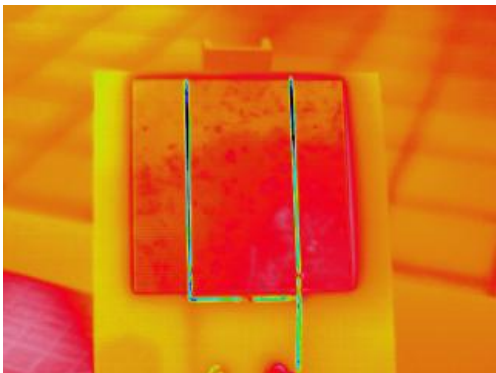
Εικόνα 5.24



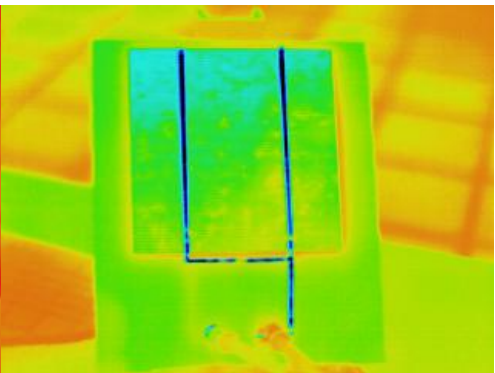
Εικόνα 5.25



Εικόνα 5.26



Εικόνα 5.27



Εικόνα 5.28

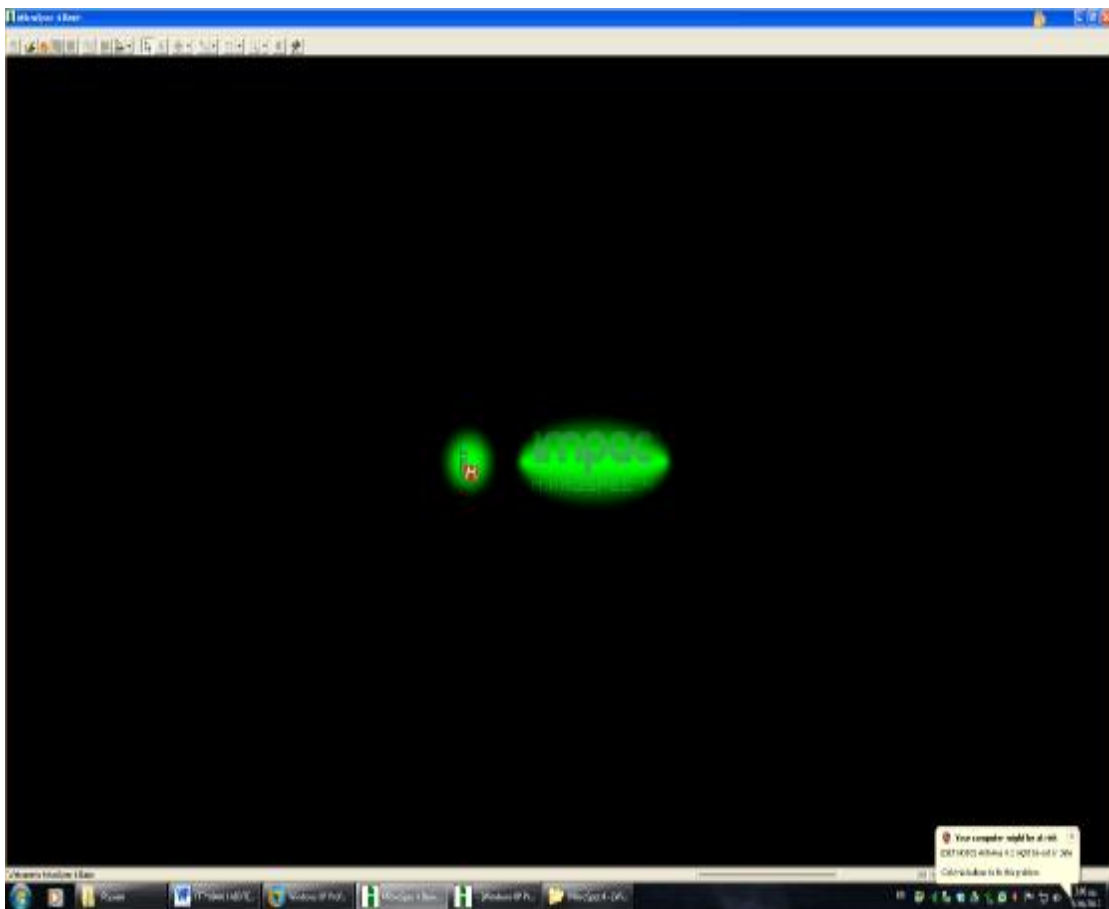
4.3 : Εξαγωγή και επεξεργασία δεδομένων – Γραφήματα

Μετά την παρουσίαση των μετρήσεων και των εικόνων όλων των πειραμάτων στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε παρακάτω την ανάλυση των αποτελεσμάτων που είχαμε. Όπως εξηγήθηκε συνοπτικά στο κεφάλαιο 4.1(σελ. 18) οι εικόνες επεξεργάστηκαν κατάλληλα για να γίνει εξαγωγή στοιχείων από αυτές και συγκεκριμένα αυτό της μέσης θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και της μέσης θερμοκρασίας των τεσσάρων τεταρτημορίων.

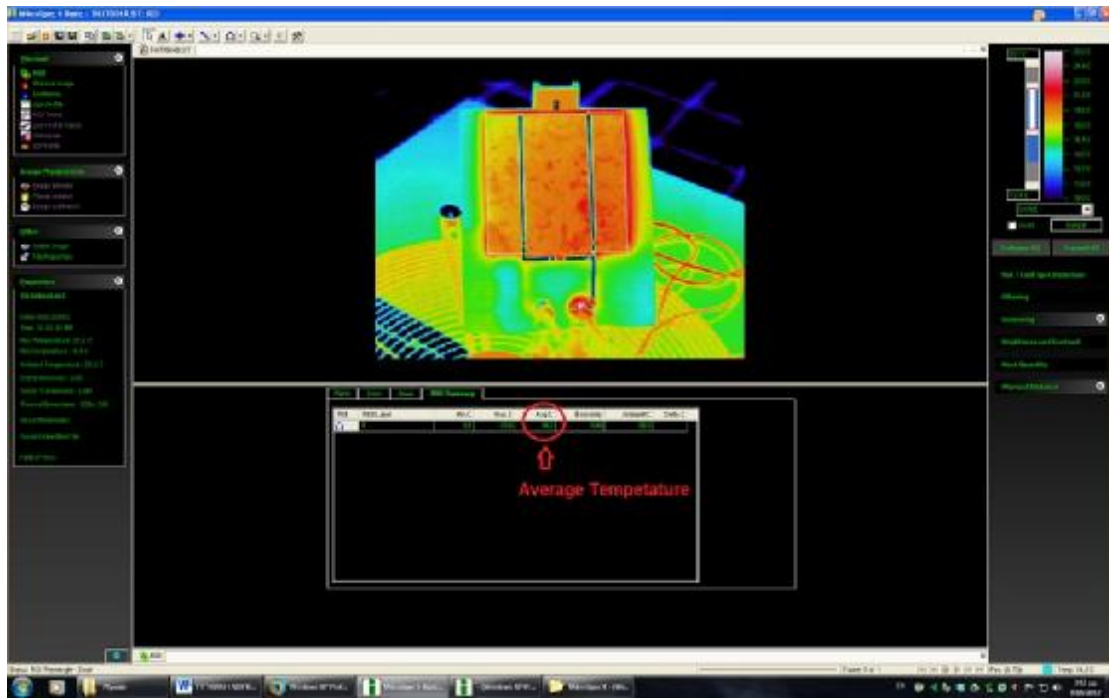
Για αυτό το σκοπό προτιμήσαμε να χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα που συνόδευε την συσκευασία της θερμικής κάμερας. Αυτό είναι το Micro Spec 4.0 της Imprac. Με μία απλή διαδικασία επιλογής συγκεκριμένου χώρου της φωτογραφίας επιλέγαμε το πάνελ και το πρόγραμμα από μόνο του μας έλεγε της μέση θερμοκρασία αυτής της περιοχής που προφανώς ταυτίζεται με ηλιακό πάνελ.

Στη συνέχεια κάναμε την ίδια διαδικασία επιλέγοντας τώρα όμως 4 περιοχές του πάνελ μέσα στη φωτογραφία. Αυτές των τεσσάρων τεταρτημορίων με σειρά και αρίθμηση όπως έχει αναφερθεί στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου 4.

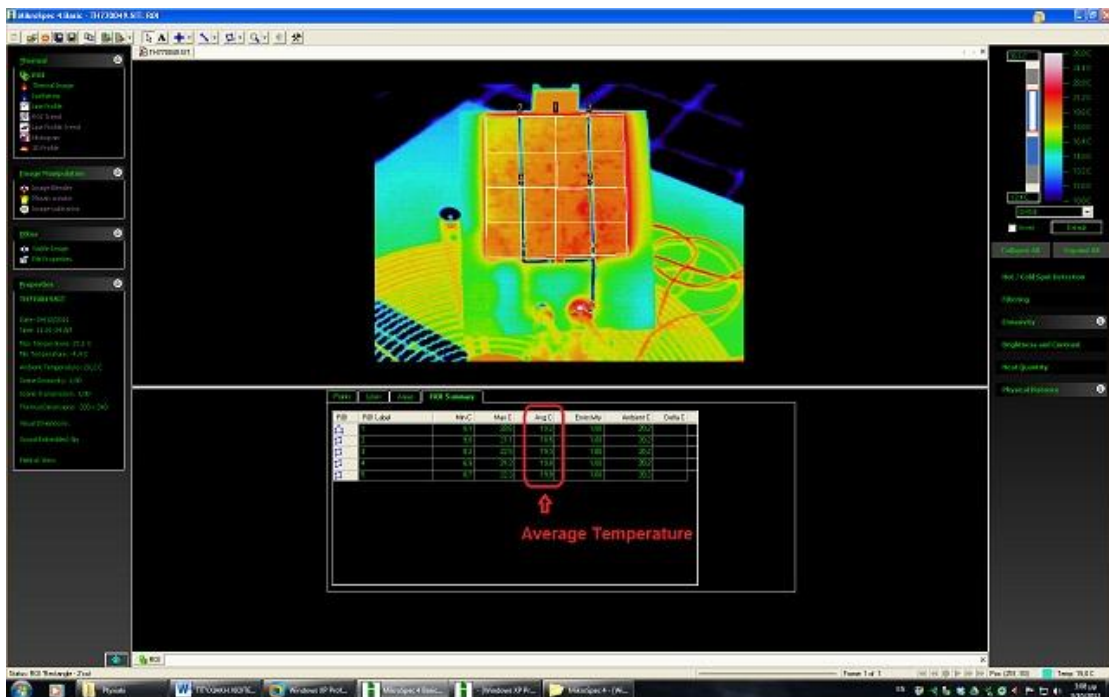
Αυτή λοιπόν ήταν η εξαγωγή του μοναδικού στοιχείου που πήραμε από την θερμική εικόνα και ήταν αυτό που μας ένοιαζε περισσότερο. Αυτή λοιπόν η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε για όλες τις 148 εικόνες των πέντε πειραμάτων.



Εικόνα 6.1 : Αρχικό περιβάλλον Micro Spec 4.0



Εικόνα 6.2 : Επεξεργασία θερμικής εικόνας. Επιλογή περιοχής ενδιαφέροντος με εστίαση μόνο στο ηλιακό πάνελ.



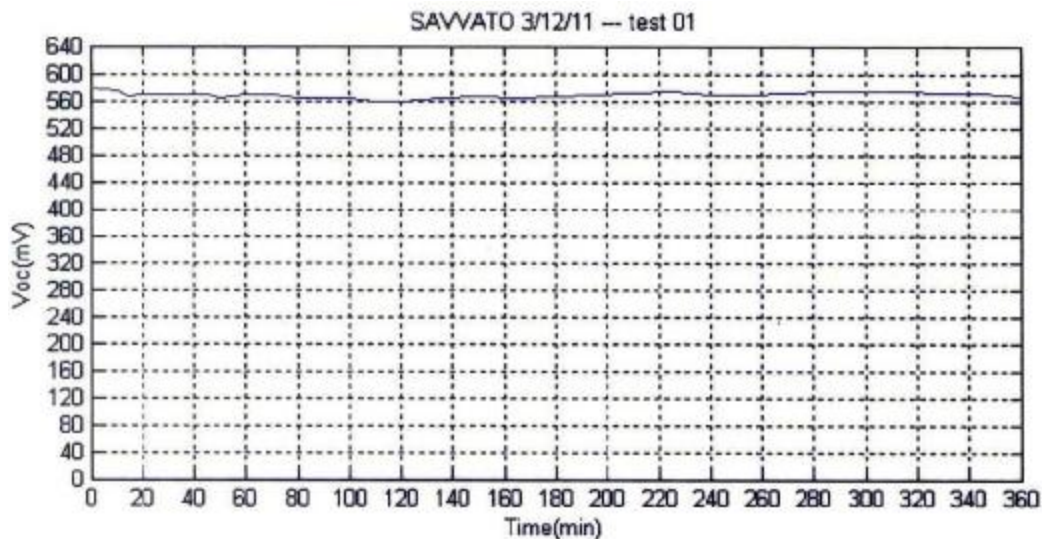
Εικόνα 6.3 : Επεξεργασία θερμικής εικόνας. Επιλογή περιοχών ενδιαφέροντος με εστίαση σε όλο το πάνελ αλλά και στα τέσσερα τεταρτημόρια του.

Επόμενο στάδιο της επεξεργασίας ήταν η σύνδεση των μετρήσεων μας κατά της διάρκειας των πειραμάτων, οι οποίες ήταν η μέτρηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος και η ένταση του ρεύματος βραχυκυκλώματος, και των δεδομένων που εξήχθησαν από της θερμικές εικόνες. Δηλαδή την μέση θερμοκρασία.

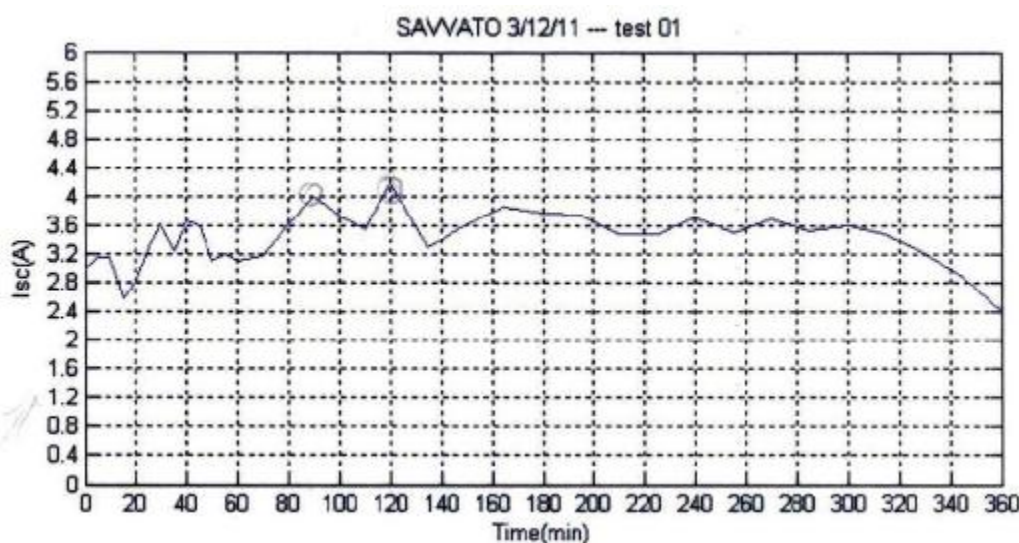
Η σύνδεση αυτή αρχικά έγινε με διαγράμματα ως προς το χρόνο ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε και συσχέτιση αυτών σε 3 κύρια διαγράμματα, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1 όπου γίνεται η ανάλυση των εργασιών μας. Πέρα από αυτή τη συσχέτιση έγινε και εικονική συσχέτιση με το ανθρώπινο μάτι για όποιο από τα διαγράμματα ήταν αυτό εύκολο και εμφανές σε μας. Τα διαγράμματα έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab 2012a και με τρόπο που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4.1.

Παρακάτω θα παρατεθούν όλα αυτά τα διαγράμματα προς ανάλυση και εξαγωγή όποιων συμπερασμάτων και διαπιστώσεων, για τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, τα οποία θα αναφερθούν αναλυτικά στο παρακάτω κεφάλαιο.

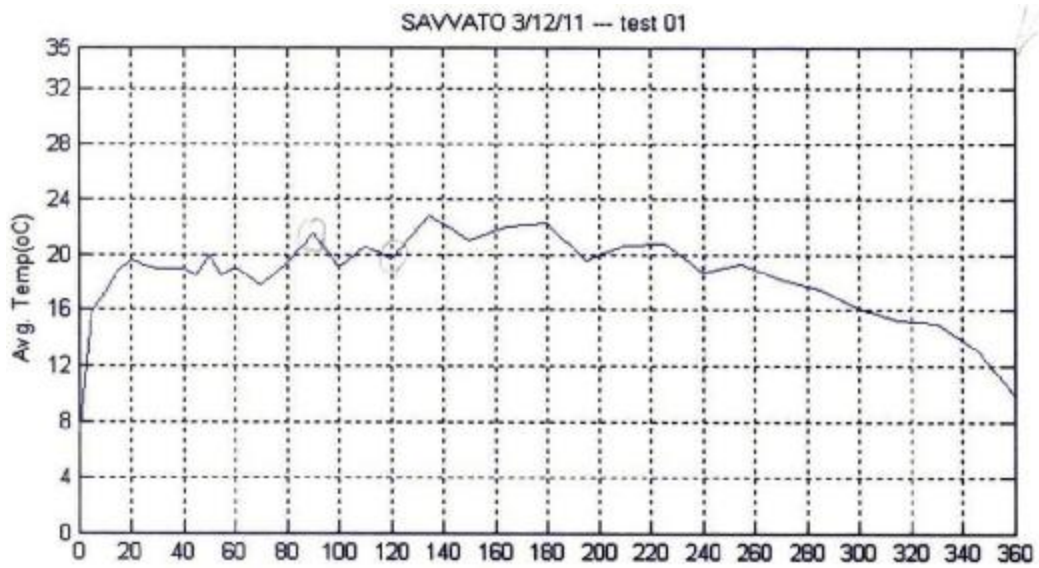
Έτσι λοιπόν για την πρώτη μέρα μετρήσεων έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα.



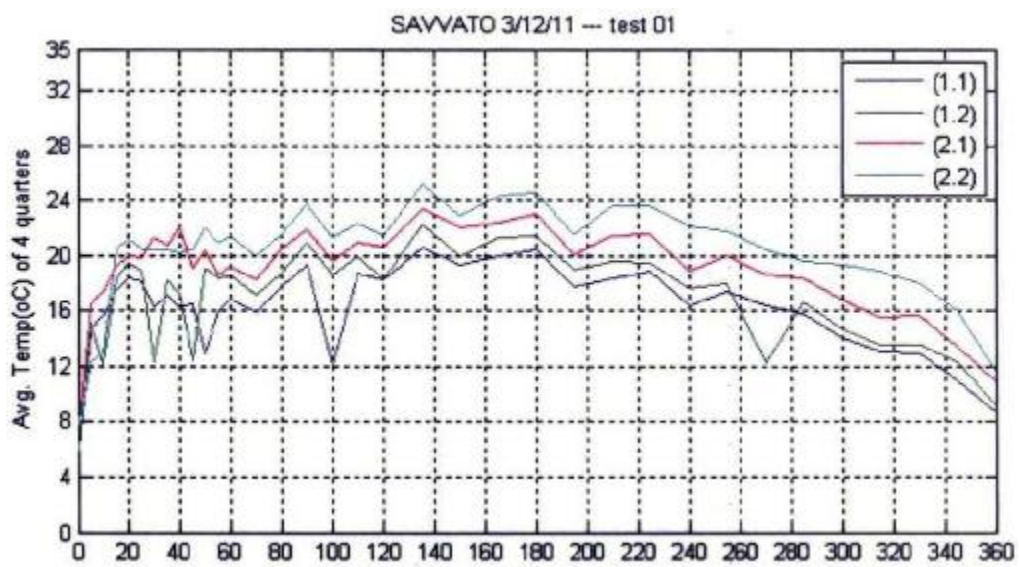
Εικόνα 6.4 : Διάγραμμα Voc(t) πρώτης μέρας μετρήσεων



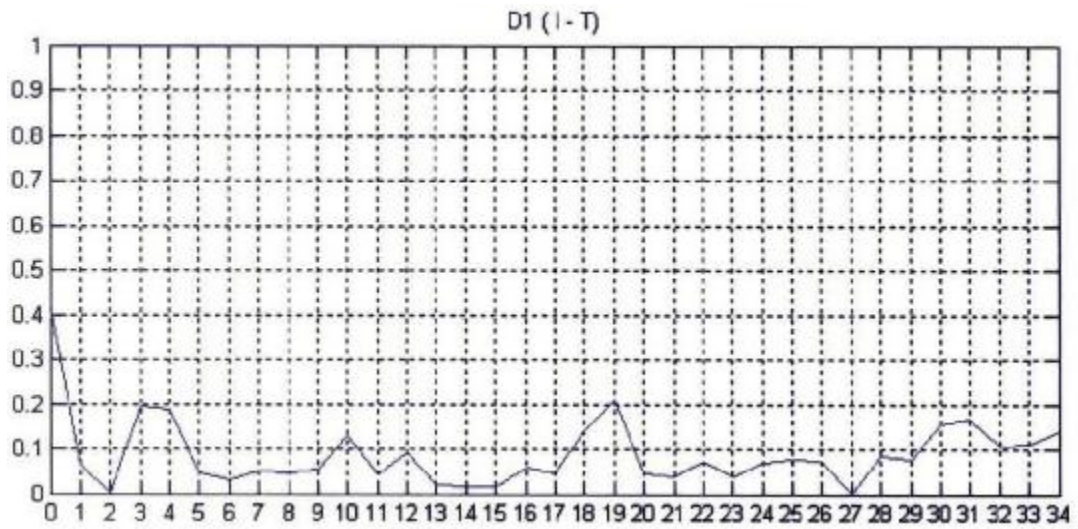
Εικόνα 6.5 : Διάγραμμα Isc(t) πρώτης μέρας μετρήσεων



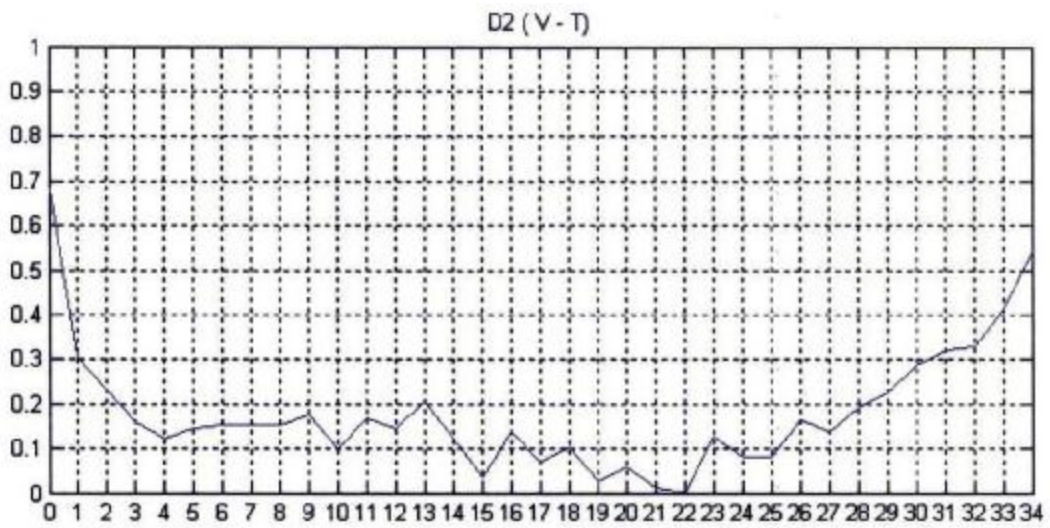
Εικόνα 6.6 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ πρώτης μέρας μετρήσεων



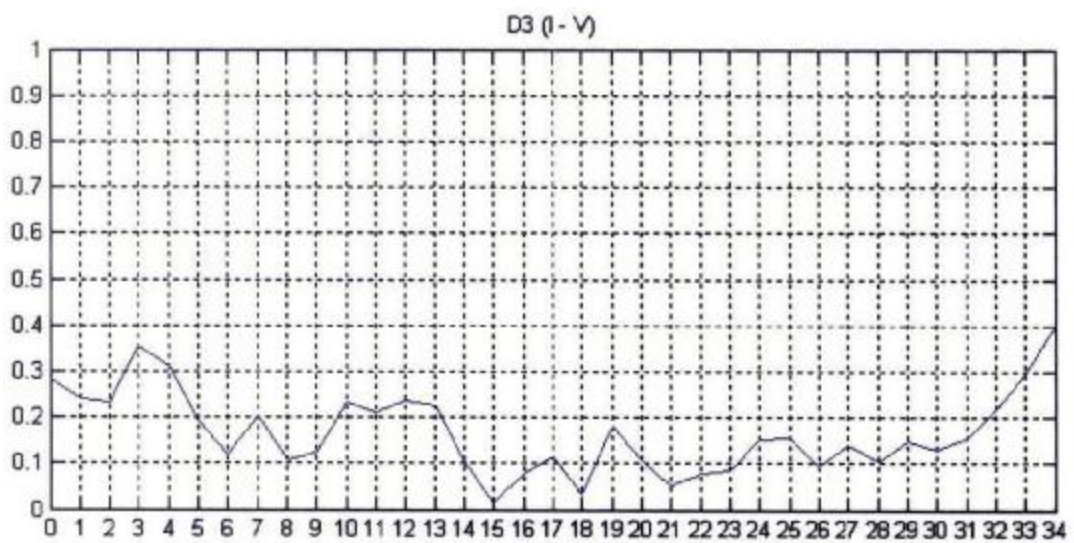
Εικόνα 6.7 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ πρώτης μέρας μετρήσεων



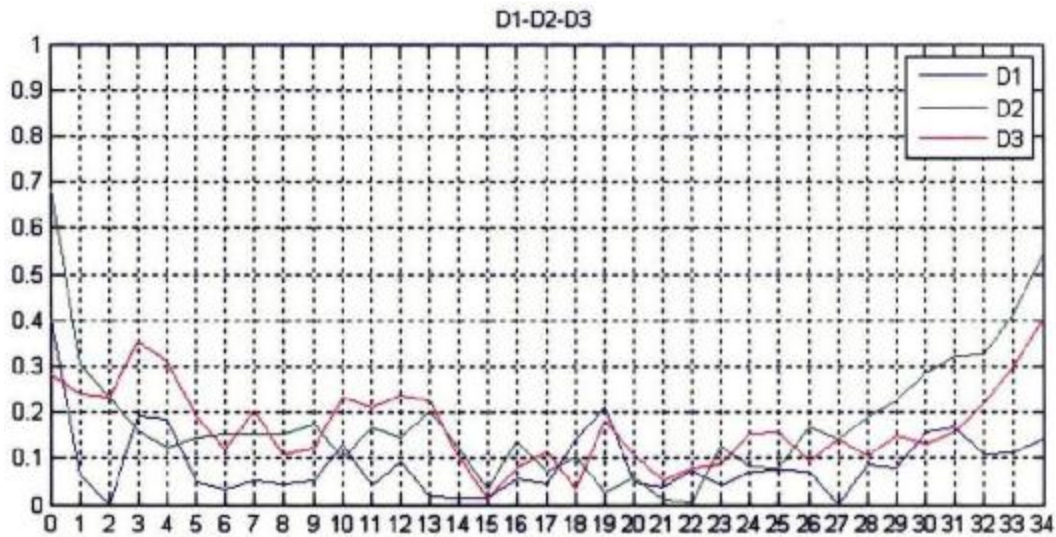
Εικόνα 6.8 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας πρώτης ημέρας



Εικόνα 6.9 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας πρώτης ημέρας

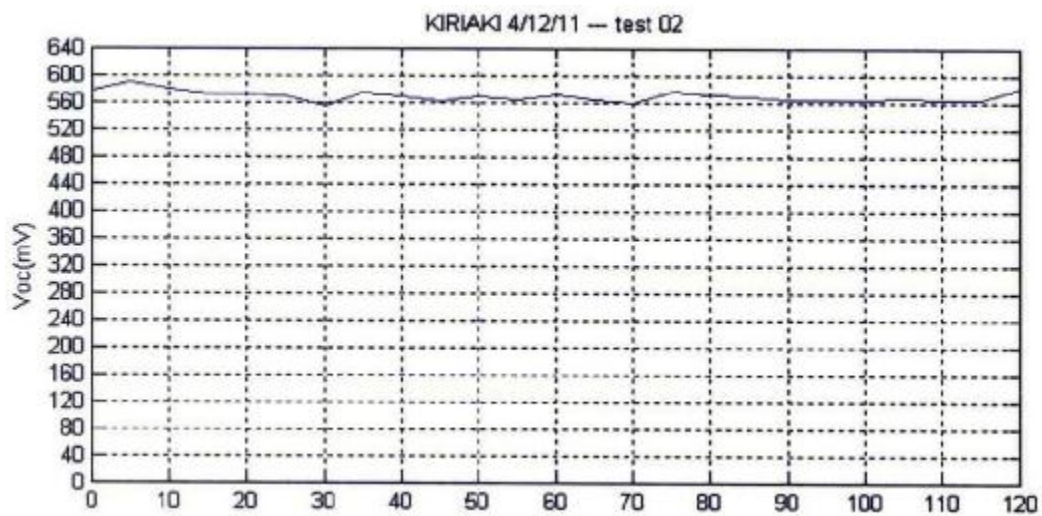


Εικόνα 6.10 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης πρώτης ημέρας

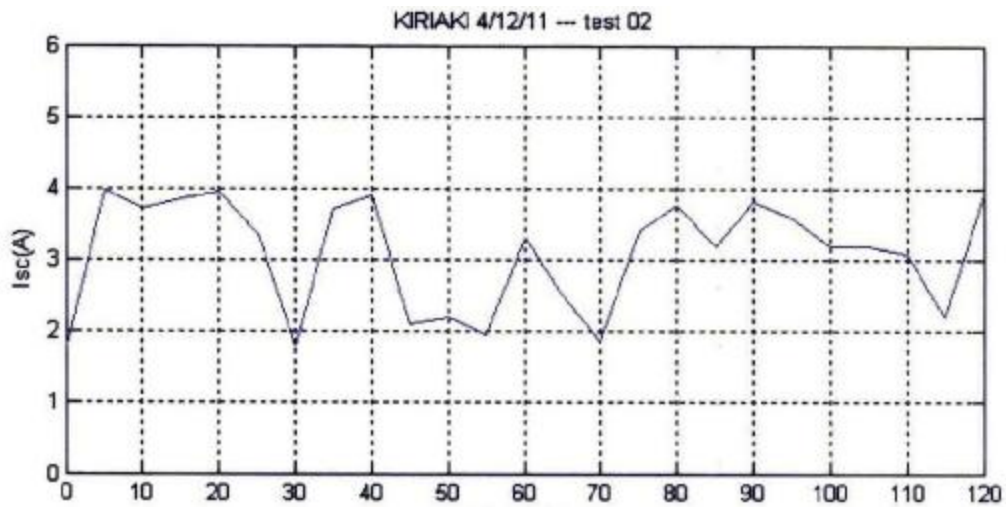


Εικόνα 6.11 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της πρώτης ημέρας

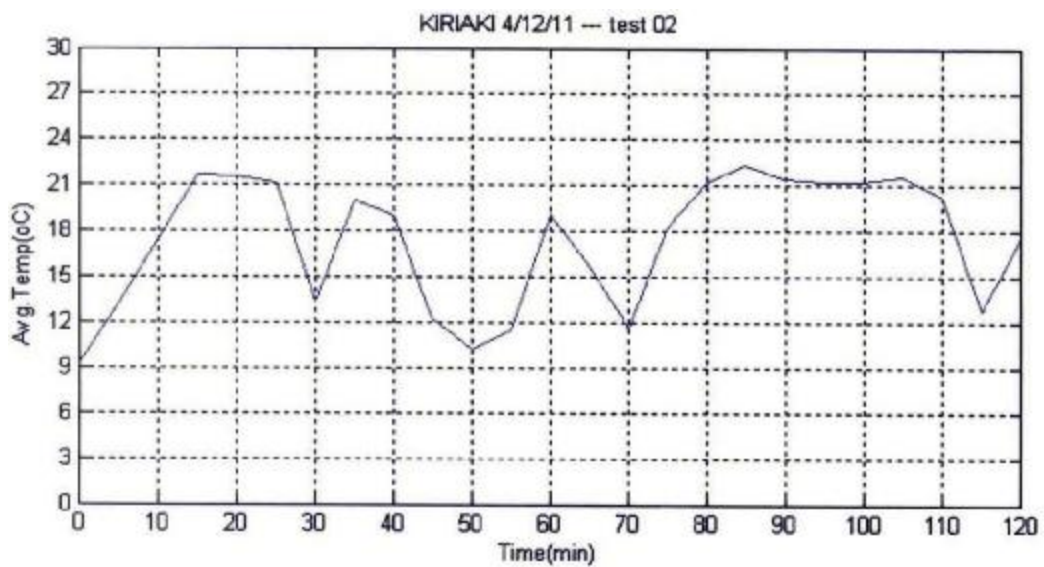
Αυτά ήταν τα διαγράμματα που πήραμε από την επεξεργασία των δεδομένων μας για το πρώτο πείραμα. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και της επεξεργασίας για το δεύτερο σετ μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε την Κυριακή 4 Δεκεμβρίου του 2012.



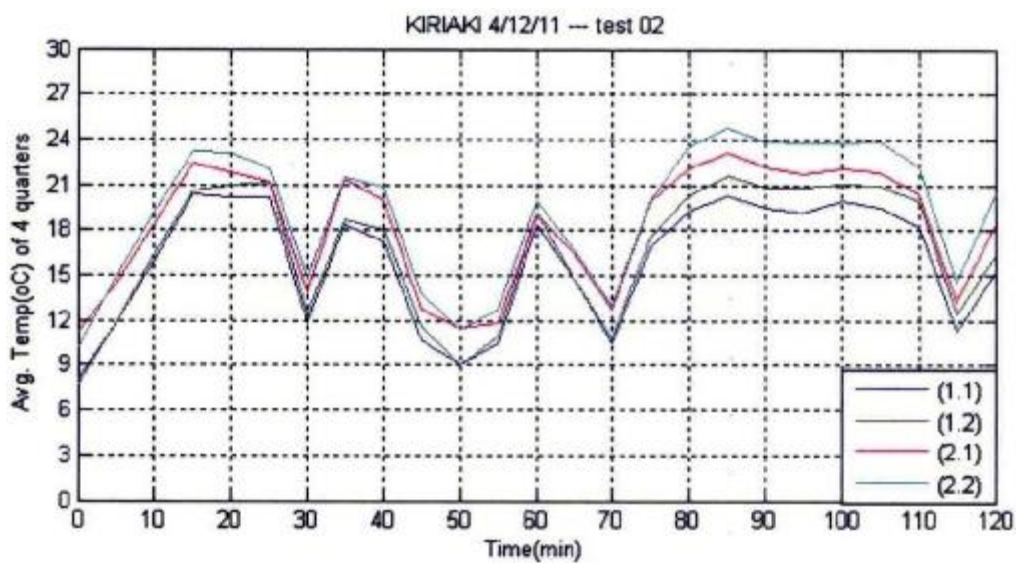
Εικόνα 6.12 : Διάγραμμα Voc(t) δεύτερης μέρας μετρήσεων



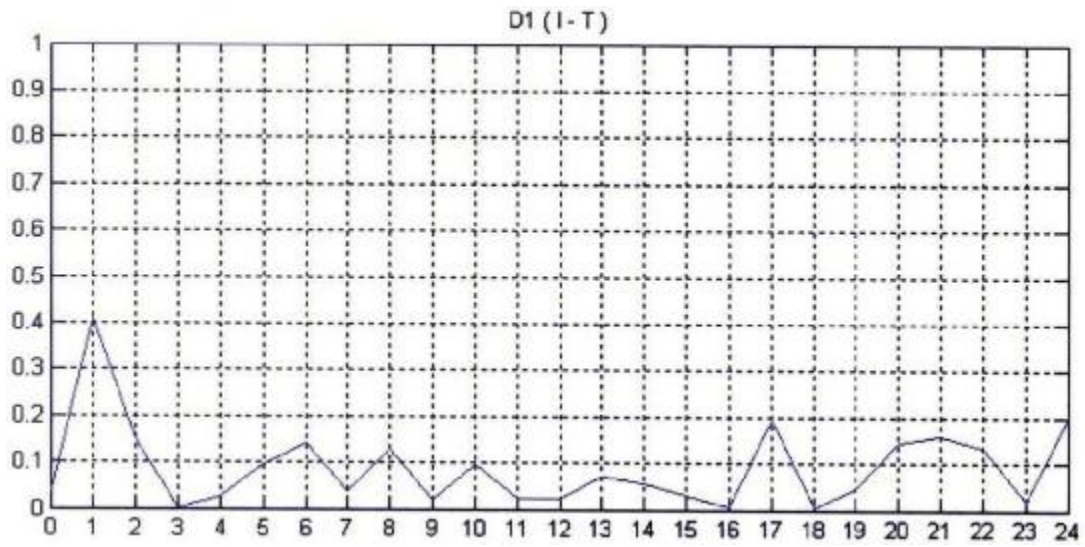
Εικόνα 6.13 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ δεύτερης μέρας μετρήσεων



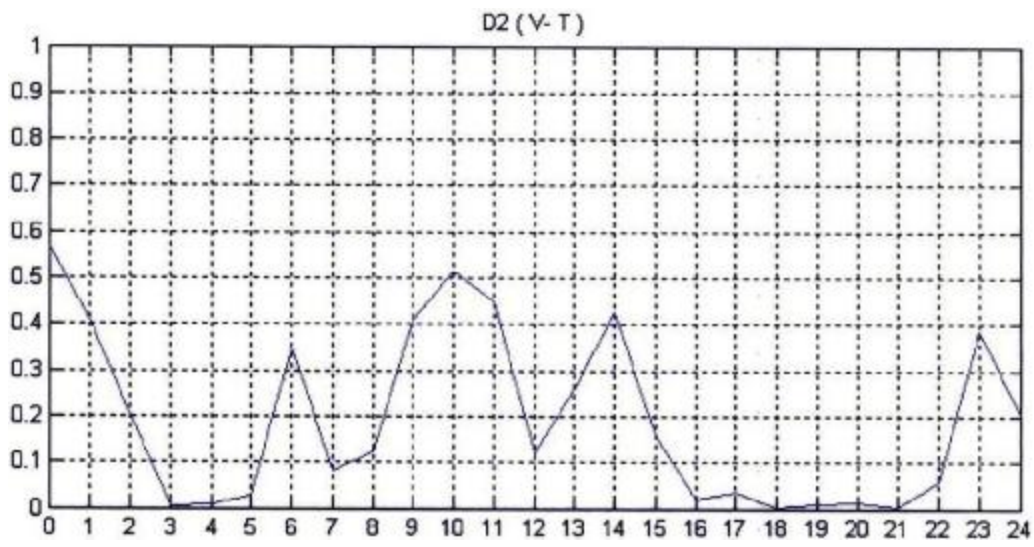
Εικόνα 6.14 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ δεύτερης μέρας μετρήσεων



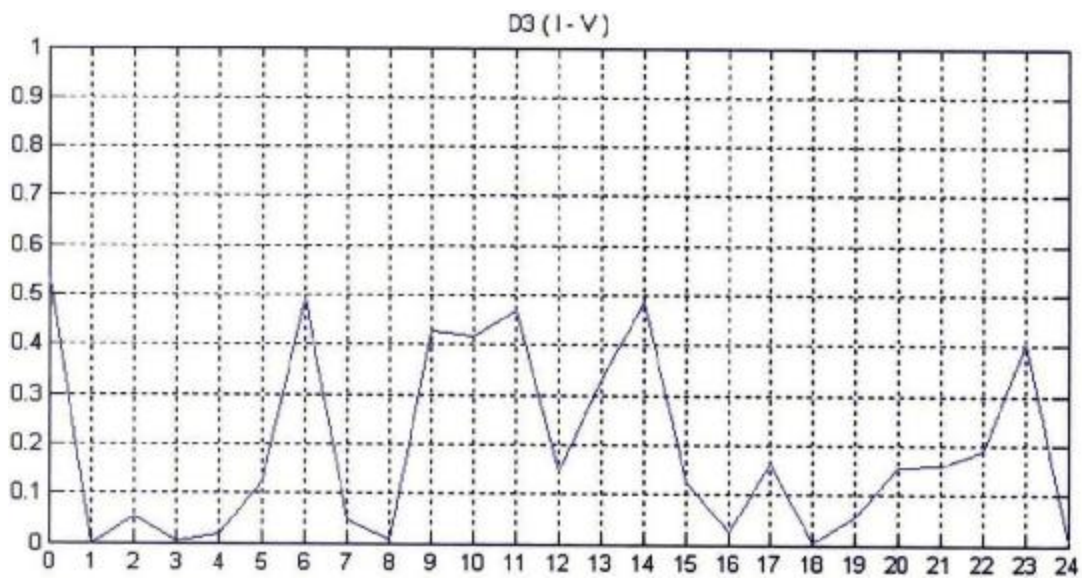
Εικόνα 6.15 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ δεύτερης μέρας μετρήσεων



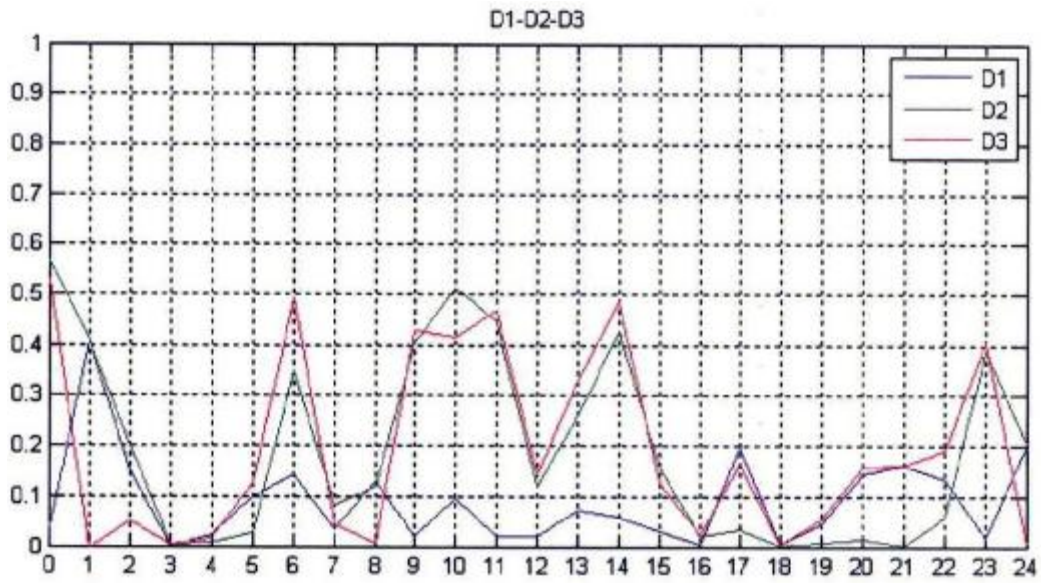
Εικόνα 6.16 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας δεύτερης ημέρας



Εικόνα 6.17 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας δεύτερης ημέρας

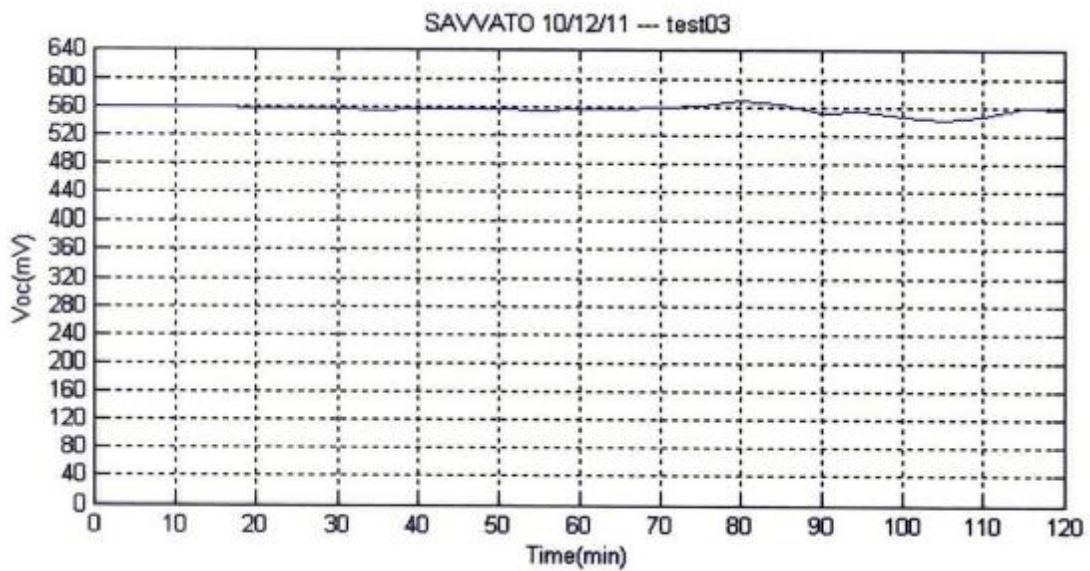


Εικόνα 6.18 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης δεύτερης ημέρας

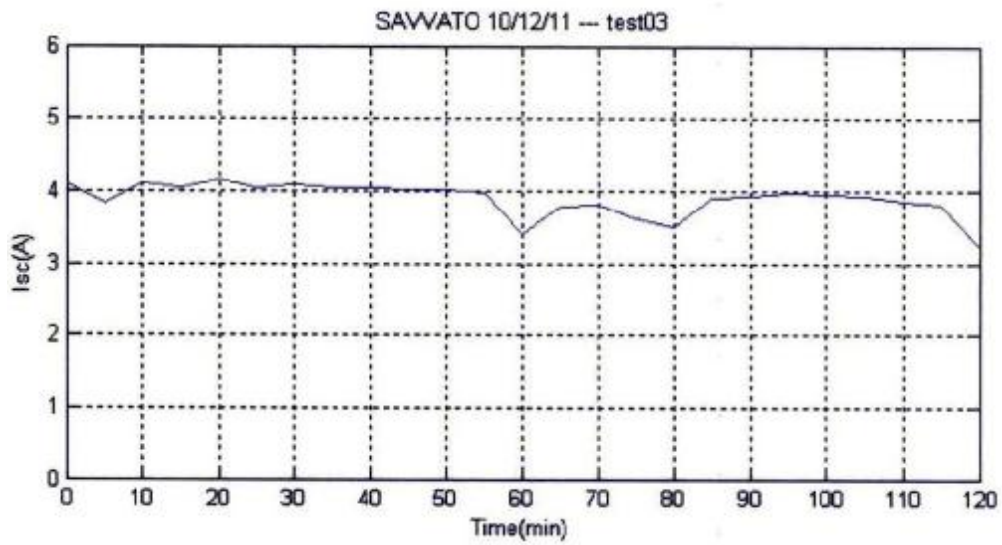


Εικόνα 6.19 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της δεύτερης ημέρας

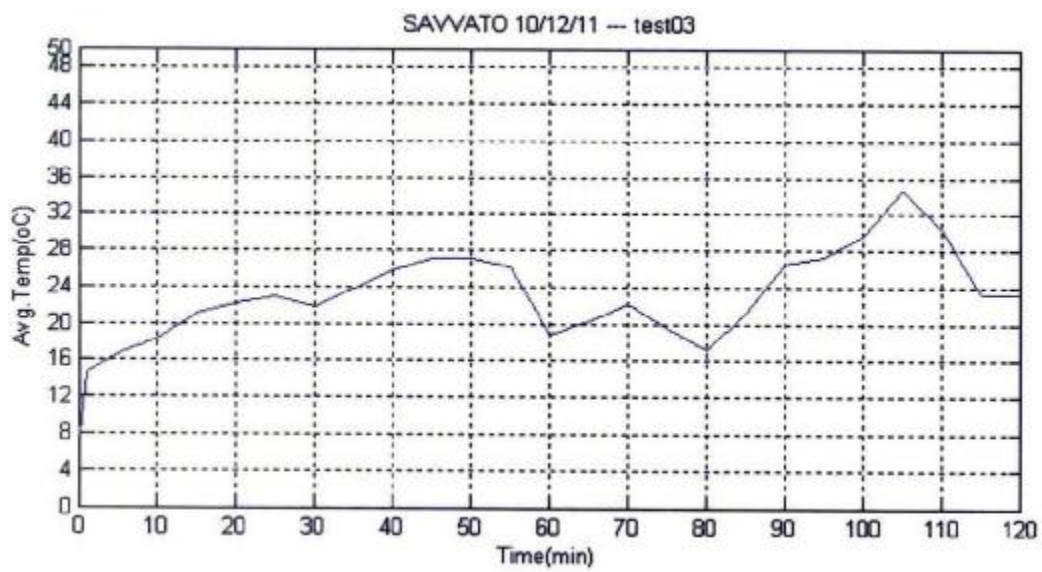
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που βγάλαμε κατά το τρίτο πείραμα που κάναμε το Σάββατο στις 10 Δεκεμβρίου του 2012.



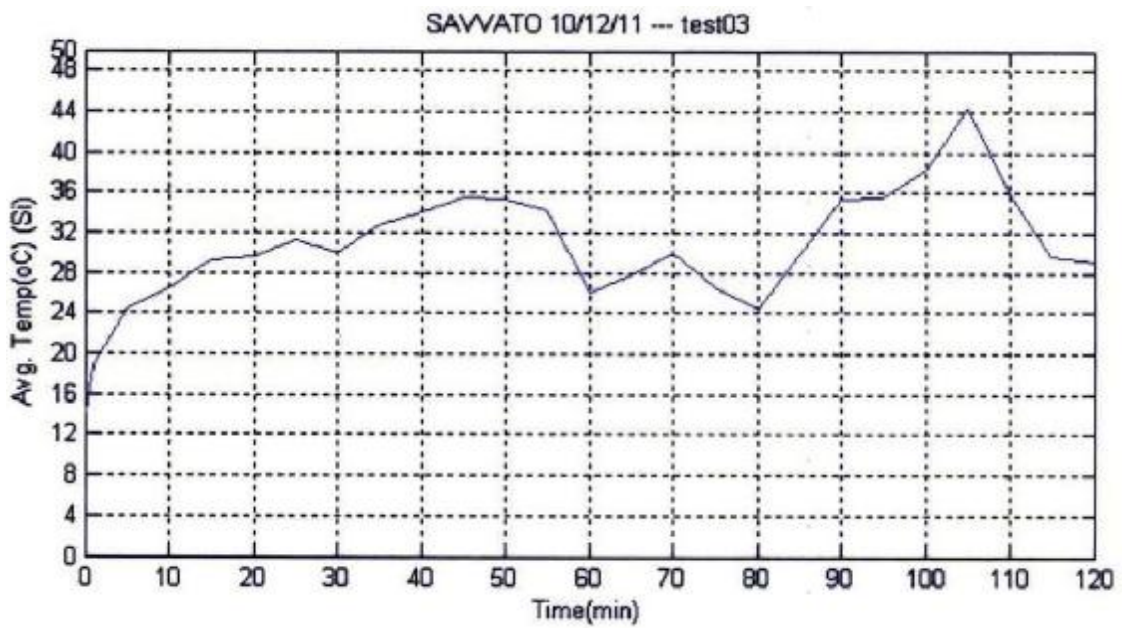
Εικόνα 6.20 : Διάγραμμα $V_{oc}(t)$ τρίτης μέρας μετρήσεων



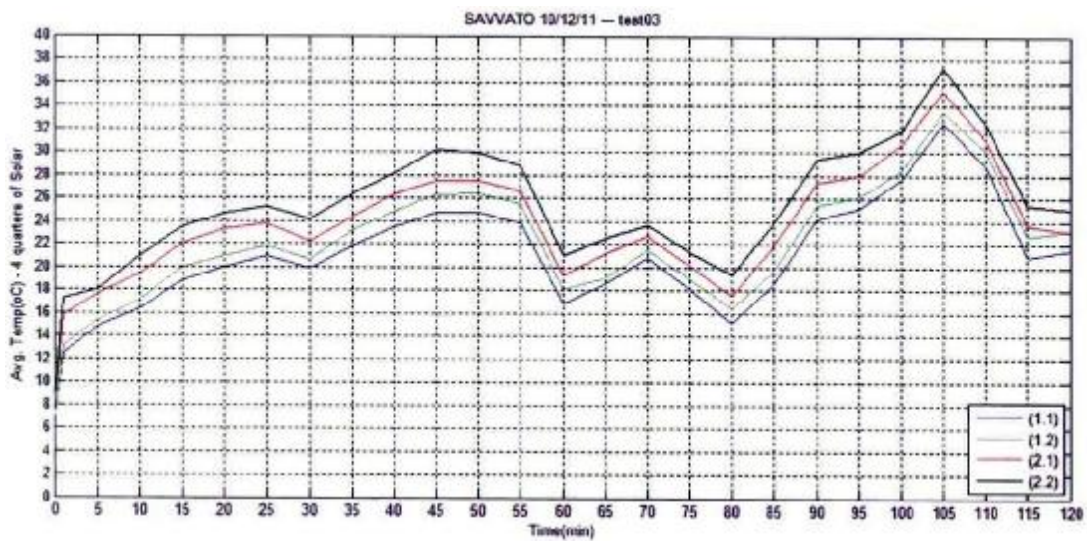
Εικόνα 6.21 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ τρίτης μέρας μετρήσεων



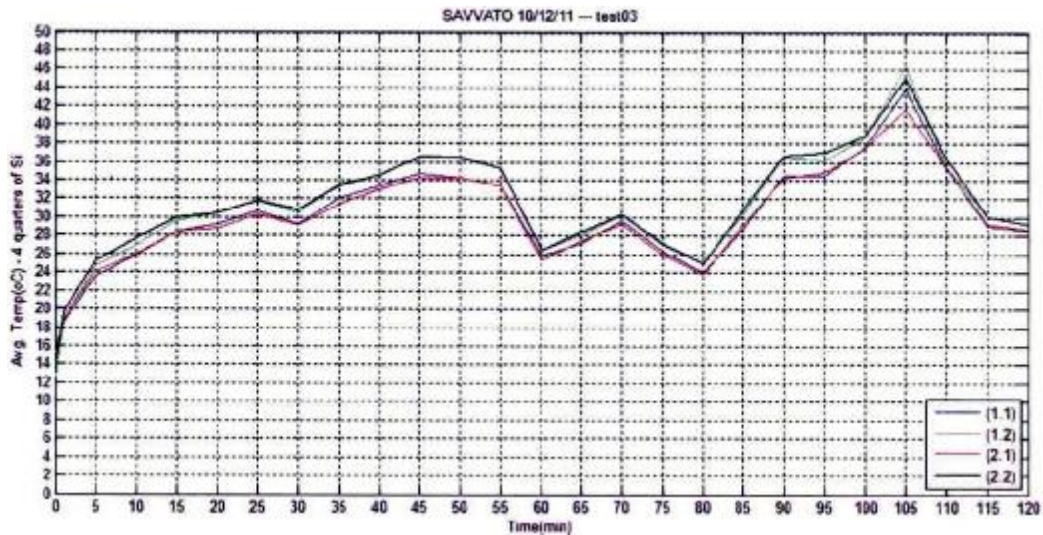
Εικόνα 6.22 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - pSi τρίτης μέρας μετρήσεων



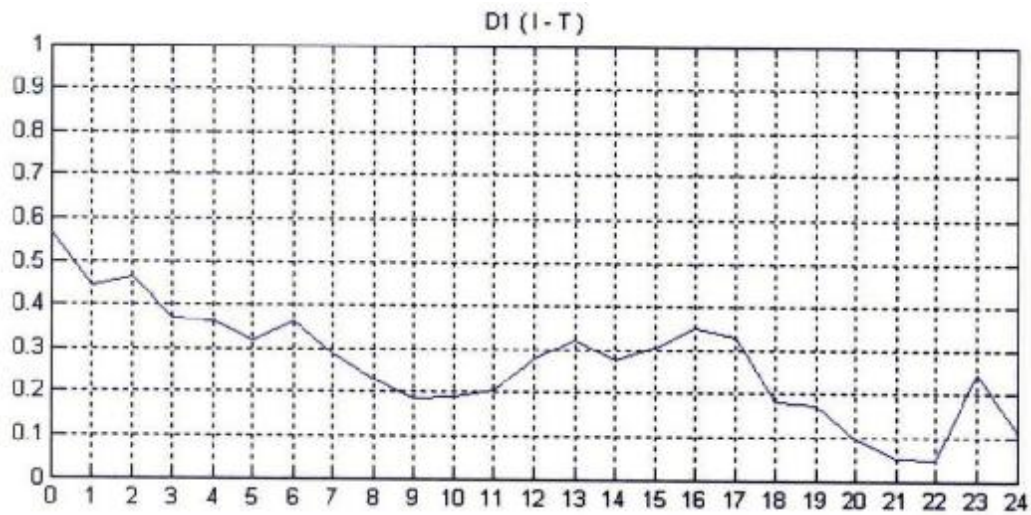
Εικόνα 6.23 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - aSi τρίτης μέρας μετρήσεων



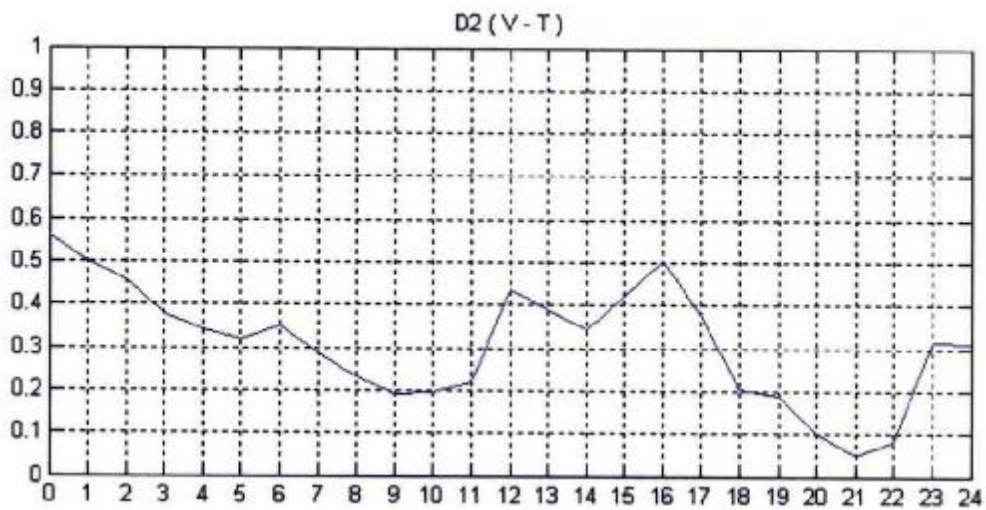
Εικόνα 6.24 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του pSi πάνελ τρίτης μέρας μετρήσεων



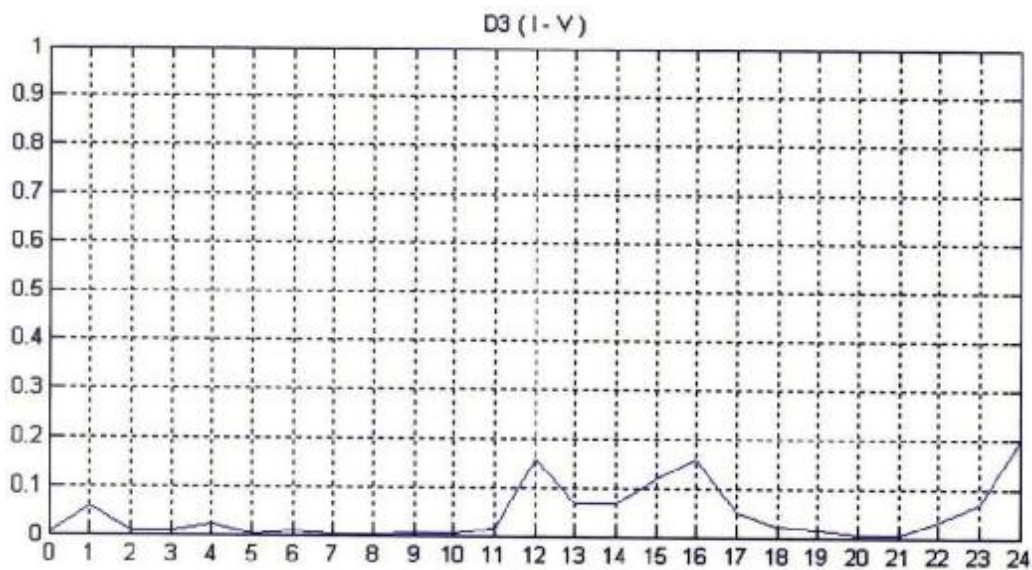
Εικόνα 6.25 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του aSi πάνελ τρίτης μέρας μετρήσεων



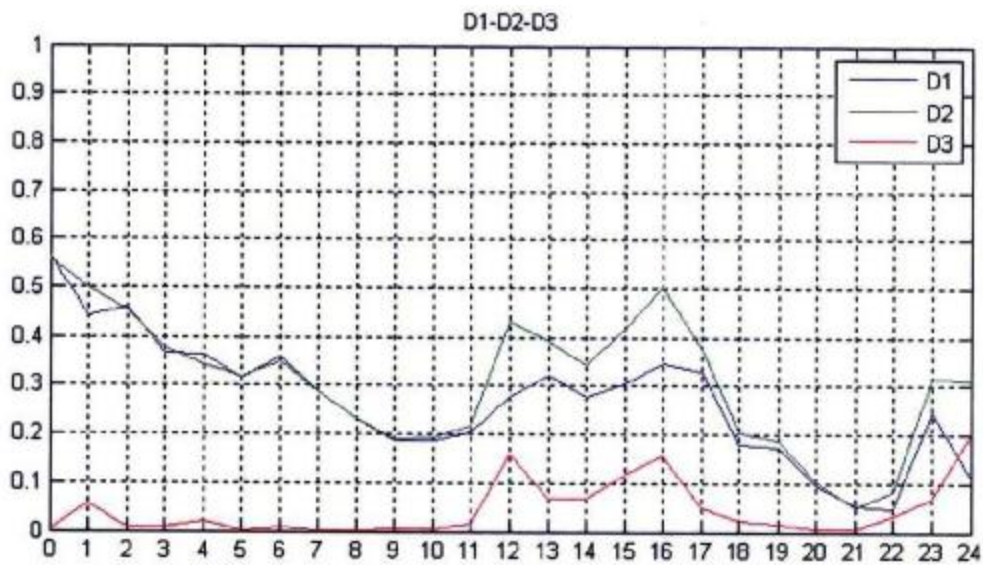
Εικόνα 6.26 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας τρίτης ημέρας



Εικόνα 6.27 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας τρίτης ημέρας

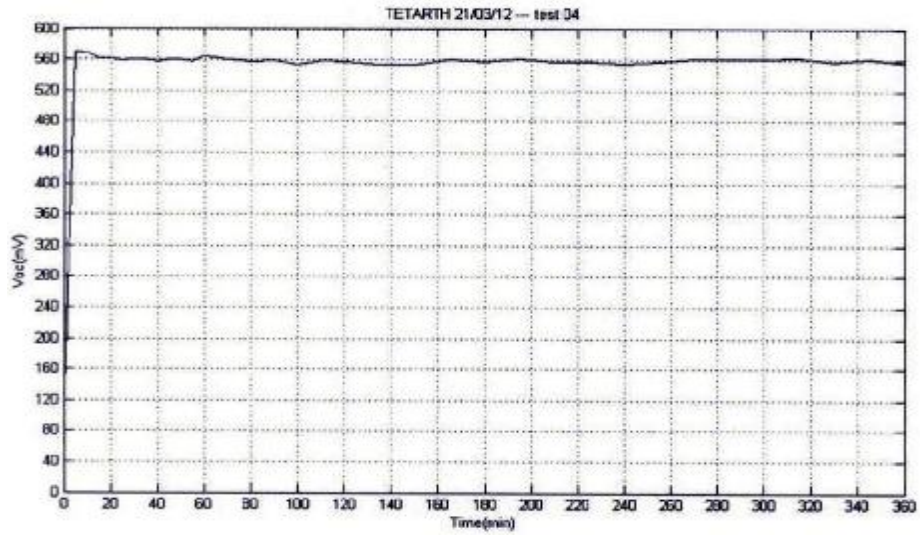


Εικόνα 6.28 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης τρίτης ημέρας

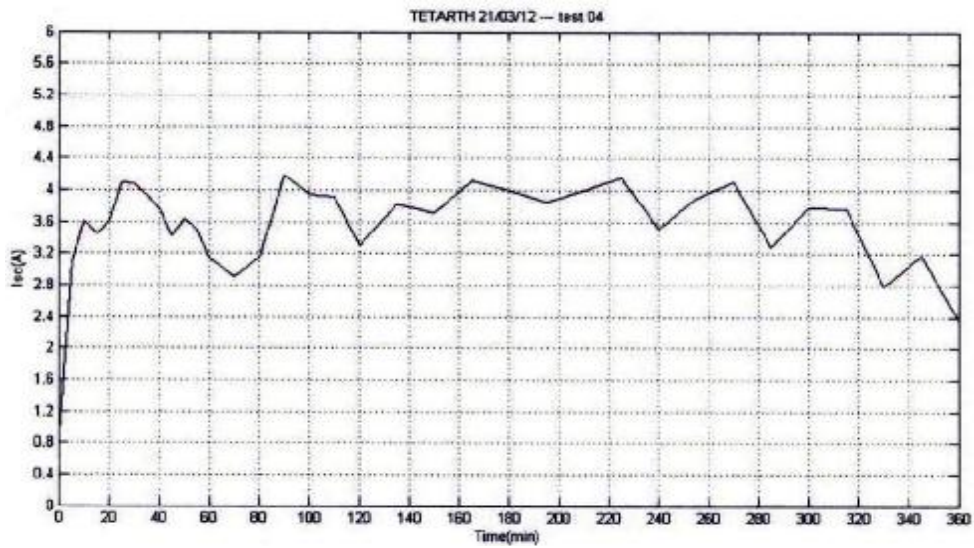


Εικόνα 6.29 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της τρίτης ημέρας

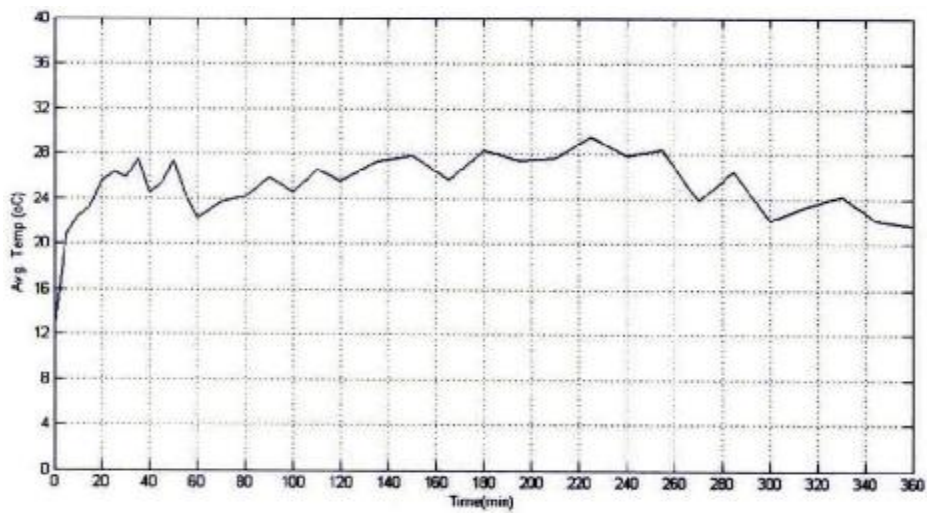
Με αυτά τα διαγράμματα κλείνουμε τα πρώτα τρία σεντ μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και τον ίδιο μήνα σε διάστημα μίας εβδομάδας. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία κατά την τέταρτη και πέμπτη μέρα μετρήσεων. Η πρώτη εξ' αυτών έγινε στις 21 Μαρτίου του 2012 ενώ τη δεύτερη και τελευταία μέρα μετρήσεων έγινε στις 5 Ιουνίου του 2012. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4.2.4 στην τέταρτη μέτρηση είχαμε και τα 2 πάνελ ενώ γνωστό από το κεφάλαιο 4.2.5 ότι στο τελευταίο σεντ χρησιμοποιήθηκε μόνο το πολυκρυσταλλικό πάνελ.



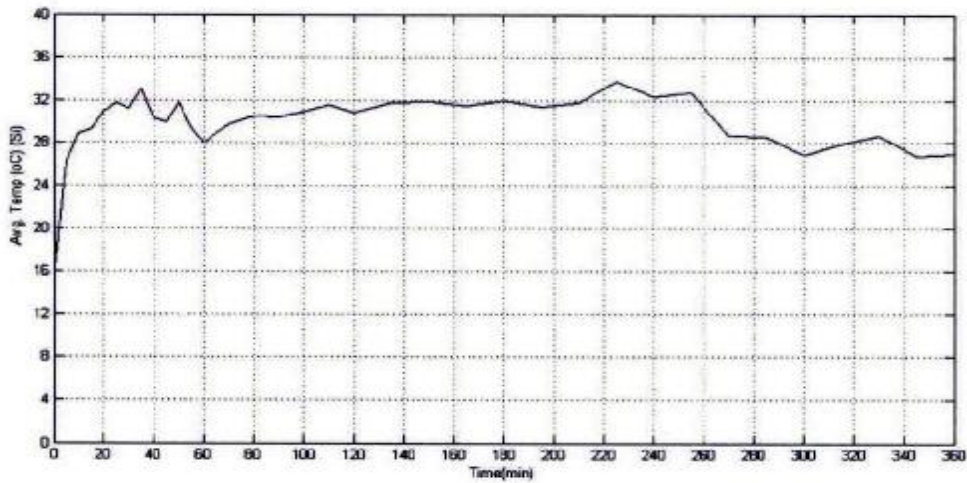
Εικόνα 6.30 : Διάγραμμα $V_{oc}(t)$ τέταρτης μέρας μετρήσεων



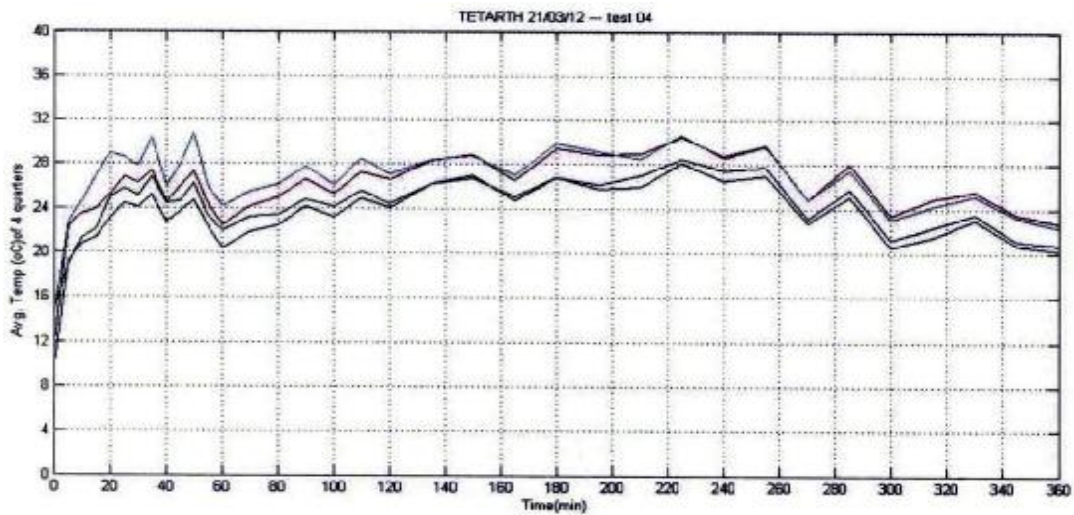
Εικόνα 6.31 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ τέταρτης μέρας μετρήσεων



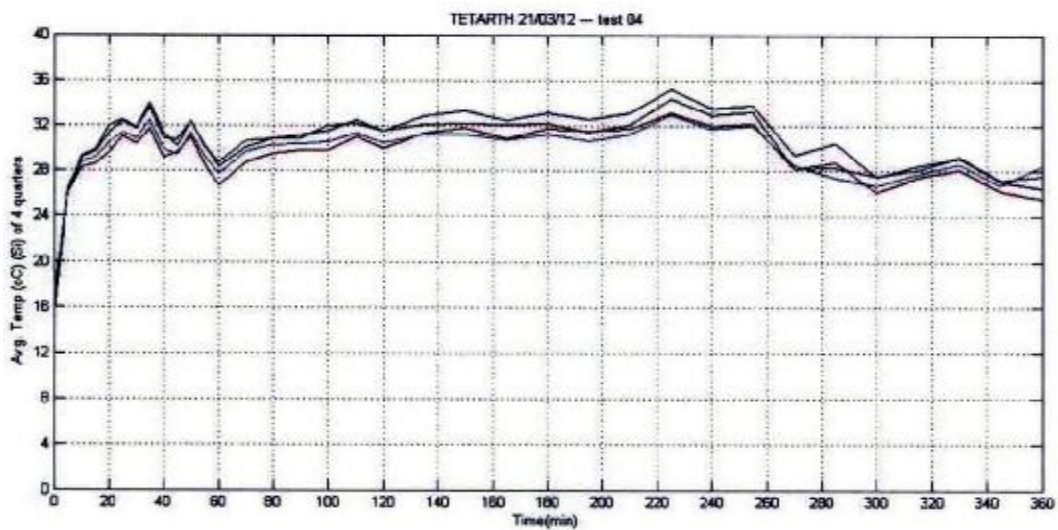
Εικόνα 6.32 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - pSi τέταρτης μέρας μετρήσεων



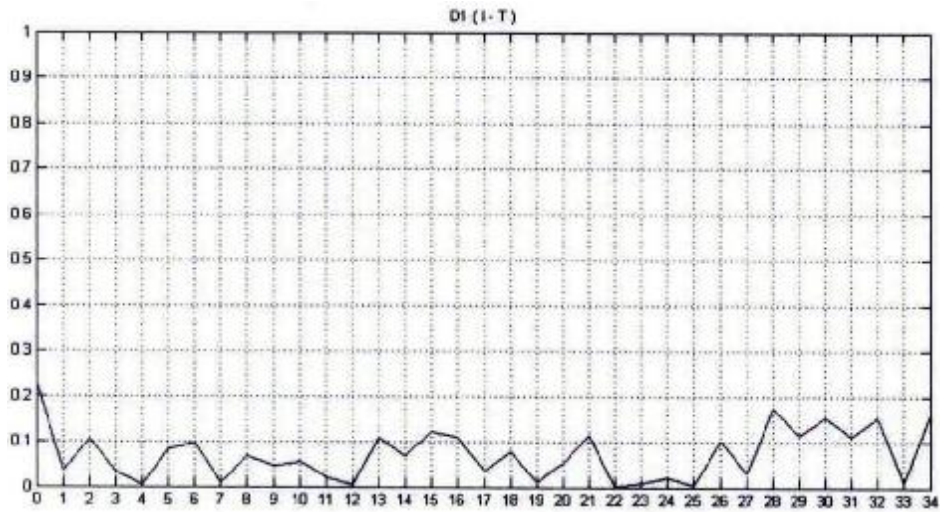
Εικόνα 6.33 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - aSi τέταρτης μέρας μετρήσεων



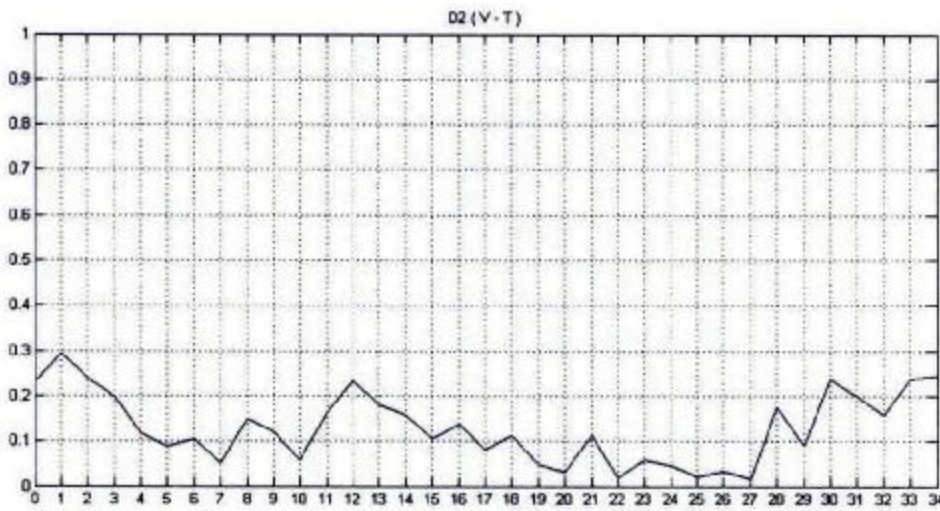
Εικόνα 6.34 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του pSi πάνελ τέταρτης μέρας μετρήσεων



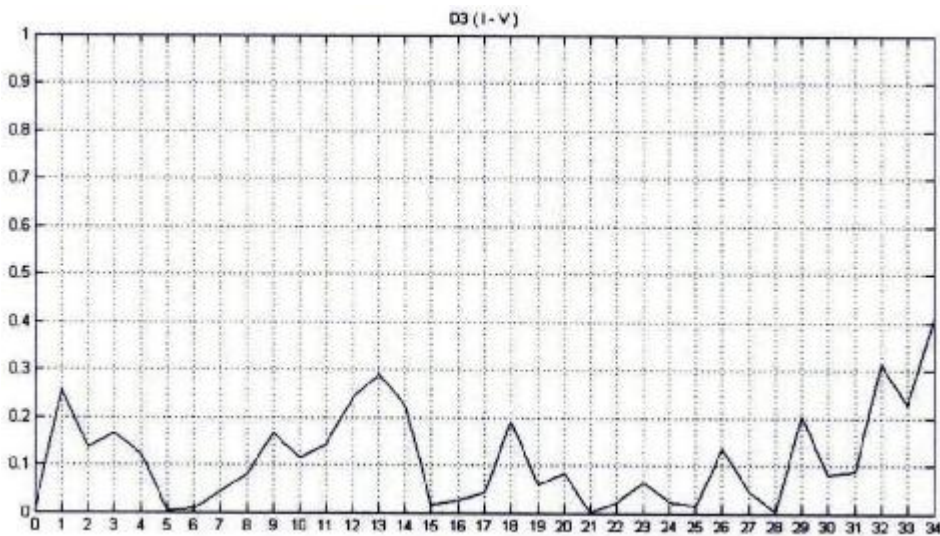
Εικόνα 6.35 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του aSi πάνελ τέταρτης μέρας μετρήσεων



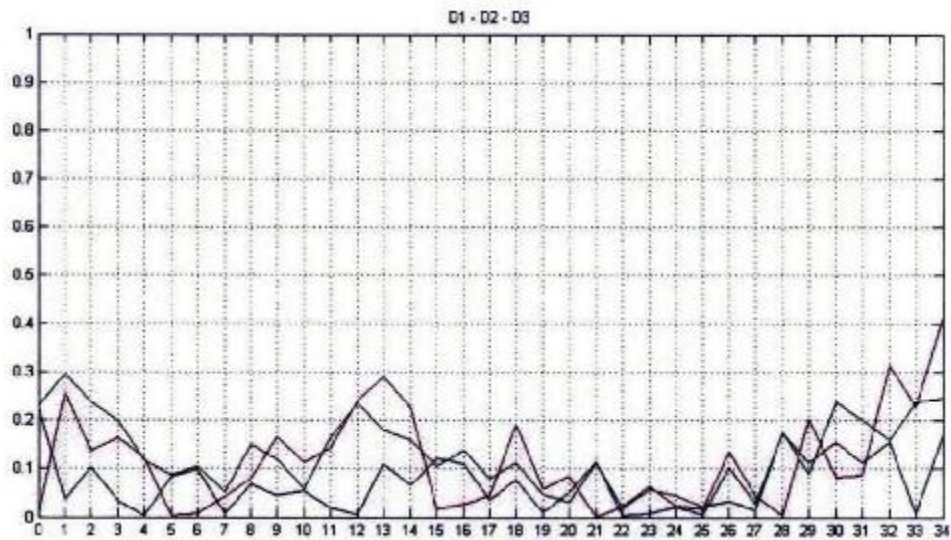
Εικόνα 6.36 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας τέταρτης ημέρας



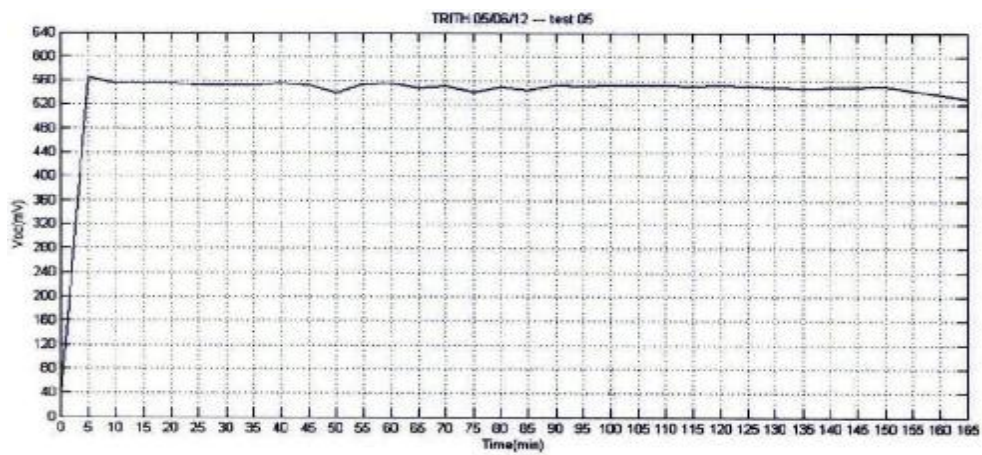
Εικόνα 6.37 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας τέταρτης ημέρας



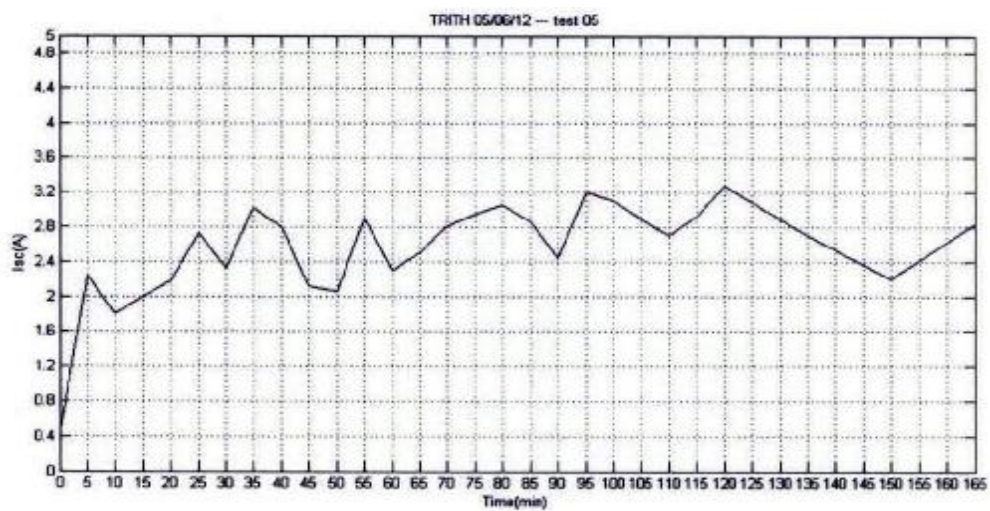
Εικόνα 6.38 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης τέταρτης ημέρας



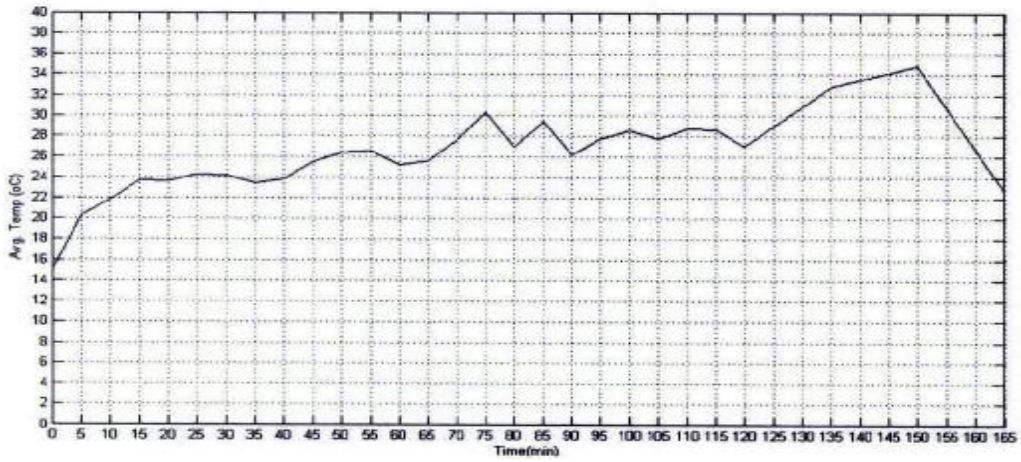
Εικόνα 6.39 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της τέταρτης ημέρας



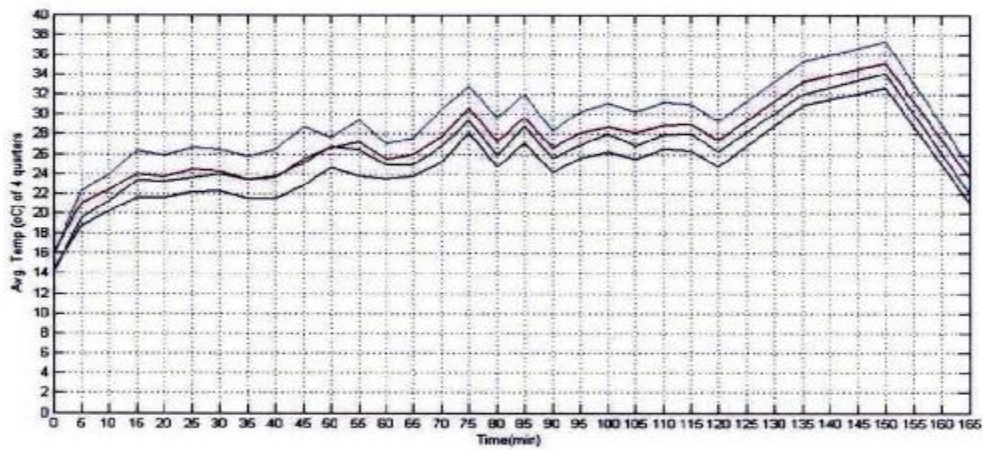
Εικόνα 6.40 : Διάγραμμα $V_{oc}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



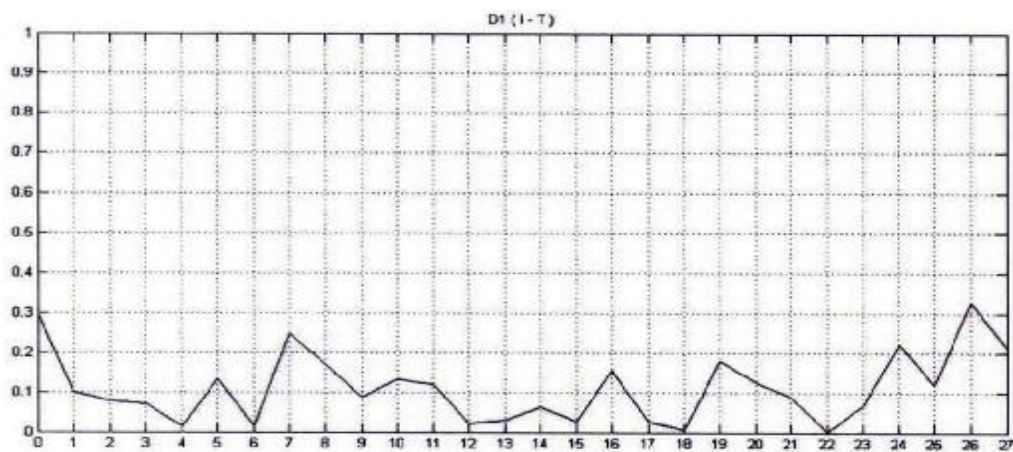
Εικόνα 6.41 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



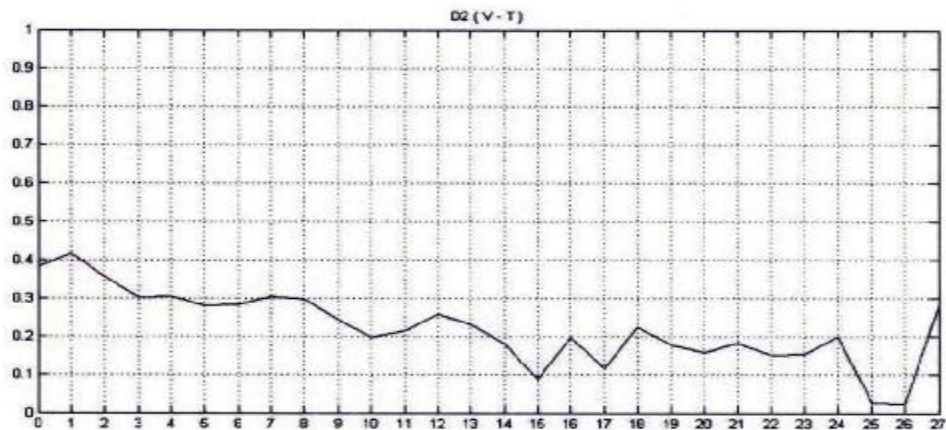
Εικόνα 6.42 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



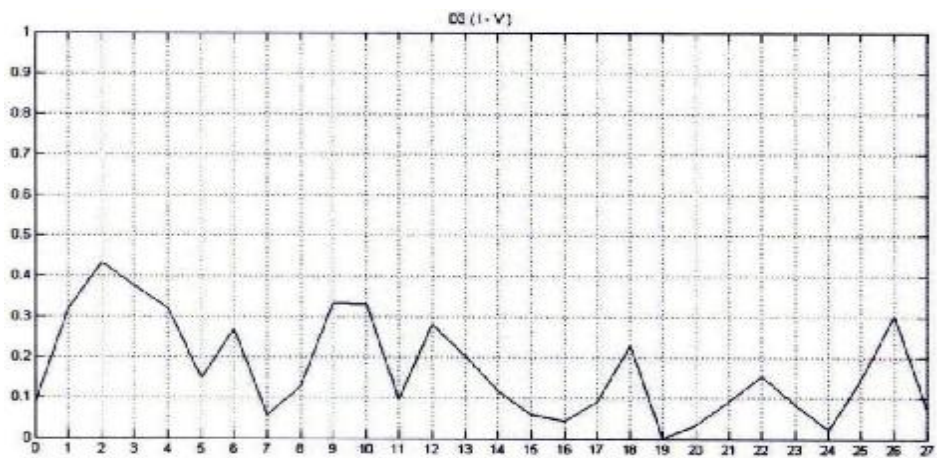
Εικόνα 6.43 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



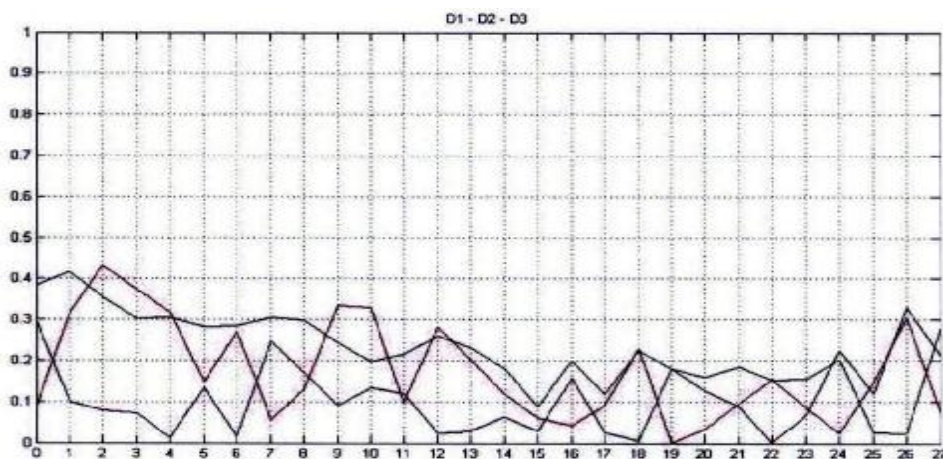
Εικόνα 6.44 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας πέμπτης ημέρας



Εικόνα 6.45 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας πέμπτης ημέρας



Εικόνα 6.46 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης πέμπτης ημέρας



Εικόνα 6.47 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της τέταρτης ημέρας

Με το παραπάνω διάγραμμα τελείωσε η παρουσίαση όλων των διαγραμμάτων, αποτέλεσμα των μετρήσεων και της επεξεργασίας των εικόνων που κάναμε. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα και τις διαπιστώσεις που κάναμε μέσα από τα διαγράμματα αλλά και από την διαδικασία που ακολουθήσαμε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μας.

4.4 : Αποτελέσματα επεξεργασίας

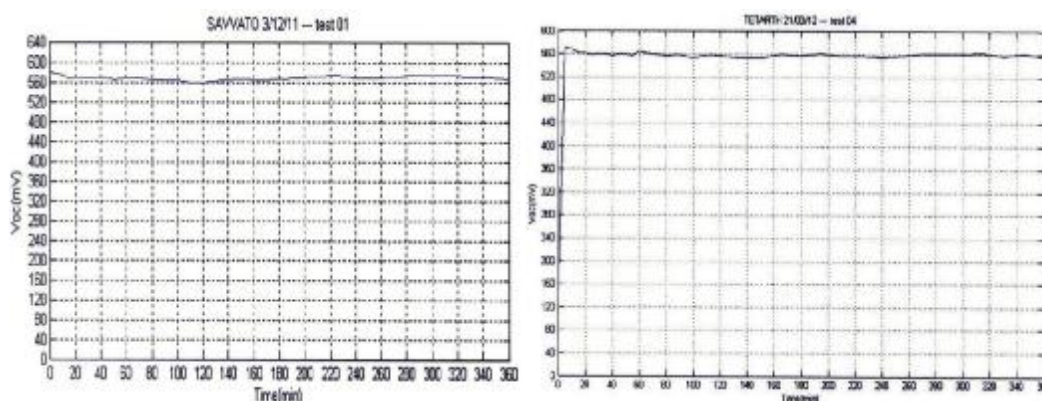
Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα που είχαμε μετά το τέλος της διαδικασίας επεξεργασίας των μετρήσεων μας και των εξαγωγίμων πληροφοριών από τις θερμικές εικόνες.

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται από δύο βασικές «πηγές». Η πρώτη είναι αυτή για την οποία έγινε και η περισσότερη δουλειά και αφορά τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτά μπόρεσαν να μας δώσουν στοιχεία για μία ολοκληρωμένη άποψη γύρω από την λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η δεύτερη «πηγή» μας είναι η παρατήρηση μέσω του φυσικού μας μέσου. Το ανθρώπινο μάτι. Έτσι κατά τη διάρκεια της λήψης εικόνων, αλλά και στη συνέχεια κατά την επεξεργασία των εικόνων παρατηρήθηκαν διάφορα πράγματα όπως λάθη ή στοιχεία που δεν μπορούν να μας δείξουν τα διαγράμματα ή μπορεί ακόμα και να επηρεάζουν αυτά τα διαγράμματα, δημιουργώντας εσφαλμένα αποτελέσματα και συμπεράσματα γύρω από την συμπεριφορά του Φ/Β στοιχείου. Αυτά θα αναλυθούν στο επόμενο όμως κεφάλαιο.

Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα ασχοληθούμε μόνο με την επεξεργασία και θα αναφερθούμε στα αποτελέσματα που μας έδωσαν τα διαγράμματα που έγιναν για κάθε σετ μετρήσεων.

1. Η πρώτη λοιπόν παρατήρηση που κάναμε και φαίνεται ξεκάθαρα στα διαγράμματα 6.4, 6.12, 6.20, 6.30 και 6.40 του κεφαλαίου 4.3 είναι ότι η τάση είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Σε όλες τις μέρες μετρήσεων η τάση κυμαινόταν με αυξομείωση 10-20 mVolts στα ίδια επίπεδα. Οι τιμές της δεν ήταν ίδιες κάθε ημέρα μέτρησης αλλά σε κάθε ημέρα η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της από τη στιγμή που το πάνελ βρισκόταν υπό τον ήλιο δεν είχαν σημαντική απόκλιση μεταξύ τους. Ήταν της τάξεως του 2,5-3%. Ενδεικτικά 2 διαγράμματα για να δούμε ότι η τάση είναι σταθερή.



Συμπερασματικά, με βάση την παραπάνω παρατήρηση μπορούμε να αναφέρουμε ότι το πάνελ, ανάλογα φυσικά και με τις συνθήκες έκθεσής του στην ηλιακή ενέργεια, απορροφάει πολύ γρήγορα την ηλιακή ακτινοβολία την οποία την αποδίδει με – σχεδόν – σταθερό ρυθμό, χωρίς δηλαδή αξιοσημείωτη διακύμανση στις τιμές της

τάσης. Το γεγονός αυτό μας υποδεικνύει ακόμα ότι το πάνελ φτάνει σε ένα συγκεκριμένο σημείο κορεσμού, το οποίο διαφέρει ελάχιστα από φορά σε φορά (δηλ. μεταξύ των διαφορετικών ημερών που πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις), πέραν του οποίου σημείου δεν δύναται λειτουργήσει ως αποθηκευτικός χώρος ηλιακής ενέργειας. Το σημείο αυτό κορεσμού, όπως μπορεί κάποιος να αντιληφθεί, δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις ιδιότητες και τα ενδογενή χαρακτηριστικά του πάνελ, αλλά και τις κλιματικές συνθήκες και ιδιότητες έκθεσης του πάνελ στην ηλιακή ακτινοβολία κάθε φορά.

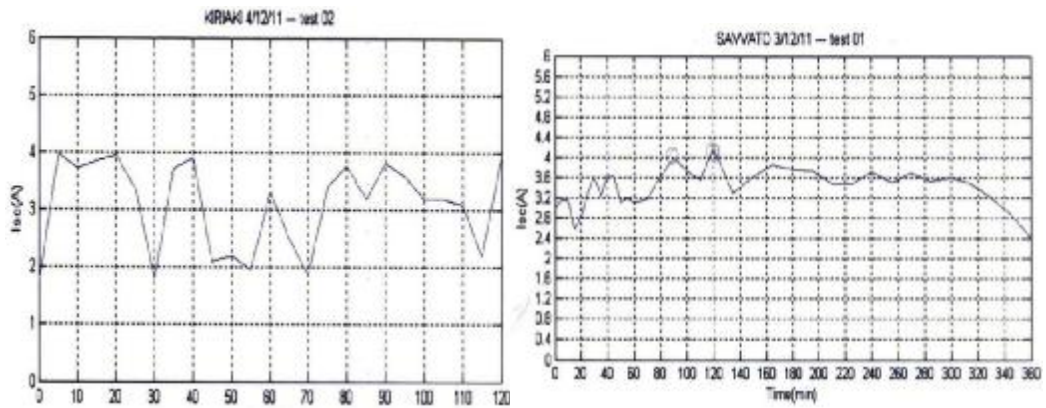
Η παραπάνω παρατήρηση μας οδηγεί επιπλέον στο συμπέρασμα ότι, πιθανώς να μην απαιτείται η συνεχής έκθεση ενός πάνελ στην ηλιακή ακτινοβολία για την απόδοση της ενέργειας σε επακόλουθες διατάξεις, παρά μόνο για το πολύ μικρό χρονικό διάστημα έως ότου φτάσει στο σημείο ενεργειακού κορεσμού. Συνεπώς, η έκθεση μπορεί να γίνεται διακοπτόμενα (ή εναλλάξ) σε εν σειρά ενεργειακά πάνελ, και μόνο για το διάστημα που απαιτείται η αποθήκευση του μέγιστου ποσού ενέργειας στο πάνελ.

Τα υπόλοιπα διαγράμματα μπορούμε να τα δούμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

2. Το δεύτερο και λίγο πολύ αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι ότι η ένταση του ρεύματος έχει σημαντική αυξομείωση, η οποία είναι μεγαλύτερη και πιο αισθητή σε μέρες που δεν είχαμε εντελώς ηλιόλουστο καιρό. Αυτό είναι λογικό καθότι η ενέργεια που δέχεται το πάνελ δεν είναι σταθερή στο χρόνο. Ακόμα και χωρίς να υπάρξουν σύννεφα ο ήλιος δεν εκπέμπει συνεχώς της ίδια ενέργεια ανά μονάδα χρόνου. Αυτό φυσικά έχει ως αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων να παρατηρούμε την αυξομείωση του ρεύματος.

Αυτό εξαρτιόταν από την ώρα της ημέρας και κατά συνέπεια τη γωνία του ηλίου ως προς το ηλιακό πάνελ, τις κλιματολογικές συνθήκες όπως ο άνεμος, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, αλλά φυσικά και τις περιπτώσεις σκίασης του πάνελ από σύννεφα. Για την περίπτωση της νεφοκάλυψης, όπως ήταν αναμενόμενο, σημαντική επίδραση στην αποθηκευτική λειτουργία του πάνελ και την αυξομείωση του ρεύματος είχε η παρουσία χαμηλών (stratus ή στρώματα και cumulus ή σωρείτες) καθώς και μεσαίων (altocumulus ή υψοσωρείτες) νεφών, ενώ σχεδόν ανεπαίσθητη επίδραση παρατηρήθηκε στην παρουσία υψηλών (cirrus ή θύσανοι, cirrocumulus ή θυσανοσωρείτες και cirrostratus ή θυσανοστρώματα) νεφών. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι προηγούμενοι παράγοντες συνολικά ή ανεξάρτητα επηρέαζαν την λειτουργία του πάνελ και άρα και την ένταση του ρεύματος.

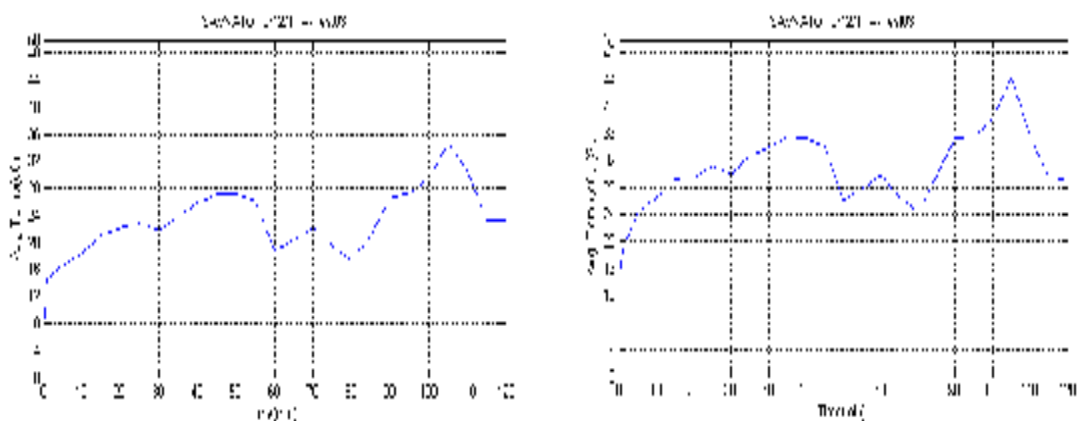
Τα παραπάνω μπορούμε να τα δούμε στα διαγράμματα 6.5, 6.13, 6.21, 6.31, 6.40 του προηγούμενου κεφαλαίου. Ενδεικτικά βλέπουμε παρακάτω δύο από αυτά.

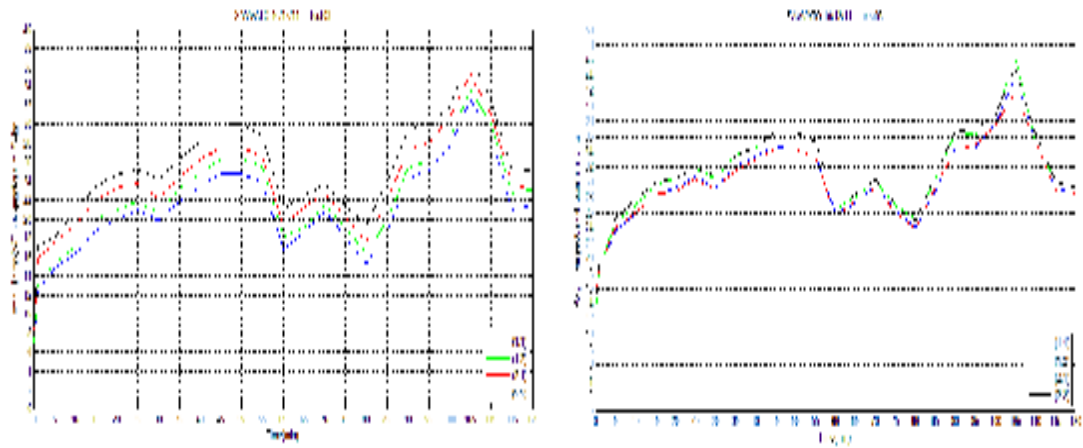


Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό στο αριστερό διάγραμμα παρατηρούμε μία συνεχόμενη μεγάλη αυξομείωση του ρεύματος, το οποίο συνέβαινε λόγω διαφορετικών καιρικών συνθηκών ενώ στο δεξιό διάγραμμα μερικά peak αλλά σε γενικές γραμμές μία σταθερή πορεία. Αυτά τα peak είναι η μεγαλύτερη ηλιακή ενέργεια κατά την ώρα αυτών των μετρήσεων ενώ η μικρή αυξομείωση οφείλεται και αυτή στην μη σταθερή πηγή ενέργειας όπως είναι ο ήλιος.

Η μείωση που βλέπουμε στο δεξί διάγραμμα στο τέλος οφείλεται ότι όσο παυρνάει η ώρα μειώνεται η ένταση του ηλίου οπότε όπως είναι λογικό και η ένταση του ρεύματος.

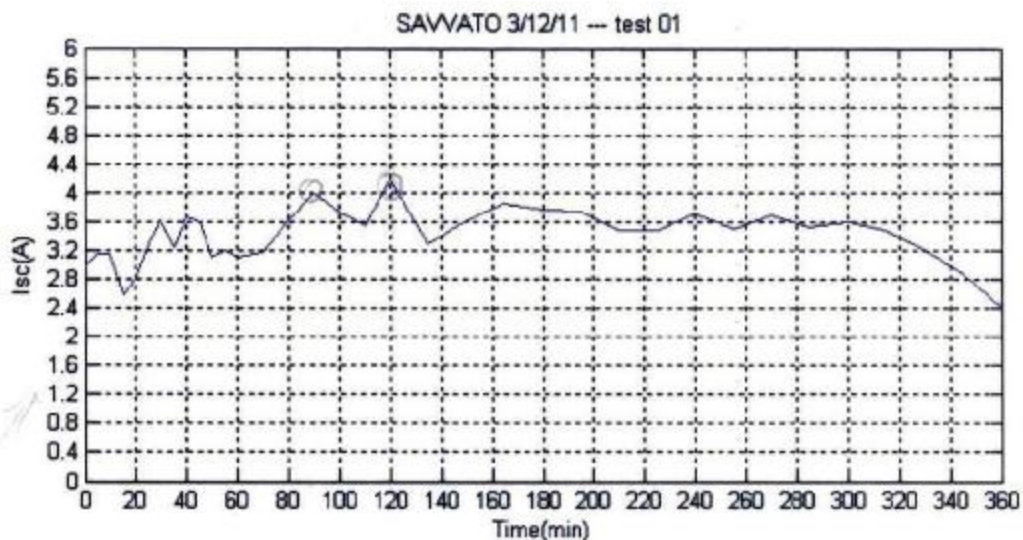
3. Η τρίτη μας παρατήρηση βγαίνει από τα διαγράμματα της μέσης θερμοκρασίας. Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας όλου του πάνελ αλλά και εκείνο των μέσω θερμοκρασιών ανά τεταρτημόριο θα διαπιστώσουμε ότι και στα δύο διαγράμματα έχουμε την ίδια κατανομή. Παρατηρείται δηλαδή ότι οι μεταβολές που διακρίνονται στο ένα διάγραμμα εμφανίζονται στον ίδιο χρόνο, στην ίδια κλίμακα και στο άλλο διάγραμμα. Ενδεικτικά ακολουθούν τα διαγράμματα της τρίτης μέρας όπου βλέπουμε στα αριστερά πάνω-κάτω και στα δεξιά πάνω-κάτω την αντιστοιχία. Το ίδιο συμβαίνει και μπορούμε πολύ εύκολα να το παρατηρήσουμε στα διαγράμματα 6.6 με 6.7 , 6.14 με 6.15, 6.22 με 6.24 και 6.23 με 6.25(που είναι και τα παρακάτω διαγράμματα), 6.32 με 6.34 και 6.33 με 6.35 και τέλος στα 6.42 με 6.43.

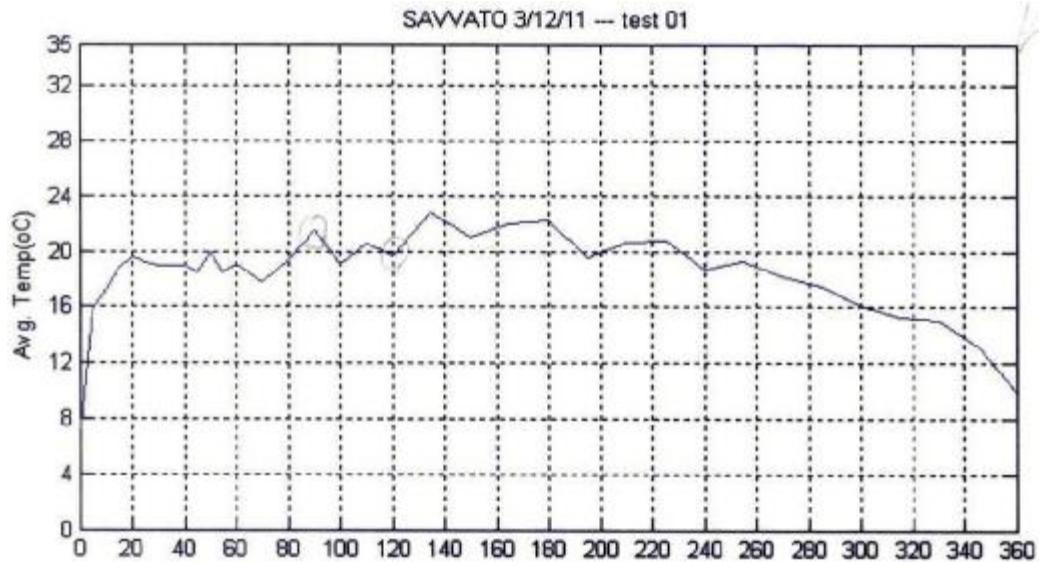




4. Ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα που βγήκε από τις μετρήσεις είναι η σχέση της έντασης του ρεύματος με την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο πάνελ. Αν παρατηρήσουμε τα διαγράμματα ρεύματος ως προς το χρόνο και τα αντίστοιχα της μέσης θερμοκρασίας ως προς το χρόνο τότε θα βγάλουμε το εξής συμπέρασμα.

Η κυματομορφές ρεύματος και θερμοκρασίας μοιάζουν να έχουν παρόμοια μορφή. Δηλαδή παρατηρούμε ότι οι 2 κυματομορφές δείχνουν να έχουν τον ίδιο ρυθμό μεταβολής. Ωστόσο με μία πιο προσεκτική ματιά γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει πάντα. Σε αρκετές περιπτώσεις όταν ρεύμα αυξάνεται με ένα ρυθμό παρατηρείται ότι η θερμοκρασία δεν ακολουθεί τον ίδιο αλλά έχει αρνητικό ρυθμό μεταβολής με συνέπεια να μειώνεται. Ας το αναλύσουμε όμως λίγο περισσότερο αυτό και να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι σχολιάζοντας και τα 5 σερ διαγραμμάτων ξεχωριστά. Ας δούμε αρχικά λοιπόν το πρώτο σερ των 2 διαγραμμάτων.



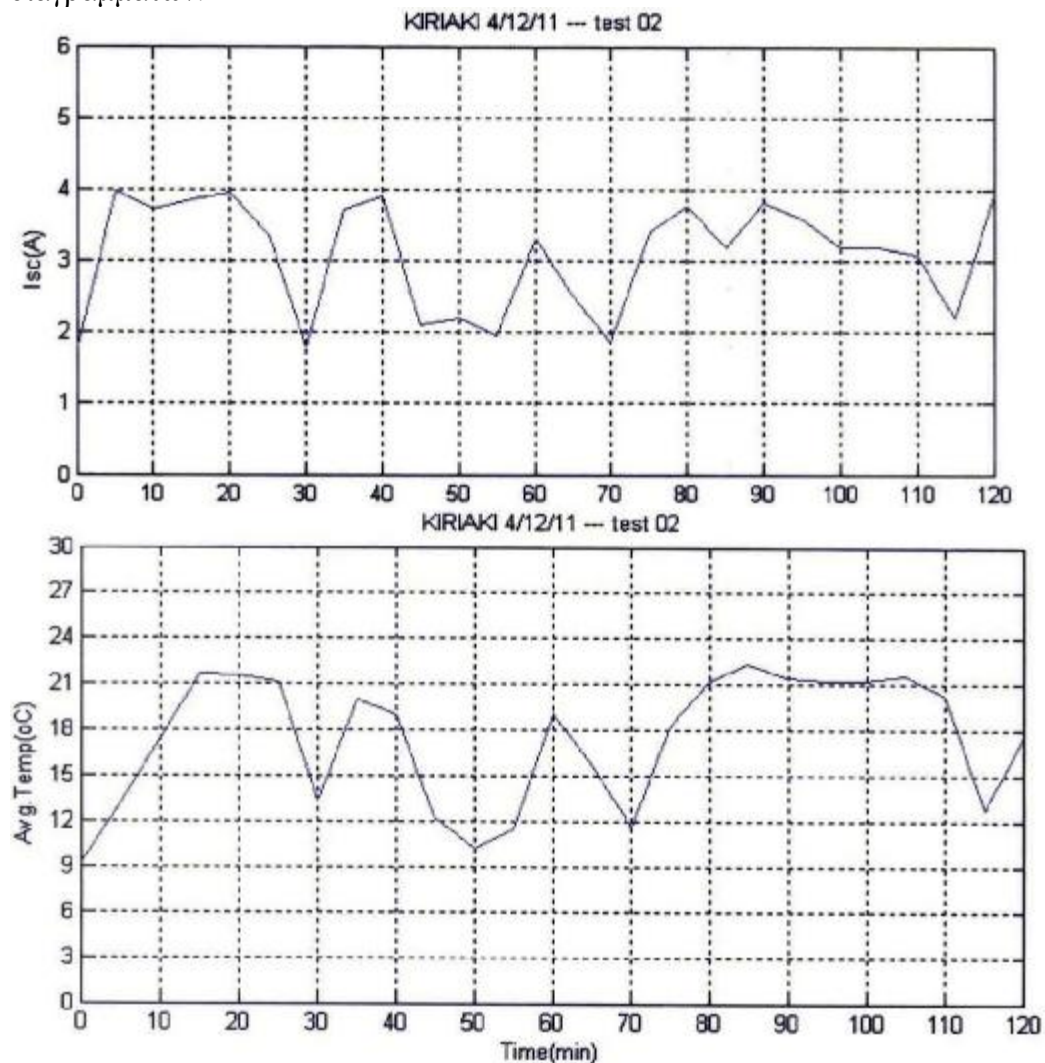


Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-20	Μείωση	Αύξηση
20-40	Αύξηση	Σταθ. (μικρή μείωση)
40-60	Μείωση μέχρι 50' και σταθερή μετά	Σταθ. (μικρό peak στα 50')
60-80	Αύξηση	Μείωση ως 70' και αύξηση ως 80'
80-100	Αύξηση ως 90' – μείωση ως 100'	Αύξηση ως 90' – μείωση ως 100'
100-120	Μικρή μείωση ως 110' – αύξηση μετά	Μικρή αύξηση ως 110' – μικρή μείωση ως 120'
120-140	Μείωση	Αύξηση
140-160	Αύξηση	Σταθ. (μικρή μείωση – μικρή αύξηση)
160-180	Σταθ. (μικρή μείωση)	Σταθ. (μικρή αύξηση)
180-200	Σταθερή	Μείωση
200-220	Μικρή μείωση	Μικρή αύξηση
220-240	Μικρή αύξηση	Μείωση
240-260	Μικρή μείωση	Σταθ. (μικρή αύξηση)
260-280	Σταθ. (αυξ. Ως 270' και μείωση ως 280')	Μείωση
280-300	Σταθερή (θετικού ρυθμού)	Μείωση
300-320	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση
320-340	Μείωση	Μείωση
340-360	Μείωση	Μείωση

Από τον παραπάνω πίνακα λοιπόν παρατηρούμε ότι στο μεγαλύτερο διάστημα ο ρυθμός μεταβολής των δύο μεγεθών είναι αντιστρόφως ανάλογος ενώ με κόκκινο

πλαίσιο τονίζονται οι ταυτίσεις και με κίτρινο πλαίσιο οι ταυτίσεις σε ένα κομμάτι του διαστήματος.

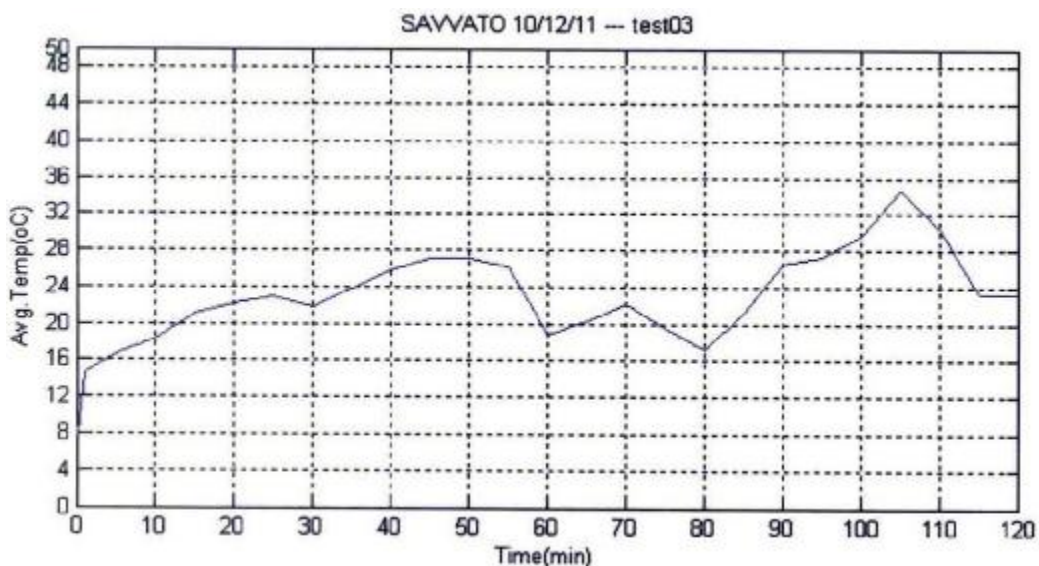
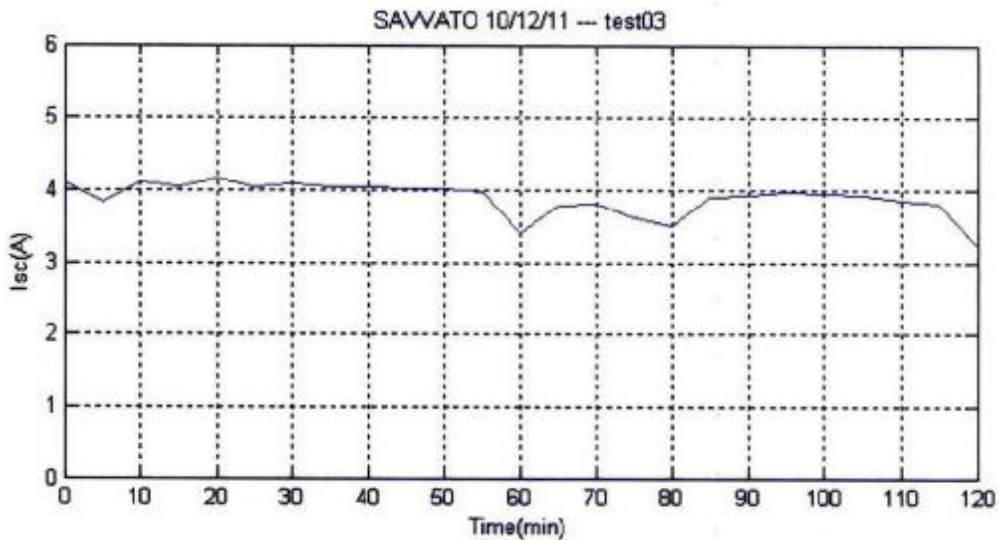
Ας δούμε λοιπόν και εμείς παρακάτω τον αντίστοιχο πίνακα για το δεύτερο σετ διαγραμμάτων.



Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-10	Αύξηση ως 5' μετά μικρή μείωση	Αύξηση
10-20	Μικρή αύξηση	Αύξηση ως 15' μετά σταθερή
20-30	Μείωση	Σταθ. Ως 25' μετά μείωση
30-40	Αύξηση	Αύξηση ως 35' μετά μείωση
40-50	Μείωση	Μείωση
50-60	Αύξηση	Αύξηση
60-70	Μείωση	Μείωση
70-80	Αύξηση	Αύξηση
80-90	Μικρή μείωση + μικρή αύξηση	Μικρή αύξηση + μικρή μείωση
90-100	Μείωση	Σταθερή
100-110	Σταθερή (ελαχ. Μείωση)	Σταθερή + ελαχ. μείωση
110-120	Μείωση ως 115' μετά αύξηση	Μείωση ως 115' μετά αύξηση

Από αυτόν τον πίνακα βγάζουμε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα αλλά οι συνθήκες των δύο πειραμάτων ήταν τελείως διαφορετικές. Σε αυτό το πείραμα είχαμε να κάνουμε με συνεχόμενες μεταβολές του καιρού (ηλιοφάνεια, νεφοκάλυψη κλπ) που είχε ως αποτέλεσμα μεγάλες μεταπτώσεις στην απόδοση του φωτοβολταϊκού και άρα στην ένταση του ρεύματος αλλά και προφανώς στη θερμοκρασία που αναπτυσσόταν αφού υπήρχαν στιγμές που τα σύννεφα έκρυβαν τον ήλιο. Άρα ίσως έτσι εξηγείται η κοινή πορεία των δύο μεγεθών σε αυτές τις μετρήσεις.

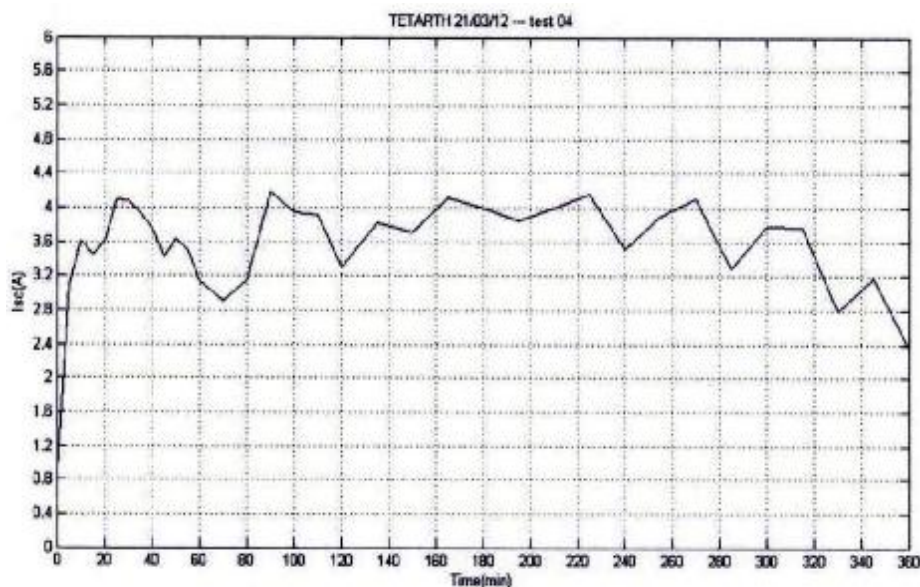
Παρακάτω θα αναλύσουμε και τα υπόλοιπα σερ διαγραμμάτων για να έρθουμε σε ένα τελικό συμπέρασμα σχετικά με την κοινή ή μη πορεία τους.

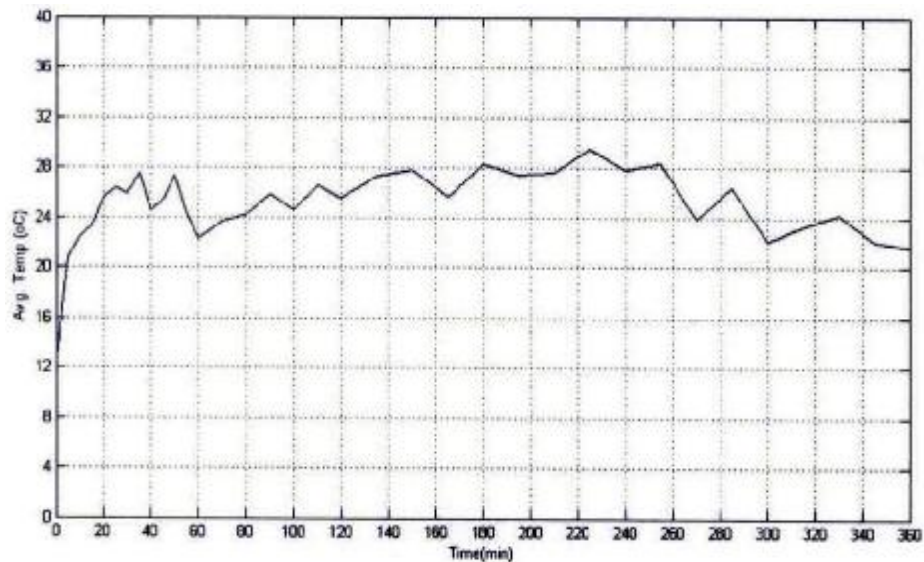


Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-10	Σταθερό	Αύξηση
10-20	Σταθερό	Αύξηση
20-30	Σταθερό	Σταθερή
30-40	Σταθερό	Αύξηση
40-50	Σταθερό	Μικρή αύξηση + Σταθερή
50-60	Σταθερό ως 55' μετά μείωση	Ελαχ. Μείωση ως 55' μετά μείωση
60-70	Αύξηση	Αύξηση
70-80	Μείωση	Μείωση
80-90	Αύξηση ως 85' + σταθ.(ελαχ. Αύξηση)	Αύξηση
90-100	Σταθερό	Αύξηση
100-110	Σταθερό ως 105' + ελαχ. μείωση	Αύξηση ως 105 + Μείωση
110-120	Σταθ. (ελαχ. μείωση) + μείωση	Μείωση + Σταθερή

Στο τρίτο σετ μετρήσεων και διαγραμμάτων από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε δύο διαφορετικές συμπεριφορές. Στις μισές περιοχές ταυτίζεται ο ρυθμός μεταβολής ενώ στις άλλες είτε υπάρχει ταύτιση για μικρό χρονικό διάστημα είτε είναι τελείως αντίθετος. Και εδώ όμως είχαμε διαφοροποιήσεις στον καιρό κυρίως μετά τα πρώτα 50 λεπτά και μέχρι τα 100 λεπτά όπου άρχισαν να πυκνώνουν τα σύννεφα. Έτσι και σε αυτό το σετ παρατηρούμε ότι εκεί που ταυτίζονται περισσότερο τα δύο μεγέθη είναι στο διάστημα όπου υπάρχουν μεταβολές του καιρού.

Ακολουθεί η ανάλυση και επεξεργασία των διαγραμμάτων του τέταρτου σετ μετρήσεων..

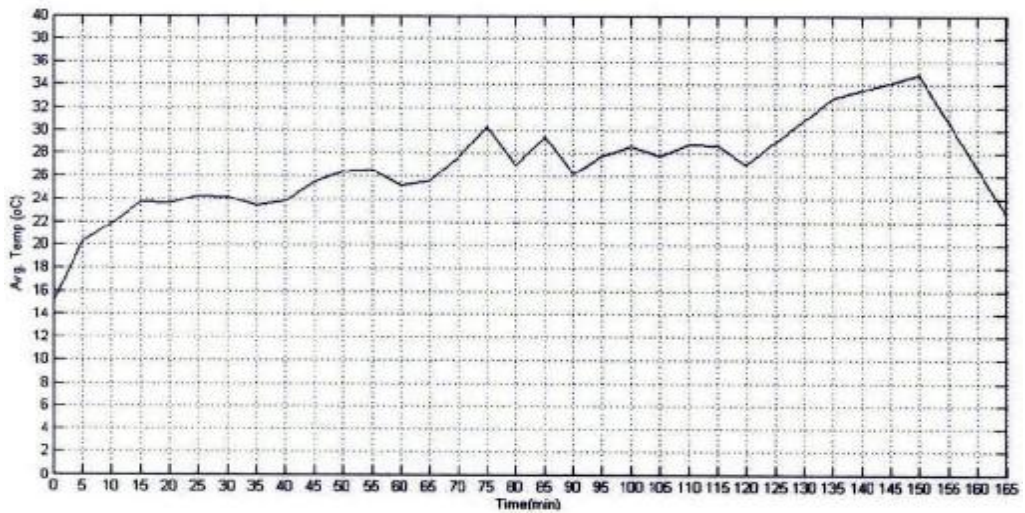
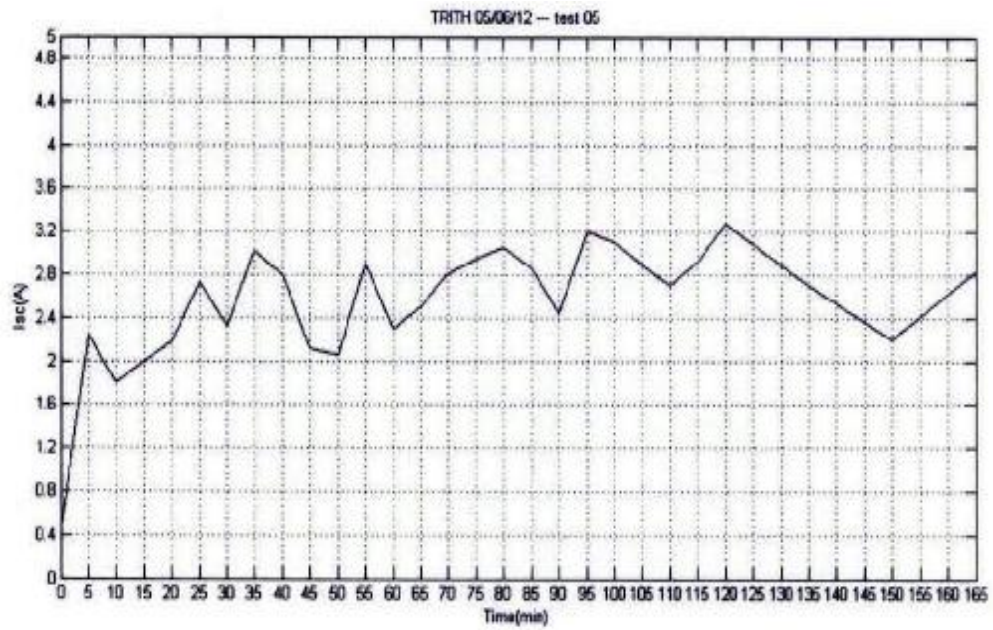




Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-20	Αύξηση ως 10' + μείωση ως 15' + Αύξηση	Αύξηση
20-40	Αύξηση ως 24' + μείωση	Σταθ (αυξομείωση) ως 30' + αύξηση ως 35' + μείωση
40-60	Μείωση ως 45' + αύξηση ως 50' + μείωση	Αύξηση ως 50' + Μείωση
60-80	Μείωση + Αύξηση	Αύξηση
80-100	Αύξηση + μικρότερη μείωση	Αύξηση + Μείωση
100-120	Σταθ(μικρή μείωση) + μείωση	Αύξηση + Μείωση
120-140	Αύξηση	Αύξηση
140-160	Μικρή μείωση + αύξηση	Μικρή αύξηση + μείωση
160-180	Μικρή αύξηση ως 165' + μείωση	Μείωση + Αύξηση
180-200	Μείωση ως 195' + μικρή αύξηση	Μείωση
200-220	Αύξηση	Σταθερή + αύξηση
220-240	Αύξηση ως 245' + μείωση	Αύξηση ως 245' + μείωση
240-260	Αύξηση	Αύξηση
260-280	Αύξηση και μείωση	Μείωση + αύξηση
280-300	Μείωση ως 285' + αύξηση	Αύξηση ως 285 + μείωση
300-320	Σταθ ως 315' + μείωση	Αύξηση
320-340	Μείωση + Αύξηση	Αύξηση + μείωση
340-360	Αύξηση ως 345' + μείωση	Μικρή μείωση

Και από αυτά τα διαγράμματα διαπιστώνουμε μία μικτή συμπεριφορά. Σε μερικές χρονικές περιόδους υπάρχει πλήρης ταύτιση, και σε μερικές μερική ταύτιση για μικρό διάστημα αλλά στο μεγαλύτερο μέρος παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει καμία ταύτιση και υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση.

Ας δούμε όμως πρώτα και τον τελευταίο πίνακα που βγαίνει από τα διαγράμματα μας.



Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-5	Αύξηση	Αύξηση
5-10	Μείωση	Αύξηση
10-15	Αύξηση	Αύξηση
15-20	Αύξηση	Σταθερή
20-25	αύξηση	Μικρή αύξηση
25-30	Μείωση	Σταθερή
30-35	Αύξηση	Μείωση
35-40	Μείωση	Αύξηση
40-45	Μείωση	Αύξηση
45-50	Μικρή μείωση	Αύξηση
50-55	Αύξηση	Αύξηση
55-60	Μείωση	Μείωση

60-65	Αύξηση	Μικρή αύξηση
65-70	Αύξηση	Αύξηση
70-75	Αύξηση	Αύξηση
75-80	Αύξηση	Μείωση
80-85	Μείωση	Αύξηση
85-90	Μείωση	Μείωση
90-95	Αύξηση	Αύξηση
95-100	Μείωση	Αύξηση
100-105	Μείωση	Μείωση
105-110	Μείωση	Αύξηση
110-115	Αύξηση	Σταθερή
115-120	Αύξηση	Μείωση
120-150	Μείωση	Αύξηση
150-165	Αύξηση	Μείωση

Και στο τελευταίο σετ μετρήσεων τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι μικτά. Αλλά υπερτερεί ο διαφορετικός ρυθμός μεταβολής των δύο μεγεθών. Δηλαδή της μέσης θερμοκρασίας και του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Ωστόσο και εδώ υπάρχουν χρονικές περιοχές που η πορεία των δύο διαγραμμάτων ταυτίζεται αλλά και πάλι όπως και στα προηγούμενα πειράματα έτσι και σε αυτό τις στιγμές που συμβαίνει αυτό δεν υπάρχουν σταθερές καιρικές συνθήκες. Δηλαδή πάλι περίπου από τα 45-50 λεπτά μέχρι και τα 80 είχαμε μεταβαλλόμενες συνθήκες με συννεφιά άλλοτε ελάχιστη άλλοτε πολύ.

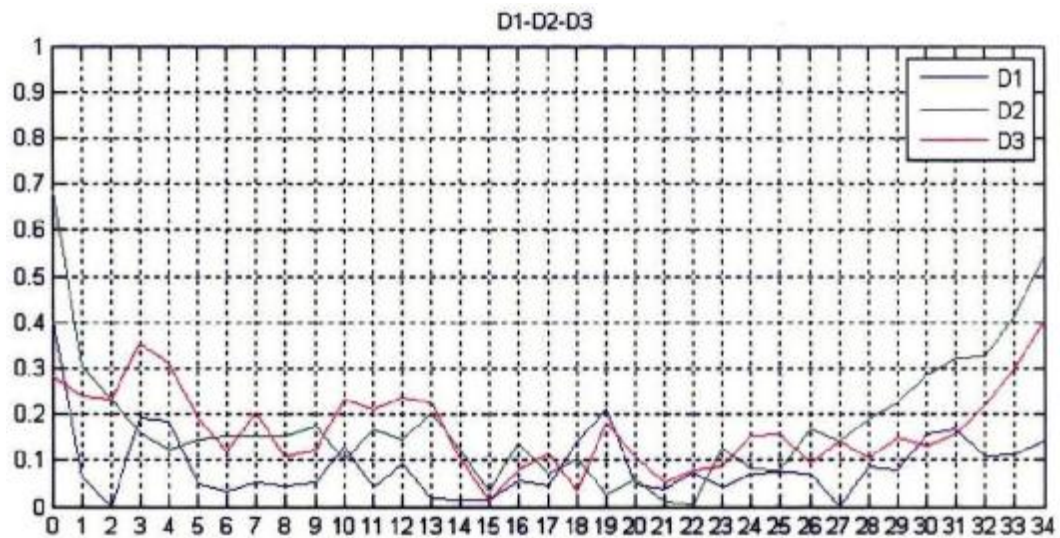
Εν κατακλείδι λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα γύρω από την συμπεριφορά και την σχέση ρεύματος-θερμοκρασίας.

Από τη θεωρία γνωρίζουμε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ανάλογο της ηλιακής έντασης. Επίσης η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών έχει άμεση σχέση όχι μόνο με την θερμοκρασίας περιβάλλοντος αλλά και με την μεταβολή της ηλιακής έντασης. Η σχέση θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού και της ηλιακής έντασης είναι ανάλογη. Δηλαδή αύξηση της ηλιακής έντασης συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού. Από αυτές τις δύο αναλογίες μπορεί να προκύψει ότι και η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογη της έντασης θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού.

Παρόλα αυτά, από την ανάλυση των διαγραμμάτων που προέκυψαν με βάση τις μετρήσεις μας και την επεξεργασία των θερμικών εικόνων, δεν βγαίνει το θεωρητικό αναμενόμενο αποτέλεσμα. Σε πολλές περιπτώσεις το ρεύμα και η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού δεν ακολουθούν κοινή πορεία ειδικά αν μιλάμε για σταθερές καιρικές συνθήκες. Στις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες ίσως επειδή η διαφορά της ηλιακής έντασης στο πάνελ είναι μεγαλύτερη και πιο αισθητή, υπάρχει αυτή η κοινή πορεία των δύο μεγεθών.

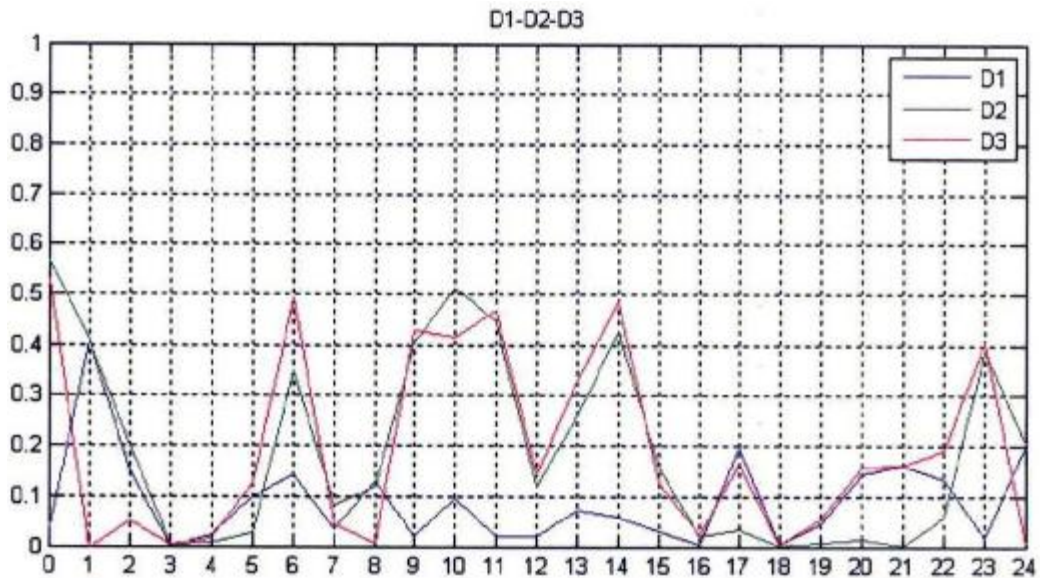
Επίσης η διαφορά αυτή της θεωρίας και των πρακτικών αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλεται και σε εξωγενείς παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού.

5. Ολοκληρώνοντας λοιπόν με την ανάλυση των διαγραμμάτων των μεγεθών περνάμε στο τελευταίο σκέλος της επεξεργασίας μας και των αποτελεσμάτων μας. Από τα κεφάλαια 4.1 και 4.2 εξηγήσαμε ότι πραγματοποιήθηκε ακόμα μία εργασία. Αυτή της συσχέτισης των 3 μεγεθών που ασχοληθήκαμε παραπάνω. Δηλαδή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, του ρεύματος βραχυκυκλώματος καθώς και της μέσης θερμοκρασίας. Έτσι για κάθε σετ μετρήσεων είχαν προκύψει 3 συντελεστές. Ο D1 που είναι η συσχέτιση ρεύματος και θερμοκρασίας πάνελ, ο D2 που είναι η συσχέτιση της τάσης με την θερμοκρασία και ο τρίτος και τελευταίος D3 που είναι η συσχέτιση τάσης και ρεύματος. Σύμφωνα με τη θεωρία αλλά και αποτελέσματα που βλέπαμε από τα διαγράμματα περιμένουμε ο D1 να κινείται σε χαμηλότερες τιμές. Αφού το ρεύμα και η θερμοκρασία είναι ανάλογα και από τα διαγράμματα έδειχναν να έχουν την ίδια μορφή αν και αυτό μετά την ανάλυση της προηγούμενης παραγράφου δεν φάνηκε τελικώς να ισχύει στις μετρήσεις μας. Πάμε ωστόσο να τα δούμε πάλι και να αναλύσουμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε. Όσο πιο χαμηλή η τιμή και όσο πιο σταθερή είναι στο χρόνο τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση των μεγεθών.

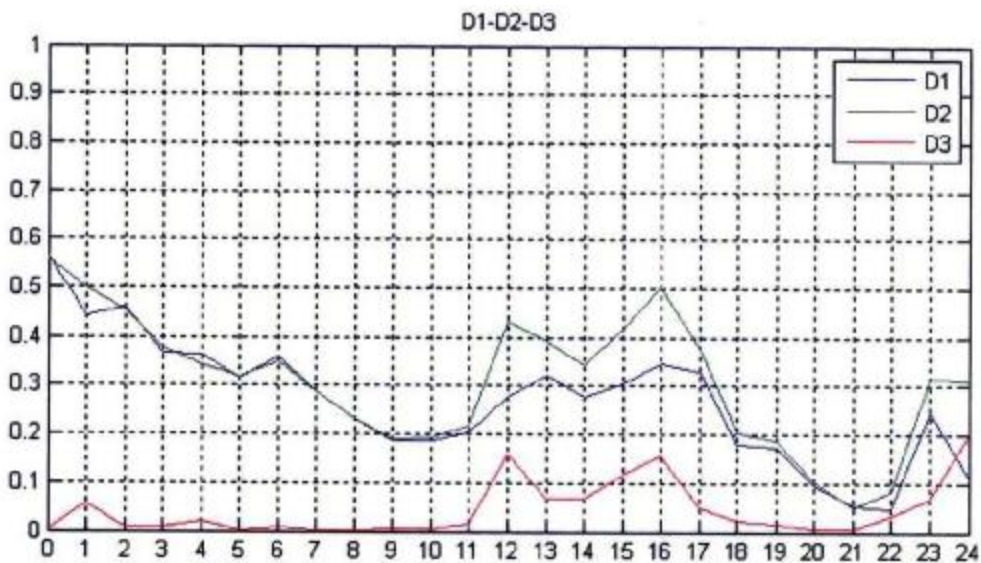


Στο πρώτο σετ μετρήσεων θα παρατηρήσουμε ότι από το κοινό διάγραμμα των συσχετίσεων(6.11) παρατηρούμε ότι το D1(σκούρο μπλέ) έχει πιο χαμηλές τιμές από τα άλλα 2 και μία γενικά πιο σταθερή πορεία. Όπως ήταν αναμενόμενο και από τη θεωρία μας το ρεύμα έχει ανάλογη πορεία με τη θερμοκρασία και άσχετα αν τελικά από την ανάλυση των διαγραμμάτων τους όπου αυτό δεν φάνηκε, εδώ με αυτόν το συντελεστή παίρνουμε το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Ωστόσο χαμηλοί παρουσιάζονται και οι άλλοι 2 συντελεστές μην έχοντας όμως τόσο μεγάλη σταθερότητα παρουσιάζοντας αρκετές μεταβολές.

Ας δούμε τώρα παρακάτω τους συντελεστές του δεύτερου σετ.



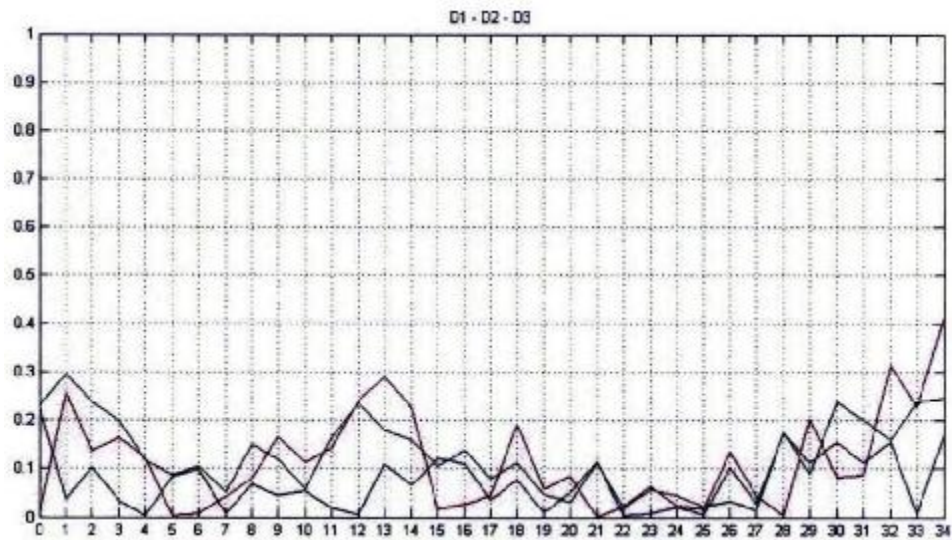
Σε αυτό το διάγραμμα(6.19) γίνεται ακόμα πιο αισθητή η σχέση ρεύματος και θερμοκρασίας. Το D1 εδώ κινείται σε πολύ πιο χαμηλές τιμές από τα υπόλοιπα δύο ενώ παραμένει και σταθερό σχετικά κάτω από 0,1 τον περισσότερο χρόνο. Δείγμα σαφές ότι ρεύμα και θερμοκρασία έχουν άμεση σχέση και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό το ένα από το άλλο. Θα δούμε παρακάτω αν και στα υπόλοιπα τρία διαγράμματα έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα.



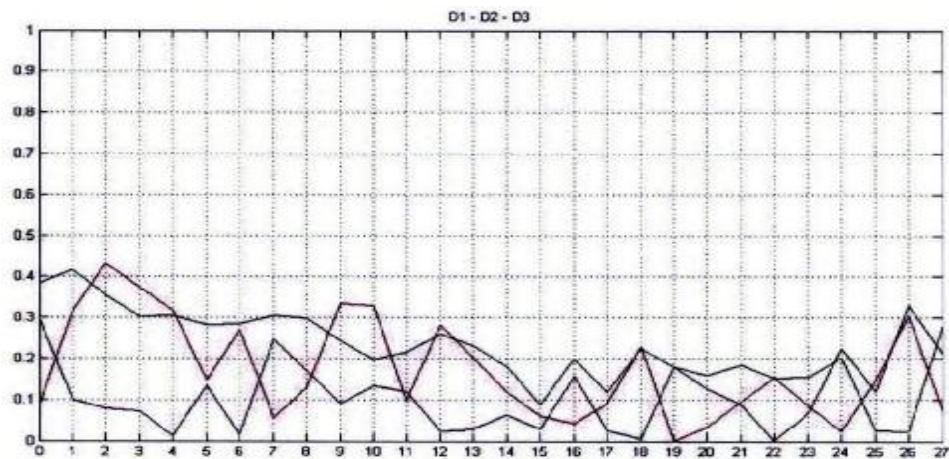
Στο τρίτο διάγραμμα(6.29) παρατηρούμε μία αλλαγή των συντελεστών. Δηλαδή αυτή τη φορά ο D3 που είναι η συσχέτιση τάσης και ρεύματος είναι πολύ χαμηλός και σταθερός ενώ D1, D2 έχουν πολύ πιο ψηλές τιμές αλλά και ασταθή πορεία στο χρόνο.

Αυτό βέβαια είναι λογικό και εύκολα αντιληπτό αν εξετάσει κανείς εποπτικά τα διαγράμματα τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας(6.20, 6.21, 6.22) της τρίτης ημέρας όπου θα δει τάση και ρεύμα να είναι σταθερά στο χρόνο σε αντίθεση με τη θερμοκρασία που συνεχώς αυξομειώνεται.

Παρακάτω λοιπόν θα δούμε τι πήραμε από το τέταρτο πείραμα.



Και εδώ λοιπόν στο διάγραμμα 6.39 το D1 είναι πιο χαμηλό και σταθερό σε σχέση με τα D2 και D3. Και εδώ λοιπόν επιβεβαιώνεται η σχέση ρεύματος και θερμοκρασίας του πάνελ. Ως τώρα με εξαίρεση το προηγούμενο διάγραμμα και στα τρία υπόλοιπα το D1 είναι ο χαμηλότερος και πιο σταθερός συντελεστής και μας δείχνει την ανάλογη σχέση που έχουν ρεύμα και θερμοκρασία. Τέλος ας δούμε και το τελευταίο διάγραμμα (6.47) και να βγάλουμε το τελικό αποτέλεσμα.



Όπως και στα 3 από τα 4 έτσι και πάλι εδώ φαίνεται ότι ο συντελεστής D1 λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές και έχει και την πιο σταθερή πορεία στο χρόνο.

Κατά συνέπεια των παραπάνω μπορούμε να πούμε με αρκετή στατιστική ασφάλεια που οφείλεται στα 4/5 των δειγμάτων (80%) ότι το ρεύμα και η θερμοκρασία είναι ανάλογα μεγέθη. Έτσι παρόλο που στην παράγραφο 4 δεν βλέπαμε ακριβώς αυτή την συμπεριφορά, μετά από αυτή την επεξεργασία καταλήξαμε στο παραπάνω αποτέλεσμα που είναι και κάτι που αναμέναμε από την θεωρία της λειτουργίας και συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

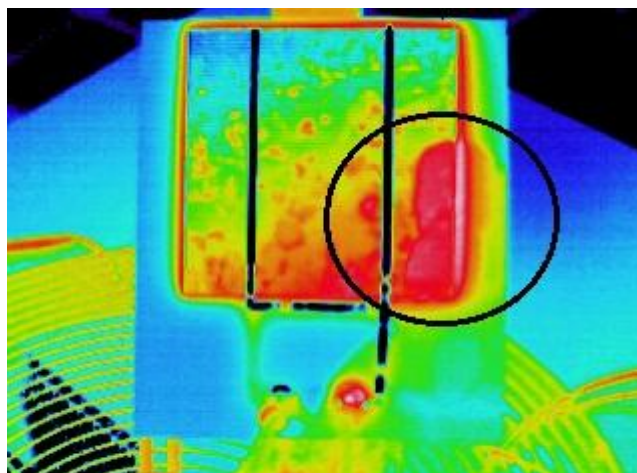
4.5 : Διαπιστώσεις κατά την διαδικασία – Σφάλματα

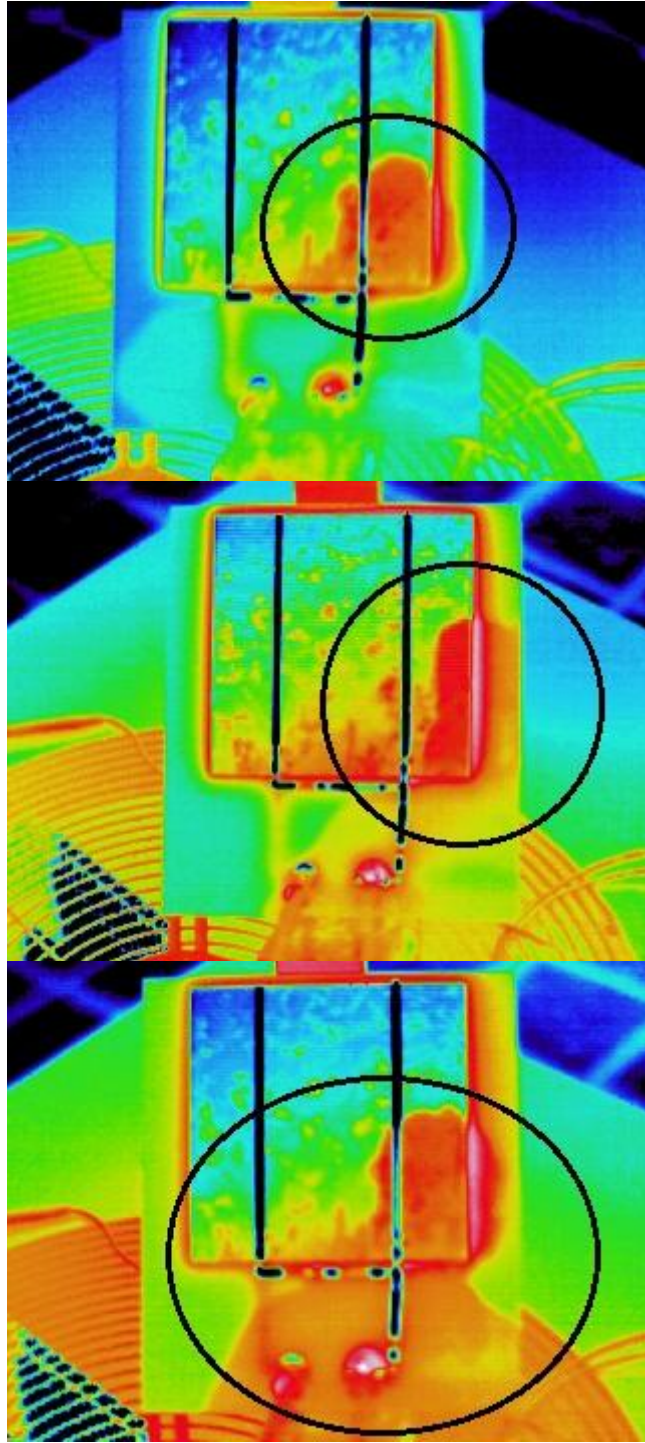
Αρχικά θα αναφερθούμε σε σφάλματα που παρατηρήθηκαν κατά τη διαδικασία και υπάρχει πιθανότητα να μας κατευθύνουν προς τα λάθος συμπεράσματα και αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα κάνουμε και μία αναφορά σε παρατηρήσεις γενικά από τις εικόνες και γενικότερα καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας και της πτυχιακής.

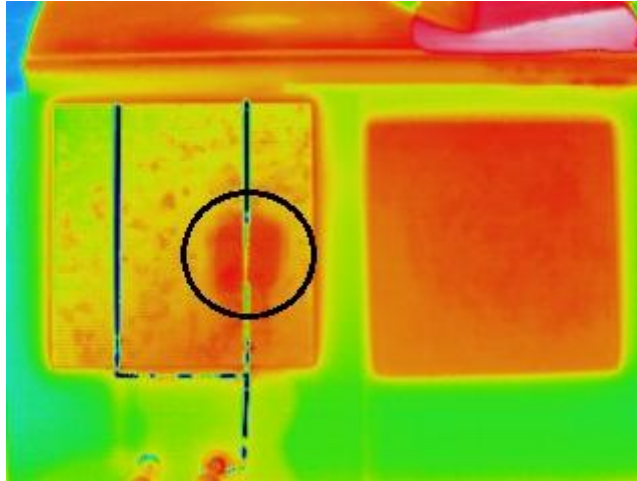
- Στο δεύτερο μέρος του τέταρτου κεφαλαίου λοιπόν θα αναφέρουμε μερικές διαπιστώσεις που έγιναν κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων καθώς και η επιβεβαίωση αυτών από την παρατήρηση στη συνέχεια των θερμικών εικόνων.

Το πρώτο και ίσως πιο βασικό σφάλμα που ίσως επηρέασε τις μετρήσεις μας αλλά κατά βάση τις εικόνες που πήραμε και κατά συνέπεια την επεξεργασία των εικόνων οφείλεται στον παρατηρητή-πειραματιστή. Όπως είναι γνωστό όλα τα αντικείμενα στον κόσμο ακόμα και τα πιο ψυχρά εκπέμπουν ακτινοβολία, η οποία επηρεάζει το περιβάλλον που τα περικλείει. Έτσι λοιπόν και το ανθρώπινο σώμα εκπέμπει μία τέτοια ακτινοβολία με τη μορφή θερμότητας.

Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι σε μερικές εικόνες ο παρατηρητής επηρέαζε το πάνελ με την θερμότητα του σώματος του και κατά συνέπεια επηρέαζε και την θερμική εικόνα αφού φανερά διακρίνεται το σχήμα του κεφαλιού σε μερικές από αυτές. Αυτό σημαίνει ότι προφανώς η επεξεργασία των εικόνων και η εξαγωγή της μέσης θερμοκρασίας εμπεριέχει ορισμένα σφάλματα και άρα τα αποτελέσματα έχουν πιθανότητα εσφαλμένων καταλήξεων. Σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και η θερμική κάμερα σαν αντικείμενο επηρέαζε τις εικόνες. Ευτυχώς όμως σε αυτή την περίπτωση το φαινόμενο δεν ήταν τόσο έντονο και σίγουρα το σφάλμα είναι μικρότερο. Ενδεικτικά παραθέτουμε παρακάτω φωτογραφίες με τα παραπάνω σφάλματα κυκλωμένα. Στις πρώτες τέσσερις φαίνεται ευδιάκριτα η μορφή ενός ανθρώπου ενώ στην τελευταία ένα τετράγωνο στίγμα όπου είναι η θερμική κάμερα. Όλα παρατηρήθηκαν μετά τη λήψη των εικόνων μιας και ενώ εμφανίζονται στην εικόνα και την επηρεάζουν, ούτε η κάμερα αλλά ούτε και ο παρατηρητής σκίαζαν το πάνελ σε κανένα χρονικό σημείο.







- Το δεύτερο σφάλμα αποτελείται από δύο σημεία και είναι το σφάλμα μέτρησης. Αυτό είναι το σφάλμα που προκύπτει από τα όργανα όπως είναι το πολύμετρο που χρησιμοποιήσαμε και δεύτερο είναι το σφάλμα του παρατηρητή. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι οι μετρήσεις που έχουμε πάρει να μην είναι 100% ακριβείς και σωστές. Το ίδιο συμβαίνει και στην επεξεργασία των εικόνων καθώς οι εικόνες περιέχουν και πληροφορία από τον περιβάλλοντα χώρο και έτσι έπρεπε να γίνει αποκοπή των φωτογραφιών για να απομονωθεί το πάνελ και να βγει η μέση θερμοκρασία. Διαδικασία που μόνο εύκολη δεν είναι και η πιθανότητα να μην γίνει σωστά σε ολόκληρη την εικόνα και να μείνουν περιοχές μέσα όπου να επηρεάσουν το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο και λογικό. Ορισμένες σκέψεις, προτάσεις και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα σχετικά με το αντικείμενο αυτό παρατίθενται στο τελευταίο κεφάλαιο. Το ίδιο συμβαίνει και με την τμηματοποίηση/κατάτμηση του πάνελ σε τεταρτημόρια καθώς πάλι μπορεί να μην είναι πάντα όλες οι περιοχές ίδιου (απολύτως) εμβαδού. Οπότε και εδώ εισέρχεται άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μας και των τελικών συμπερασμάτων.
- Τρίτο και τελευταίο σφάλμα έχει να κάνει με το ρυθμό δειγματοληψίας, την ικανότητα ταυτόχρονης μέτρησης-λήψης εικόνας και σταθερής θέσης κατά την λήψη. Παρατηρήσαμε λοιπόν ότι το πάνελ είχε άμεση απόκριση σε οποιαδήποτε μεταβολή ενέργειας. Η απόκριση αυτή ήταν της τάξεως των 1-2 δευτερολέπτων. Αυτό είχε ως συνέπεια ότι ένα δείγμα κάθε 5 λεπτά ίσως να μην είναι άκρως αντιπροσωπευτικό και ικανό να μας δώσει περισσότερες πληροφορίες γύρω από την συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

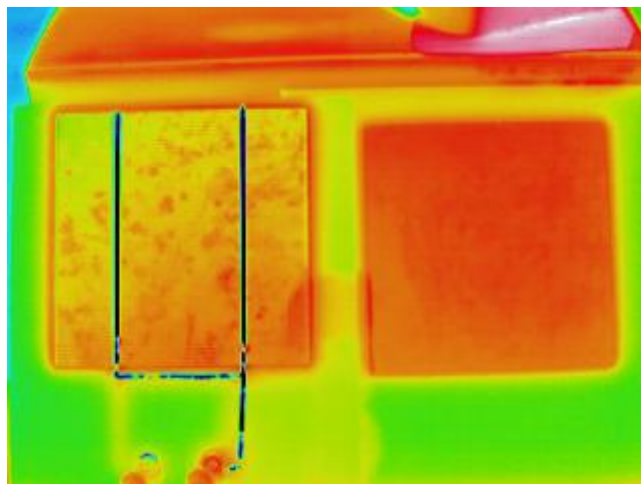
- Επιπρόσθετα έρχεται η ανικανότητα ταυτόχρονης λήψης εικόνας και καταγραφής μετρήσεων της τάσης και του ρεύματος. Αυτό σημαίνει ότι πρώτα γινόταν η λήψη της φωτογραφίας και στη συνέχεια η καταγραφή του ρεύματος και στη συνέχεια η καταγραφή της τάσης. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η εικόνα και οι μετρήσεις δεν αντιστοιχούν ακριβώς στην ίδια χρονική στιγμή. Πιθανώς να έχουν μια χρονική διαφορά της τάξης των 5-10 δευτερόλεπτων. Σε συνεργασία λοιπόν με την άμεση απόκριση του πάνελ σε οποιαδήποτε αλλαγή της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει οι μετρήσεις σε πολλά σημεία δεν αντιπροσωπεύουν την εικόνα μας και αντίστροφα.

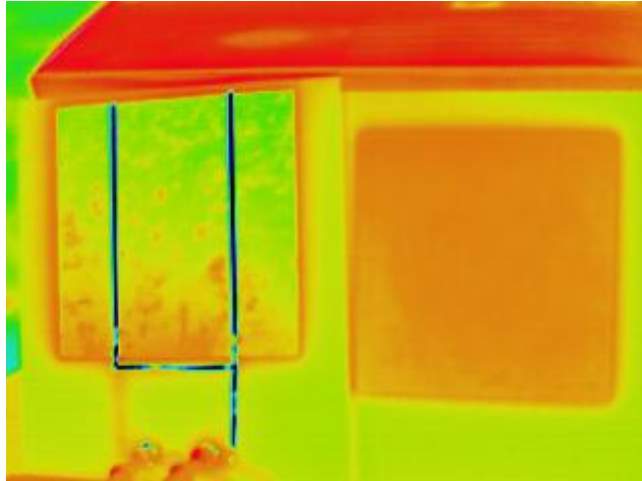
Αυτό φυσικά είναι αρκετά μεγάλο σφάλμα αλλά δυστυχώς τα εργαλεία που είχαμε στη διάθεση μας, φορητή θερμική κάμερα χειροκίνητης χρήσης και φορητό πολύμετρο, δεν μας επέτρεπαν διαφορετικού είδους προσέγγιση.

Φυσικά δεν ξέρουμε κατά πόσο θα είχαμε διαφορετικές εικόνες και πληροφορίες αν γινόταν να κρατήσουμε σταθερή τη θέση λήψης αφού αν κοιτάξει κάποιος της φωτογραφίες θα δει με ευκολία ότι αλλάζει τόσο η γωνία όσο και το ύψος από όπου έχει τραβηχτεί η εικόνα.

Ως παρατηρήσεις τώρα έχουμε να κάνουμε δύο αν και με αυτές δεν ασχοληθήκαμε κατά την ανάλυση και επεξεργασία.

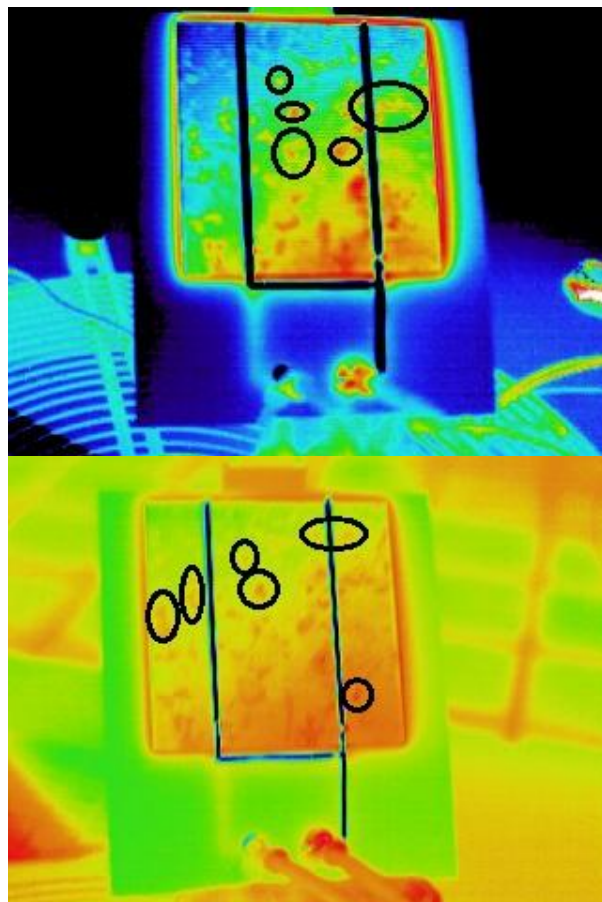
- Η πρώτη είναι ότι στα σετ μετρήσεων που διήρκεσαν 6 ώρες με αποτέλεσμα η γωνία του ηλίου να αλλάζει σημαντικά ως προς το πάνελ παρατηρήθηκε η σταδιακή μετατόπιση των θερμότερων περιοχών από δεξιά προς τα αριστερά ή η σταδιακή μεγαλύτερη θέρμανση της πιο ψυχρής πλευράς φτάνοντας στα επίπεδα της μέχρι εκείνης της στιγμής θερμότερης. Ακολουθούν ενδεικτικά μερικές θερμικές εικόνες ενώ όλες τους είναι διαθέσιμες στο κεφάλαιο 4.2 προς παρατήρηση.





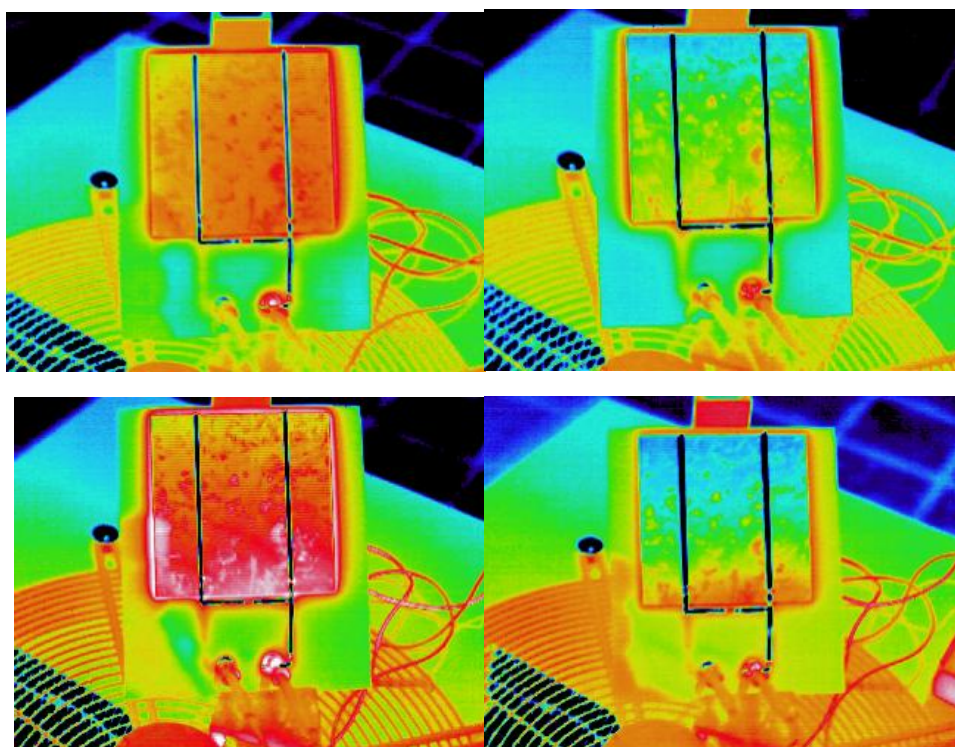
Στην πρώτη βλέπου το δεξιό τμήμα πιο θερμό ενώ στην δεύτερη που λήφθηκε πιο αργά την ίδια ημέρα να παρουσιάζεται θερμότερη η αριστερή πλευρά.

- Η δεύτερη παρατήρηση προκύπτει από τα διάφορα hot spots που εμφανίζονται στις εικόνες. Αυτά είναι κάποια σημεία ή περιοχές οι οποίες είναι ελαττωματικές και έχουν να κάνουν με την κατασκευή του πάνελ. Τα λεγόμενα defected areas (ελαττωματικές περιοχές) αποτελούν έναν ξεχωριστό και μεγάλο κλάδο επεξεργασίας εικόνων ακόμα και κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας για την κατασκευή πάνελ με όσο το δυνατόν λιγότερες ελαττωματικές περιοχές. Σημεία για μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.



- Τέλος μέσα από την οπτική επεξεργασία των θερμικών εικόνων καταλήξαμε σε συμπεράσματα σχετικά με δύο ερωτήματα που είχαν τεθεί κατά την έναρξη των εργασιών της πτυχιακής εργασίας. Πως θερμαίνεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και αν η παραγωγή της ενέργειας είναι ομοιόμορφη στο στοιχείο.

Στο πρώτο ερώτημα παρατηρήθηκε ότι το στοιχείο (πολυκρυσταλλικό) ήταν πιο θερμό στο κάτω μέρος και πιο ψυχρό στο επάνω. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα τόσο από τις εικόνες αλλά και από την επεξεργασία αυτών και την εξαγωγή της μέσης θερμοκρασίας κάθε τεταρτημορίου του στοιχείου, όπου τα επάνω τεταρτημόρια έχουν στο σύνολο των μετρήσεων μικρότερες τιμές από τα 2 κάτω. Ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω μερικές εικόνες, ενώ όλες είναι διαθέσιμες στο κεφάλαιο 4.2(σελ. 24-50) που έγινε η παρουσίαση όλων των εικόνων αλλά και των πινάκων των μετρήσεων και της επεξεργασίας των εικόνων.



Αυτό σίγουρα έχει να κάνει με την γωνία έκθεσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου στον ήλιο καθώς πιο πάνω στο ίδιο κεφάλαιο εξηγήσαμε ότι είναι επίσης εμφανή η σταδιακή μετατόπιση των θερμών περιοχών από δεξιά στα αριστερά όσο περνούσε η ώρα και άλλαζε η γωνία του ήλιο ως προς το στοιχείο.

Αντιθέτως στο στοιχείο άμορφου πυριτίου δεν παρατηρήθηκε η ίδια συμπεριφορά αλλά η θέρμανση του φαίνεται να είναι σε γενικές γραμμές ομοιόμορφη χωρίς μεγάλες διαφορές από τεταρτημόριο σε τεταρτημόριο.

Όσο για την παραγωγή ενέργειας στο στοιχείο δεν έχουμε αρκετά στοιχεία για να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα αλλά αν θεωρήσουμε ότι μία θερμότερη περιοχή σημαίνει και μεγαλύτερη ένταση του ρεύματος στην περιοχή αυτή τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι και η παραγωγή ενέργειας στο στοιχείο ακολουθεί την ίδια κατανομή με την θερμοκρασία.

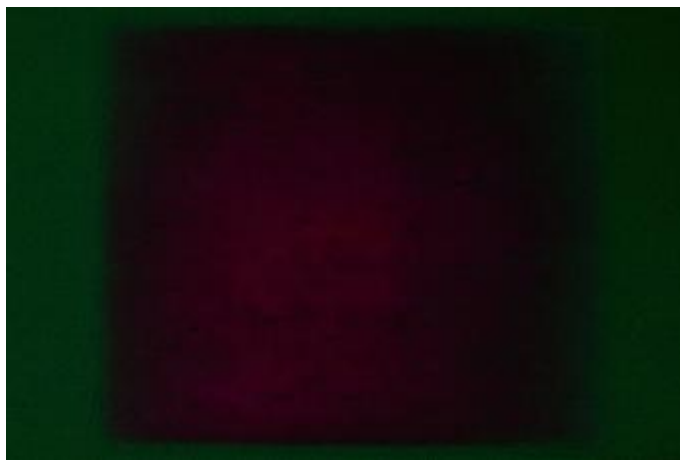
Κεφάλαιο 5: Μελλοντικές περιπτώσεις στην ανάλυση των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Φτάνοντας στο τέλος της πτυχιακής θα ήθελα να αναφέρω κάποιες προτάσεις για μελλοντική επεξεργασία πάνω σε εικόνες από φωτοβολταϊκά παίρνοντας αφορμή από την τελευταία παρατήρηση που κάναμε στην τελευταία παράγραφο του προηγούμενου κεφαλαίου.

Μία σημαντική πρόταση είναι κάτι που γίνεται παγκόσμια στην παραγωγική διαδικασία των φωτοβολταϊκών με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η επεξεργασία εικόνων φωτισμένες με υπέρυθη ακτινοβολία με σκοπό την αναγνώριση των ελαττωματικών σημείων και περιοχών. Είτε αυτό εκφραστεί σε καταμέτρηση των pixels της εικόνας που είναι μαύρα είτε σε ποσοστιαία κλίμακα επί του συνόλου της εικόνας.

Αυτό για να γίνει θα μπορούσε να γίνει με δύο τρόπους. Είτε τμηματοποίηση της εικόνας όπως έχει αυτή ληφθεί με φωτισμό υπέρυθρης είτε με την ίδια διαδικασία αλλά σε αλλαγμένη εικόνα σε ασπρόμαυρη κλίμακα(greyscale).

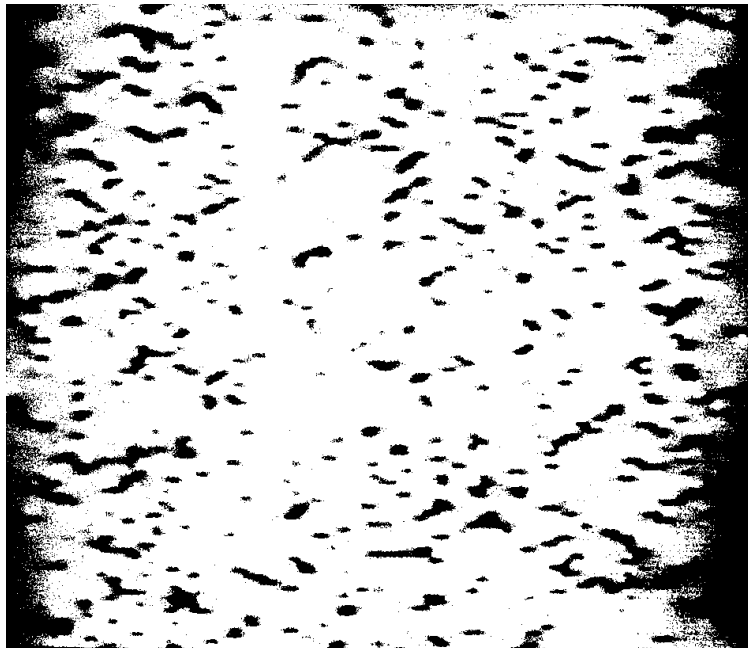
Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί με τη βοήθεια του Matlab ή άλλων προγραμμάτων επεξεργασίας εικόνας και ειδικού αλγορίθμου που θα επεξεργαζόταν την εικόνα. Αρχικά μεταφέροντας την σε άλλο χρωματικό χώρο όμως το greyscale ή τον L^*a^*b για να βρεθούν οι διαφορές ανάμεσα στα pixels. Στη συνέχεια θα χρειαζόταν η ομαδοποίηση των περιοχών της εικόνας για τον διαχωρισμό των διαφόρων τμημάτων που διαφέρουν αρκετά το ένα με το άλλο. Φιλτράρισμα της εικόνας για την απομάκρυνση του θορύβου και απομονωμένων pixel. Έτσι έχει γίνει η τμηματοποίηση της εικόνας με αποτέλεσμα να έχουμε μία εικόνα στην οποία πλέον έχουμε την απεικόνιση των ελαττωματικών περιοχών απομονώνοντας όποια άλλα σημεία και κάνοντας εφικτή την καταμέτρηση τους, τη εύρεση του μεγέθους τους και την μετάφραση αυτών σε αριθμό pixels ή σε ποσοστό. Ενδεικτικά θα δούμε κάποιες φωτογραφίες από μία τέτοια μέθοδο.



Αρχική εικόνα



Μεταφερμένη στον L*a*b χρωματικό χώρο



Μετά την ομαδοποίηση



Μετά το φιλτράρισμα



Τελική εικόνα

Από την τελική εικόνα όπως αναφέρθηκε μπορούμε πλέον να βρούμε σε το ποσοστό των ελαττωματικών περιοχών και την ποσότητα τους σε pixels. Για την συγκεκριμένη το ποσοστό βγαίνει στο 20,33% με 632.786 ελαττωματικά pixels.

5. Επίλογος :

Στόχος της πτυχιακής μας ήταν να αναλύσουμε, κατανοήσουμε τη συμπεριφορά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με τη χρήση και στοιχείων που έχουμε διδαχτεί κατά τη διάρκεια της φοίτησης μας στη σχολή. Χρησιμοποιήσαμε θερμική κάμερα και επεξεργαστήκαμε τις εικόνες και τις μετρήσεις που πήραμε. Έγινε προσπάθεια να πραγματοποιηθούν πειράματα σε διάφορες χρονικές περιόδους για την ανακάλυψη πιθανής αλλαγής της συμπεριφοράς ανά εποχή. Πιστεύω ότι αυτό επιτεύχθηκε στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Αναλύσαμε σε βάθος όλα τα αποτελέσματα που πήραμε από την επεξεργασία και καταλήξαμε σε αρκετά συμπεράσματα και διαπιστώσεις που άλλα τα περιμέναμε γνωρίζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από τα φωτοβολταϊκά και άλλα ήρθαν σε αντίθεση μερική ή πλήρη. Ακόμα και τα αποτελέσματα μας μερικές φορές το ένα αντέκρουε το άλλο ωστόσο έγινε η μέγιστη δυνατή προσπάθεια για την εξαγωγή των σωστών συμπερασμάτων.

Αναφερθήκαμε σε σφάλματα που έπρεπε να έχουν αποφευχθεί και προσπαθήσαμε να δώσουμε την σημαντικότητα αυτών έτσι ώστε να μην γίνουν στο μέλλον σε πιθανά παρόμοια πειράματα και έρευνες.

Τέλος έγιναν προτάσεις για πιθανές μελλοντικές έρευνες πάνω στα φωτοβολταϊκά με την βοήθεια εικόνων ενώ έγινε και αναφορά σε ήδη υπάρχουσες έρευνες και τεχνογνωσίες που χρησιμοποιούνται για την ποιοτικότερη κατασκευή και την βελτίωση απόδοσης των Φ/Β στοιχείων.

Βιβλιογραφία:

- 1) <http://el.wikipedia.org>.
- 2) Σημειώσεις Φωτοβολταϊκών Συστημάτων από Ηλίας Σταθάτος
- 3) Φωτοβολταϊκά Συστήματα από Στέφανος Δ. Γαζέας
- 4) <http://www.suncoenergy.gr>
- 5) 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και φυσικής της ατμόσφαιρας – Διάρκεια των ωρών της ηλιοφάνειας στον ελληνικό χώρο από Α. Ματζαράκης Β. Κατσούλης
- 6) <http://www.flir.com>
- 7) <http://lumasenseinc.com>
- 8) Organic solar cells characterized by dark lock-in thermography by Jonas Bachmann, ClaudiaBuerhop-Lutz, CarstenDeibel, IngoRiedel, HaraldHoppe, Christoph J.Brabec, VladimirDyakonov

Παραρτήματα 1

X Non-contact thermometry best done with thermal imagers



IVN 770-P

Saving of costs and time by early detection of failures



Portable thermal imager with unique cost/performance ratio for non-contact temperature measurement between -20 and 250°C

76800 pixels
4 times higher resolution than other cameras of same price class!

- ◆ 320 x 240 pixels
- ◆ Fully radiometric array
- ◆ Precise measurement, temperature resolution of 0,1°C
- ◆ Flip-up 3.5" LC display
- ◆ Video OUT (PAL/NTSC, S-Video)
- ◆ Large memory capacity (400 images)
- ◆ Incl. 1 licence of analysis and reporting software
- ◆ USB interface
- ◆ Export license free



The **IVN 770-P** is a portable high resolution thermal imager, which precisely measures temperatures between -20°C and 250°C with a small measurement uncertainty and a temperature resolution of 0.1°C.

Its lightweight (1.2 kg) compact design makes the IVN 770-P ideally suited for mobile applications. The thermal images have a high optical resolution of 76800 (320 x 240) measurement points. The

fully radiometric detector identifies the exact temperature of every single pixel.

The IVN 770-P is easy to hold and can be controlled by one hand. The integral laser targeting light helps to aim the camera at the target and the thermal image can then be stored in the internal flash memory (400 images). The images can also be displayed and examined immediately on the 3.5" LC display.

For fast data transfer to the PC the camera features a USB2.0 interface. Using special software the images can be displayed, analysed and documented on the PC.

Typical application:

- ◆ Building diagnostics
- ◆ Predictive maintenance
- ◆ Veterinary medicine

IMPAC – Competence in Infrared

Specification

Measurement data	Temperature ranges:	Range 1: -20°C ... 100°C, Range 2: 0°C ... 250°C, switchable range (automatic or manual)
	Temperature display:	°C or °F
	Measurement uncertainty :	+/-2°C or +/-2% of reading
Detector	Type:	Fully radiometric, uncooled focal plane array (UFPA)
	Spectral range:	8 to 14 µm
	Pixel H x W:	320 x 240
Camera settings	Temperature resolution (NETD):	0.1°C (30 °C, range 1)
	Emissivity control:	0.10 to 1.00 in steps of 0.01
	Focus:	Manual
Optic	Laserpointer:	Class 2 (1mW/635nm red)
	Field of view:	27° x 20°
	Measuring distance:	Min. 280 mm
Presentation	Measurable object size:	Min. 1.26 x 1.23 mm
	Spatial resolution (IFOV):	1.5 mrad
	Display:	Flip-up 3.5" LC display
Image Storage	Video Out:	Transfer of images from camera to an external display by PAL/NTSC or S-Video Output (using optional adapter)
	Picture mode:	Run / freeze
	Image update rate:	8.5 frames per second
	Data display:	Point temperature (movable point), emissivity, battery monitor, temperature span, colour palette, time, date
	Display colour:	Colour/monochrome, positive/negative (different scales)
	Colour palette:	Rainbow, brightness, shine, hot-iron, medical, fine
	Memory:	Internal flash memory for 400 images
	File format:	.sit
	Interface:	USB data transfer to PC
	System software:	Viewer software (freeware), Option: analysis and reporting software
Environment	Operation system:	Windows 2000, Windows XP
	Operating temperature:	-10 ... 45°C, humidity: max. 90%
	Storage temperature:	-40 ... 70°C, humidity: max. 90%
Power supply	Mains operation:	AC-adaptor: 100 to 240 V AC; 7.2 V DC
	Battery operation:	Rechargeable battery (operation: 2.5h)
	Power saving:	Stand-by, auto-shutdown
Further data	Dimensions:	102 mm x 217 mm x 205 mm
	Weight:	1.2 kg (including battery)
	Protection:	IP 54 (IEC 60259)
	Mounting:	1/4"
	Shock:	30G (IEC 60068-2-27)
	Vibration:	3G (IEC 60068-2-6)
	Warranty:	12 months (Option: extension to 24 months)

Reference numbers

3 830 300 Thermal imager IVN 770-P including:
Carrying case, AC charger for 2 batteries,
AC adaptor, USB interface cable,
Viewer software (Freeware), Analysis and
reporting software (1 licence), Wrist strap,
Lens cap, Works certificate,
Operation manual (German, English)



Robust carrying case



Works certificate with test results

Accessories, Service

3 830 760 Licence: analysis and reporting software
3 829 900 S-Video adapter (external display)
3 829 910 RCA adapter (external display)
3 829 920 Additional battery for IVN 770-P
3 829 960 13° x 10° Telephoto lens
3 829 970 54° x 40° Wide angle lens
3 830 940 Camera inspection
3 830 950 Camera inspection, re-calibration (with certificate)



AC adaptor

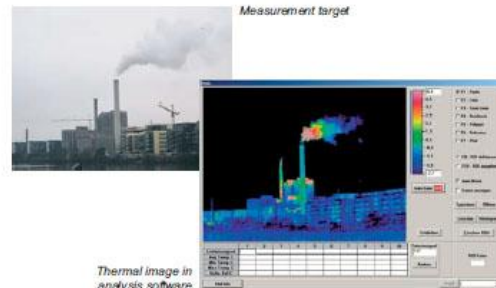


AC charger for batteries incl. 2 rechargeable batteries

Software

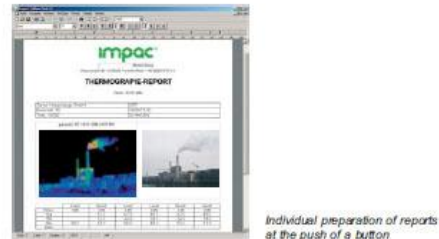
Viewer software

- ◆ Download thermal image from the internal memory to PC via USB
- ◆ Display thermal image thumbnail, thermal image replay, image preview
- ◆ Display of temperature distribution in the thermal image
- ◆ Setup i.e. temperature level and span, sense, colour palette, zoom
- ◆ Saving image in standard format (.bmp or .jpeg)



Option: Analysis and reporting software (1 licence included in the scope of delivery)

- ◆ Thermal image processing and report writing software
- ◆ All functionalities of viewer software
- ◆ Temperature display in specified areas (max, min and average), line profil
- ◆ Temperature difference between 2 points
- ◆ Isothermal display of image
- ◆ Automatic report making with template



Individual preparation of reports at the push of a button

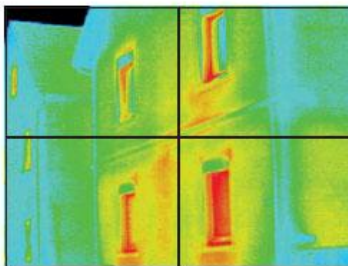
Optics

The IVN 770-P is supplied with a standard lens which is suitable for most applications. For specific applications, different lenses are available (telephoto, wide angle lens).

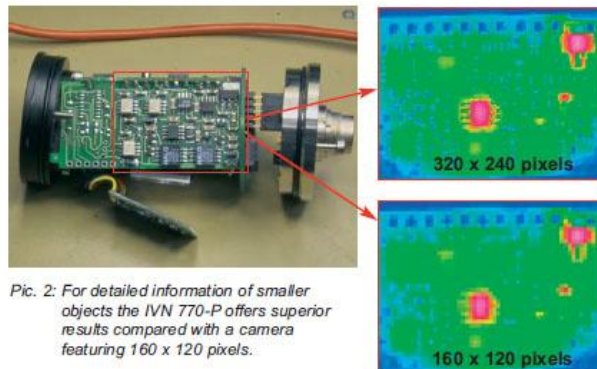
Due to the large amount of measurement data obtained, the camera provides excellent resolution. A high resolution image is of great importance in many applications in order to measure small objects (e.g. in process monitoring) or objects at long distances (e.g. in building inspection).

Distance of object [m]	Measurement field W x H [m]		
	27° x 20°	13° x 10°	54° x 40°
0.50	0.24 x 0.18	—	0.51 x 0.36
0.75	0.36 x 0.26	—	0.76 x 0.55
1.00	0.48 x 0.35	—	1.02 x 0.73
2.50	1.20 x 0.88	0.57 x 0.44	2.55 x 1.82
5.00	2.40 x 1.76	1.14 x 0.87	5.10 x 3.64
10.00	4.80 x 3.53	2.28 x 1.75	10.19 x 7.28

To give an example, the temperature distribution of a building has to be measured. At a distance of 20 m the IVN 770-P covers a measurement area of 10 x 7 m and a measurement point of 30 x 30 mm. If a camera has just half of the resolution (160 x 120 pixels), it results in a loss of measurement data for the area of interest on the building (please see picture below):



Pic. 1: Compared to IVN 770-P you need to take 4 thermal images with a 160 x 120 resolution camera to get the same temperature information in every pixel.



Pic. 2: For detailed information of smaller objects the IVN 770-P offers superior results compared with a camera featuring 160 x 120 pixels.

Distance of object [m]	0.3	2	8	20	50
Meas. field W x H [m]	0.14 x 0.11	1.0 x 0.7	3.8 x 2.8	9.6 x 7.1	24.0 x 17.6
Pixel size W x H [mm]	0.5 x 0.4	3.0 x 2.9	12.0 x 11.8	30.0 x 29.4	75.0 x 73.5
Min. size of object H x W [mm]	1.4 x 1.3	9.0 x 8.8	36.0 x 35.3	90.0 x 29.4	225.1 x 220.4

Application

Building diagnostics

In building thermography there are several applications for the IVN 770-P:

- ◆ Quality check of thermal insulation (energy saving, avoidance of moisture and mould etc.)
- ◆ Reconstruction of building (insulation etc.)
- ◆ Building inspection and final acceptance (remedy of deficiencies)
- ◆ Detection of moisture/ leaks
- ◆ Search for pipes (floor heating etc.)

Predictive maintenance

The IVN 770-P is used in a broad area for predictive maintenance applications:

Thermography of electrical components

- ◆ Detecting potential or existing deficiencies or defects (overheating, fire danger)
- ◆ Identification of faulty components (process safety)
- ◆ Detection of too high operating temperatures, e.g. of engines (extension of physical life)
- ◆ Measurement in fields of low, middle and high voltage (switchboard, clamps, contacts, cable, fuses, transformers, generators, engines etc.)

Thermography of mechanical components

- ◆ Early detection of defects in machines and systems (overheating)
- ◆ Measurement of gears, mills, rotating shafts etc.

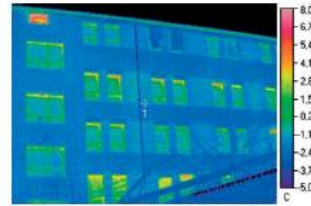
Further application

- ◆ Detection of tank levels, e.g. in chemical industry
- ◆ Measurement of pipe work, tanks, reactor, chimneys, pumps, cooling aggregates

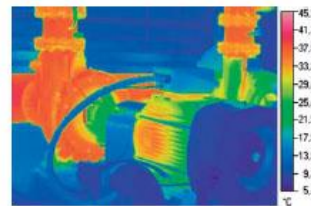
Veterinary medicine

In veterinary medicine there are also applications for the IVN 770-P:

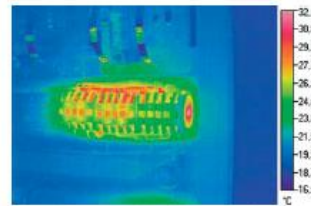
- ◆ Prophylactic examination (early detection of symptoms, prevention of serious injuries)
- ◆ detection of inflammation (muscles, tendons, joints)



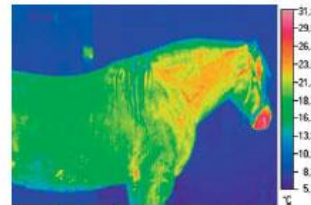
Check of building insulation before reconstruction. Often, there are weak points at roller blinds.



Measurement of temperature distribution of a compressor. By keeping the right operating temperature the life time can be considerably extended.



Search for potential defects of electrical contacts. In worst case this can lead to fire.



Examination of a horse regarding inflammation and other symptoms of disease.

IMPAC Infrared GmbH
Temperature Measurement

Kleyerstraße 90
D-60326 Frankfurt/Main

Phone: +49 (0)69-9 73 73-0
Fax: +49 (0)69-9 73 73-167

E-Mail: info@impacinfrared.com
Internet: www.impactinfrared.com



Specifications are subject to change without notice

IT2H7

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1268

**Καταγραφή και ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς
σε φωτοβολταϊκά στοιχεία με την επεξεργασία
θερμικών εικόνων από θερμική κάμερα**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΛΙΟΠΕΤΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ:

ΔΡ. ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΥΦΑΝΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Πρόλογος:

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους εισηγητές της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Απόστολο Υφαντή και Δρ. Χρήστο Θεοχαράτο καθώς και τον Δρ. Ηλία Σταθάτο για την αμέριστη βοήθεια τους στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας. Η βοήθεια τους και η πάντα καλή διάθεση ήταν κάτι περισσότερο από καταλυτική. Επίσης η παρούσα πτυχιακή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την παραχώρηση της θερμικής κάμερας από το εργαστήριο Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου και Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων.

Συμπληρωματικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Κωνσταντίνο Τσούνη και κ. Κωνσταντίνο Κωστόπουλο για την βοήθεια τους στην επιμέλεια της εργασίας και στην μετάφραση ξενόγλωσσων πηγών.

Στις παρακάτω σελίδες θα δούμε μερικά πράγματα για την ηλιακή ενέργεια και την θερμική κάμερα και πως λειτουργεί. Στο βασικό μέρος όμως θα ασχοληθούμε με την θερμική συμπεριφορά φωτοβολταϊκού στοιχείου κάτω από πραγματικές καιρικές συνθήκες με την βοήθεια μίας θερμικής κάμερας. Από τις εικόνες θα εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τυχόν θερμότερες περιοχές, ελαττώματα κατασκευής, εξάπλωση θερμότητας και καταμερισμό αυτής. Θα γίνει σύγκριση των θερμικών εικόνων με αντίστοιχες μετρήσεις για κατανόηση της ροής ρεύματος και της ύπαρξης τάσης στο στοιχείο και ακολούθως να θα βγουν συμπεράσματα σχετικά με την εικόνα που πήραμε μέσα από τα διαδοχικά σετ μετρήσεων και εικόνων.

Περίληψη:

Στην σύγχρονη εποχή οι ανάγκες για ολοένα και περισσότερη ενέργεια μεγαλώνουν συνεχώς. Ως εκ τούτου η αναζήτηση πηγών ενέργειας συνεχίζεται με ταχείς ρυθμούς. Ωστόσο τα τελευταία πενήντα χρόνια η συνεχόμενη κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο επιβάρυνε πολύ την ατμόσφαιρα της γης με αποτέλεσμα να πέφτει βάρος στην αξιοποίηση πηγών ενέργειας που δεν έχουν τόσο βλαβερές για την ατμόσφαιρα μας επιπτώσεις. Αυτές είναι οι λεγόμενες ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τελευταία επικρατούν πολύ και ως πράσινες. Μερικές από αυτές είναι η αιολική, γεωθερμική, θαλάσσια, ηλιακή και άλλες. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η αξιοποίηση αυτών των πηγών ενέργειας έχει γίνει εφικτή και πλέον γίνεται συνεχώς βελτιστοποίηση των μέσων συλλογής της ενέργειας με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες.

Μία άφθονη σε ενέργεια πηγή, ειδικότερα για τη χώρα μας, είναι ο ήλιος. Στην Ελλάδα τα ποσοστά ηλιοφάνειας, η μέση θερμοκρασία και οι γενικότερες κλιματολογικές συνθήκες ευνοούν την τοποθέτηση και λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων και γι' αυτόν το λόγο ο συγκεκριμένος τομέας έχει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας. Ωστόσο αν και η ενέργεια που στέλνει ο ήλιος είναι τεράστια, δεδομένου ότι μπορεί κανείς να αναλογιστεί ότι αν μπορούσε να αξιοποιηθεί χωρίς καμία απώλεια τότε σε μία ώρα θα είχαμε καλύψει όλες τις ενεργειακές μας ανάγκες για ένα χρόνο, η τεχνολογία συλλογής και εκμετάλλευσης δεν επιτρέπει ακόμα μεγάλα ποσοστά απόδοσης. Γι' αυτόν το λόγο γίνονται συνεχώς έρευνες με σκοπό την βελτίωση των στοιχείων και όλων των τμημάτων του εξοπλισμού ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση της ενέργειας. Το βασικότερο μέρος αυτών των ερευνών επικεντρώνεται στην θερμική συμπεριφορά των στοιχείων, στον τρόπο που αυτά επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες (ενδογενείς ή εξωγενείς) και στις επιπτώσεις που συνοδεύουν την απόδοσή τους.

Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται αναφορά στις διάφορες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στοιχείων που χρησιμοποιούνται σήμερα, και την κατασκευή τους. Επίσης περιγράφεται τι είναι και πως λειτουργεί μία θερμική κάμερα καθώς επίσης γίνεται αναφορά στις χρήσεις αυτής σε Φ/Β συστήματα και εγκαταστάσεις. Κυρίως όμως, η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην έρευνα με τη βοήθεια μίας φορητής θερμικής κάμερας της συμπεριφοράς δύο Φ/Β στοιχείων σε μη ελεγχόμενες συνθήκες για την κατανόηση και την εύρεση πιθανών παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Παράλληλα γίνονται μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών όπως η τάση ανοιχτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκύκλωσης στο ένα στοιχείο που είχε κατάλληλους ακροδέκτες. Σε αυτό το στοιχείο επικεντρωθήκαμε περισσότερο. Οι περισσότερες έρευνες γίνονται κάτω από ελεγχόμενες και συγκεκριμένες συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο η πειραματική διαδικασία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για να δούμε και μελετήσουμε την πραγματική απόδοση ενός στοιχείου σε πραγματικές συνθήκες και πραγματικό χρόνο.

Τέλος μέσα από τις πληροφορίες που μπορούμε να πάρουμε από τις εικόνες και την επεξεργασία τους καθώς και από τις μετρήσεις μας, προέκυψαν συμπεράσματα, ενώ έγινε εκτίμηση και αποτίμηση της συμπεριφοράς και απόδοσης των στοιχείων ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Τέλος έγινε προσπάθεια σύνδεσης των αποτελεσμάτων μας με διάφορες άλλες ερευνητικές προσπάθειες και μελέτες σε πιθανά κοινά αποτελέσματα και συμπεράσματα, παρά τις διαφορετικές μεθόδους δοκιμών.

Περιεχόμενα:

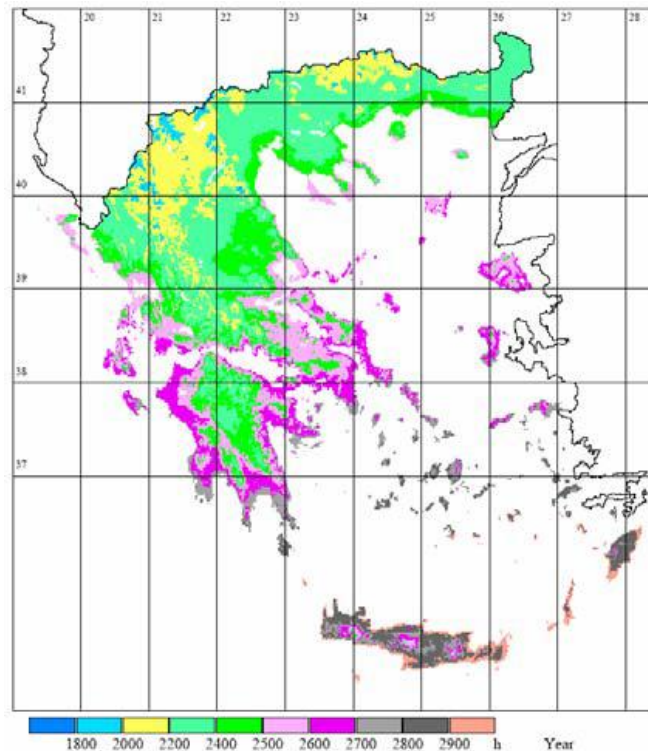
1. Κεφάλαιο 1 ^ο : Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά	3
1.1. : Τεχνολογίες κατασκευής Φ/Β συστημάτων	6
1.2. : Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων	7
1.3. : Κατασκευές-χρήσεις Φ/Β συστημάτων	8
2. Κεφάλαιο 2 ^ο : Εισαγωγή στη θερμική κάμερα	12
2.1. : Υπέρυθρη ακτινοβολία – Infrared radiation	12
2.2. : Λειτουργία της θερμικής κάμερας	13
2.3. : Τύποι θερμικών καμερών	13
2.4. : Χρήσεις	14
3. Κεφάλαιο 3 ^ο : Χρήσεις θερμικής κάμερας σε Φ/Β συστήματα και εγκαταστάσεις.....	16
4. Κεφάλαιο 4 ^ο : Ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς Φ/Β στοιχείου με θερμική κάμερα....	17
4.1. Ανάλυση εργασιών	18
4.2. Μετρήσεις – πειράματα	21
4.2.1. Σειτ μετρήσεων #1 – Σάββατο 03/12/2011	21
4.2.2. Σειτ μετρήσεων #2 – Κυριακή 04/12/2011	27
4.2.3. Σειτ μετρήσεων #3 – Σάββατο 10/12/2011	31
4.2.4. Σειτ μετρήσεων #4 – Τετάρτη 21/03/2012	36
4.2.5. Σειτ μετρήσεων #5 – Τρίτη 05/06/2012	43
4.3. Εξαγωγή και επεξεργασία δεδομένων – Γραφήματα	48
4.4. Αποτελέσματα επεξεργασίας	67

4.5. Διαπιστώσεις κατά τη διαδικασία – Σφάλματα	81
5. Κεφάλαιο 5: Μελλοντικές περιπτώσεις στην ανάλυση των φωτοβολταϊκών στοιχείων	87
6. Επίλογος	90
Βιβλιογραφία	
Παραρτήματα	

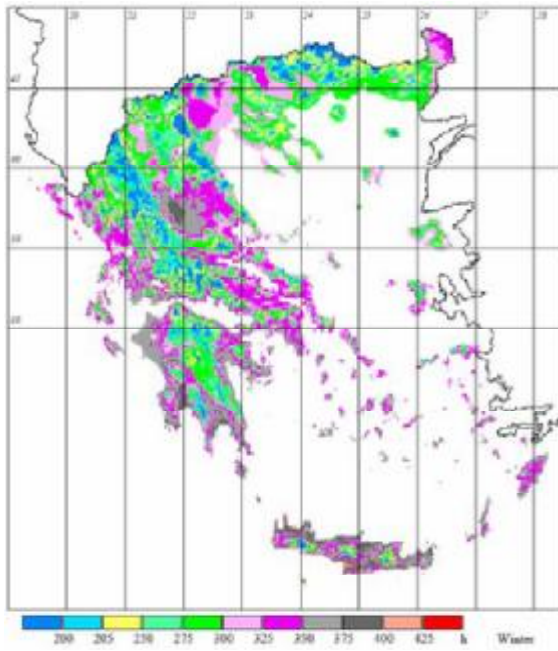
Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά.

Εάν σκεφτούμε ποια είναι η πιο άφθονη ενέργεια που μας παρέχεται από τη φύση στη χώρα μας θα δούμε ότι αυτή είναι η ηλιακή. Για αυτό το λόγο η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ευρέως διαδεδομένη από τοποθέτηση μικρών μονάδων σε σπίτια μέχρι τεράστια φωτοβολταϊκά πάρκα.

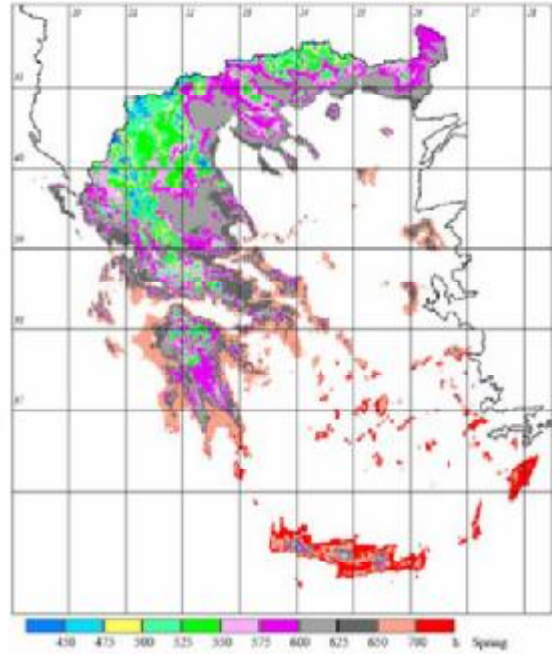
Παρουσιάζονται ενδεικτικά χάρτες με την διάρκεια ηλιοφάνειας στη χώρα μας αλλά και ένα γενικό χάρτη της Ευρώπης με την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία.



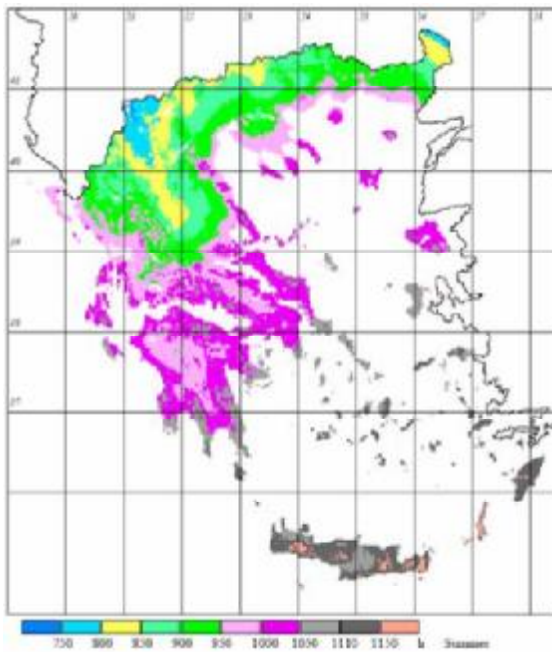
Ετήσια γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας, για τον Ελληνικό χώρο (σε ώρες).



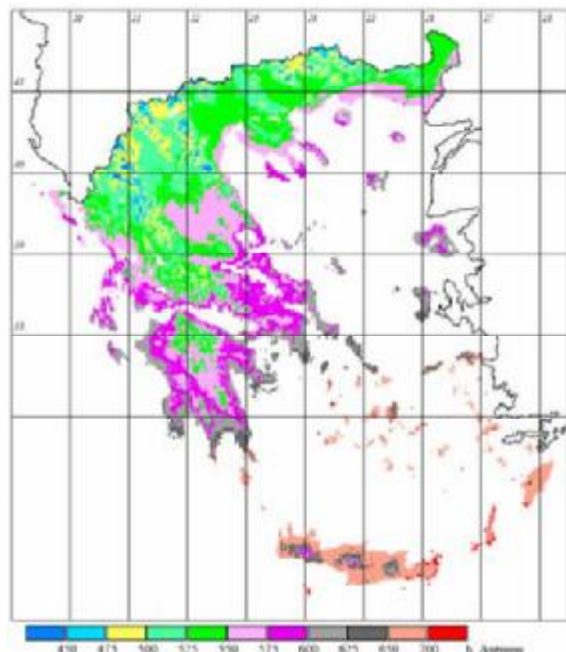
Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας το χειμώνα (σε ώρες).



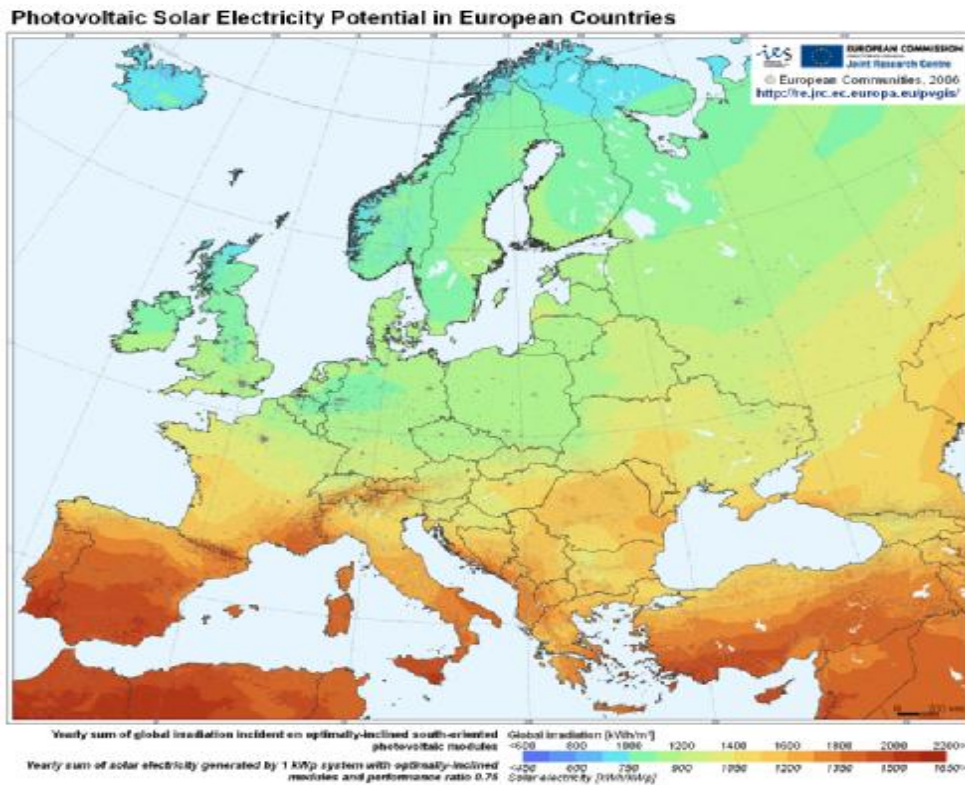
Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας την άνοιξη (σε ώρες).



Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας το καλοκαίρι (σε ώρες).



Γεωγραφική κατανομή της ηλιοφάνειας το φθινόπωρο (σε ώρες).



Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στην Ευρώπη

Όπως διακρίνεται με ευκολία από τις εικόνες η τοποθεσία παίζει ρόλο. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος διαφέρει και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής δηλαδή η διαθέσιμη ηλιοφάνεια, οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής καθώς και η εποχή. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει ο προσανατολισμός των στοιχείων και η γωνία ηλιακής ακτινοβολίας στο κάθε στοιχείο. Φυσικά είναι αυτονόητο ότι δεν θα πρέπει να υπάρχουν εξωγενής παράγοντες, όπως δέντρα, τοίχοι κλπ, που να σκιάζουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ εάν είναι δυνατόν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Για αυτό το λόγο παρατηρείται η εγκατάσταση τους είτε σε σκεπές, ταράτσες σπιτιών είτε σε ανοιχτούς χώρους.

Η βασική δομή ενός Φ/Β στοιχείου πυριτίου αποτελείται από ένα αντιανακλάστικό στρώμα, το ηλεκτρόδιο της μπροστινής πλευράς, τα δύο στρώματα του ημιαγωγού πυριτίου n και p καθώς και από το ηλεκτρόδιο της πίσω πλευράς. Τα στοιχεία αυτά είναι μικρά σε διαστάσεις και παράγουν μικρή ισχύ. Τα πλαίσια Φ/Β που βλέπουμε στην αγορά αποτελούνται από πολλά τέτοια στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά έχοντας κοινή ηλεκτρική έξοδο.

Η αρχή λειτουργίας ενός στοιχείου στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο που είναι η άμεση-απευθείας μετατροπή της απορροφούμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φως με τη μορφή ενέργειας (φωτόνια), με τη σειρά του θα επιδράσει στο ημιαγωγό στοιχείο, προκαλώντας έτσι την απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Η κίνηση των ηλεκτρονίων κατά συνέπεια παράγει ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο φυσικά θα μεταφερθεί μέσω του ηλεκτρικού κυκλώματος που υπάρχει.

1.1 : Τεχνολογίες κατασκευής Φ/Β συστημάτων.

Όσο η τεχνολογία αναπτύσσεται δεν θα μπορούσε να μην προσπαθεί να αναπτύξει και να βελτιώσει τα Φ/Β στοιχεία και πάνελ. Έτσι έχουμε Φ/Β 1^{ης}, 2^{ης} και 3^{ης} γενιάς.

Τα 1^{ης} γενιάς είναι στοιχεία πυριτίου(Si). Υπάρχουν όμως και εδώ διάφοροι τα τύποι όπως:

- Κατασκευή με μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (m-Si)
- Κατασκευή με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (p-Si)
- Κατασκευή άμορφου πυριτίου (a-Si)

Στα στοιχεία 2^{ης} γενιάς επικρατεί η κατασκευή λεπτών επιστρώσεων από διάφορα υλικά όπως:

- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)
- Κράματα Πυριτίου (a-SiGe, a-SiC)
- Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CIS)
- Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)
- Ετεροένωση (CuS / CdS)

Και σήμερα γίνονται όλο και πιο διαδεδομένα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία 3^{ης} γενιάς που είναι τα οργανικά, τα πολυμερή, και τα υβριδικά. Αυτά είναι:

- Οργανική ουσία και TiO₂
- Οργανικές χρωστικές ουσίες
- Στοιχεία από πολυμερικά υλικά
- Υβριδικά (CdSe)

1.2 : Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Όπως συμβαίνει σε όλες τις κατασκευές, υπάρχουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα για την κατασκευή ενός Φ/Β συστήματος.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η αθόρυβη λειτουργία τους επιτρέπει την εγκατάσταση τους ακόμα και εντός κατοικημένης περιοχής.
- Διαθέτουν μεγάλη διάρκεια ζωής και έχουν σε γενικές γραμμές υψηλή αξιοπιστία.
- Δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης.
- Δυνατότητα υβριδικής διασύνδεσης με άλλα συστήματα (π.χ. ανεμογεννήτριες-αιολικό πάρκο).
- Η απόδοση τους συνεχώς βελτιώνεται με νέες τεχνολογίες κατασκευής.

Φυσικά όμως υπάρχουν και μειονεκτήματα με το βασικότερο να είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και παραγόμενης KWh. Ωστόσο το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί φθίνουσα πορεία. Επίσης ως ένα ακόμα μειονέκτημα είναι ότι χρειάζονται καθαρίσματα τουλάχιστον μία φορά το χρόνο ανάλογα και με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στον τόπο τοποθέτησης του συστήματος.

Στη χώρα μας βέβαια υπάρχει και ένα ακόμη μειονέκτημα. Αυτό είναι ότι σε πολλές περιοχές το δίκτυο ηλεκτροδότησης έχει βγει κορεσμένο με αποτέλεσμα να μην προχωράνε κατασκευές αλλά να τίθενται και υπό στάση λειτουργίας πολλές άλλες. Έτσι υπάρχει περίπτωση να καθυστερήσει η πτωτική πορεία του κόστους παραγωγής.

1.3 : Κατασκευές – χρήσεις Φ/Β συστημάτων

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1 τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά και αποτελούν ένα πλαίσιο-πάνελ Φ/Β για τοποθέτηση σε μία κατασκευή ενός συστήματος.



Η τοποθέτηση ενός Φ/Β συστήματός γίνεται οπουδήποτε. Από στέγες σπιτιών, παράθυρα οροφής, φεγγίτες, ταράτσες, σε σκίαστρα ή περσίδες, σε οικόπεδα αναρτημένα σε βάσεις. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 1.2 λόγω της τελείως αθόρυβης λειτουργίας τους καθώς και των μηδενικών ρύπων, η εγκατάστασή τους γίνεται ακόμα και σε οικίες.

Υπάρχουν τρεις τρόποι κατασκευής αυτών των συστημάτων που παρατηρούνται. Η πρώτη και πιο διαδεδομένη είναι η διασύνδεση του συστήματος με ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας όπως στην Ελλάδα το δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης όμως παρουσιάζονται μερικές φορές και άλλοι τύποι κατασκευών όπως αυτόνομη τοποθέτηση, μη συνδεδεμένη σε δίκτυο, στη οποία όμως απαιτείται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες, συσσωρευτές.

Ένας τελευταίος τύπος εγκατάστασης που παρατηρείται μόνο σε μεγάλα ενεργειακά πάρκα είναι ο υβριδικός όπου συνδυάζεται η παραγωγή ενέργειας από διάφορες πηγές. Για παράδειγμα ο συνδυασμός Φ/Β συστήματος με γεννήτρια πετρελαίου ή ανεμογεννήτριες σε ένα αιολικό πάρκο.

Είναι κατανοητό λοιπόν ότι γίνεται χρήση των φωτοβολταϊκών σε όλους του τομείς για αυτό και παρατηρείται η χρήση τους σε σπίτια, επιχειρήσεις, εργοστάσια, ενεργειακά πάρκα, οικόπεδα ακόμα και στο διάστημα, όπου πολλοί δορυφόροι χρησιμοποιούν τα πάνελ για να είναι αυτόνομοι σε ενέργεια. Ενδεικτικά μερικές εικόνες από διάφορες κατασκευές ανά τον κόσμο.







Κεφάλαιο 2^ο : Εισαγωγή στη θερμική κάμερα

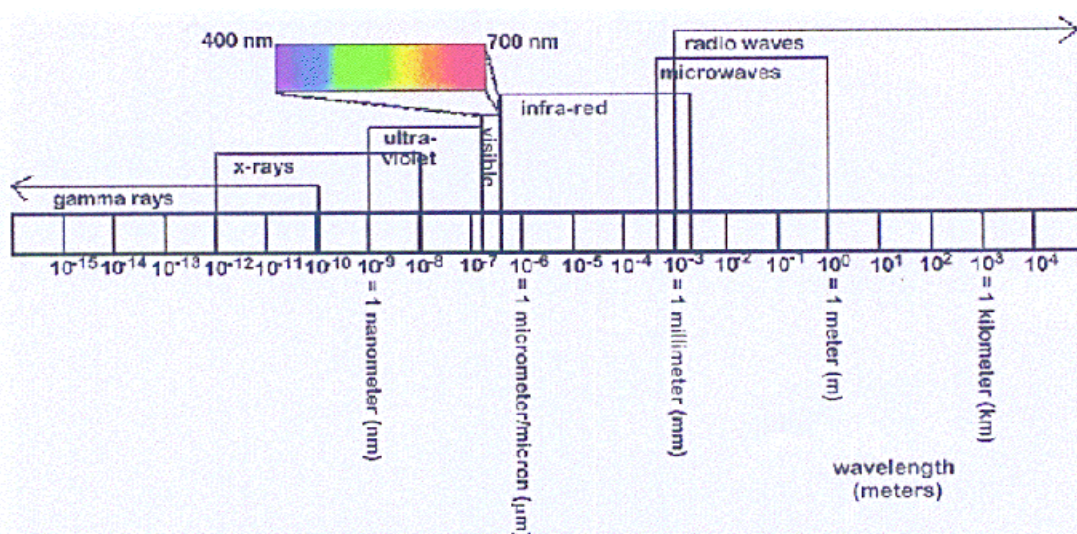
Το 1929 εμφανίστηκε για πρώτη φορά η θερμική κάμερα με χρήση σε αντιαεροπορικά όπλα από τον Kalman Tihanyi. Η πρώτη όμως συμβατική θερμική κάμερα ή αλλιώς κάμερα υπέρυθρων χρονολογείται κοντά στα τέλη της δεκαετίας του 1950. Σαφώς σήμερα η εξέλιξη των τεχνολογιών γύρω από αυτόν τον τομέα έχει ανάγει την θερμική κάμερα σε ένα από τα κορυφαία διαγνωστικά εργαλεία πάνω σε βιομηχανικές εφαρμογές.

Η θερμική κάμερα ή αλλιώς κάμερα υπέρυθρων δημιουργεί εικόνες καταγράφοντας την ακτινοβολία στο φάσμα των υπέρυθρων(infrared) με παρόμοιο τρόπο με μία απλή κάμερα που καταγράφει εικόνες στο φάσμα της ορατής ακτινοβολίας του φωτός. Στη συνέχεια της μετατρέπει σε εικόνες ορατές από το μάτι του ανθρώπου.

2.1 : Υπέρυθρη ακτινοβολία – Infrared radiation

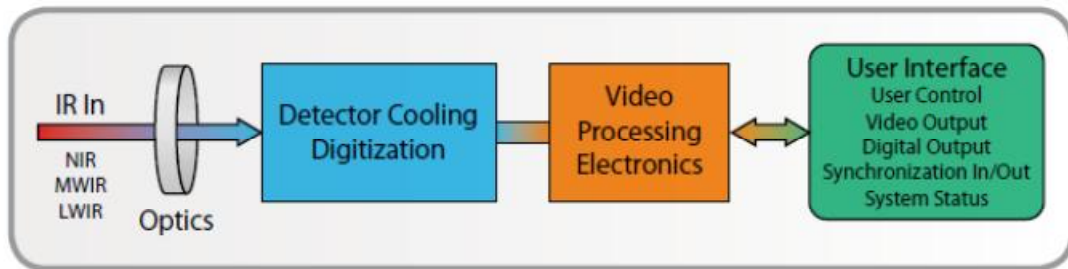
Ο άνθρωπος μπορεί να αναγνωρίσει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που βρίσκεται στο φάσμα του ορατού φωτός. Ωστόσο υπάρχουν και άλλες περιοχές και τύποι ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι η υπέρυθρη, που το μάτι του ανθρώπου δεν μπορεί να την δει.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία βρίσκεται ανάμεσα στο ορατό φάσμα και στα μικροκύματα. Η κύρια πηγή της ακτινοβολίας είναι η θερμότητα ή η θερμική ακτινοβολία. Κάθε σώμα που είναι πάνω από το απόλυτο μηδέν(0K ή -273 °C) εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία. Είναι εύκολα κατανοητό λοιπόν ότι καθημερινά περιβαλλόμαστε από υπέρυθρη ακτινοβολία και την νιώθουμε. Για παράδειγμα η ζέστη που νιώθουμε από τις ακτίνες του ηλίου. Ωστόσο είναι απόλυτα κατανοητό ότι και εμείς ως σώμα εκπέμπουμε τη δική μας ακτινοβολία στο φάσμα των υπέρυθρων.



2.2 : Λειτουργία της θερμικής κάμερας

Η θερμική κάμερα αποτελείται από τον φακό, τον ανιχνευτή υπέρυθρων, ένα ηλεκτρονικό μετατροπέα για επεξεργασία εικόνας καθώς και μία οθόνη προβολής των εικόνων. Ο φακός λαμβάνει την υπέρυθρη ακτινοβολία από ένα αντικείμενο και την μεταφέρει στον ανιχνευτή υπέρυθρων. Αυτός με τη σειρά του με την βοήθεια του ηλεκτρονικού μετατροπέα, μετατρέπει σε ορατή εικόνα αυτή την ακτινοβολία και στη συνέχεια προβάλλεται στην οθόνη της κάμερας.



Πέρα από την μετατροπή αυτή σε εικόνα που βλέπει το ανθρώπινο μάτι γίνονται και άλλες επεξεργασίες έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάγνωση σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) θερμοκρασιών από την εικόνα. Η απεικόνιση αυτή γίνεται συνήθως με διάφορους χρωματισμούς ή χρωματικές παλέτες όπως τα χρώματα του ουράνιου τόξου ή ασπρόμαυρη κατανομή (greyscale). Συνηθίζεται να απεικονίζονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες με χρώματα όπως το μπλέ και εντελώς ψυχρά το μαύρο και όσο ανεβαίνουμε θερμοκρασίες περνάμε από το πράσινο, στο κίτρινο και στη συνέχεια πιο κοντά στην περιοχή του κόκκινου. Η κλιμάκωση αυτή έχει να κάνει με την παλέτα που επιλέγει ο χρήστης ή υποστηρίζει η κάμερα καθώς και από την περιοχή θερμοκρασιών (εύρος μέτρησης) που επιλέγεται κατά τις μετρήσεις ή υποστηρίζει η κάμερα.

2.3 : Τύποι θερμικών καμερών

Υπάρχουν πολλοί τύποι θερμικών καμερών ή καμερών υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ωστόσο αν και όλες στηρίζονται στην αρχή της καταγραφής αυτής της ακτινοβολίας αλλάζουν μερικά από τα χαρακτηριστικά τους. Ίσως από τα πιο σημαντικά είναι ο ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR Detector). Υπάρχουν διάφοροι τύποι καθώς συνήθως η περιοχή χρήσης τους είναι μικρότερη από το φάσμα συχνοτήτων της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για αυτό το σκοπό ο χρήστης πρέπει να επιλέξει την κάμερα με τον κατάλληλο ανιχνευτή με βάση την χρήση για την οποία προορίζει την κάμερα.

Ουσιαστικά υπάρχουν δυο περιοχές που συνηθίζεται να μετράμε. Την χαμηλή/μέση περιοχή συχνοτήτων(SW/MW) 2-6 μm και τη υψηλή(LW) 8-14 μm . Οι περισσότερες κάμερες χρησιμοποιούν τους μικροβολομετρικούς(micro bolometers) ανιχνευτές που μπορούν να μετρήσουν όλο το εύρος. Ωστόσο για καλύτερες αποκρίσεις και ακρίβεια και για πιο συγκεκριμένες μετρήσεις υπάρχουν και άλλου είδους ανιχνευτές με περιορισμό σε μικρότερη περιοχή μετρήσεων, π.χ. LW, SW, αλλά με άλλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ο καθένας όπως ίσως η περιοχή της θερμοκρασίας λειτουργίας του σένσορα.

2.4 : Χρήσεις θερμικής κάμερας

Οι ανάγκες για μεγαλύτερη ασφάλεια των εγκαταστάσεων ειδικά στις βιομηχανίες και η καλύτερη πρόληψη των ατυχημάτων, έχει καταστήσει την χρήση θερμικής κάμερας σε πάρα πολλές βιομηχανικές εφαρμογές επιτακτική και πολύ σημαντική. Μεγάλο πεδίο χρήσης της κάμερας είναι σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, σε μηχανολογικές εγκαταστάσεις καθώς και σε πολλά άλλα πεδία της βιομηχανίας. Συνοπτικά θα δούμε παρακάτω σε μερικούς τομείς τι μπορεί να δει κάποιος με μία θερμική κάμερα.

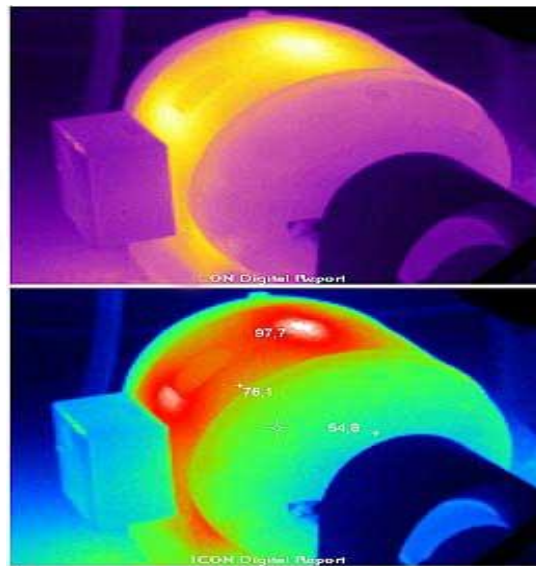
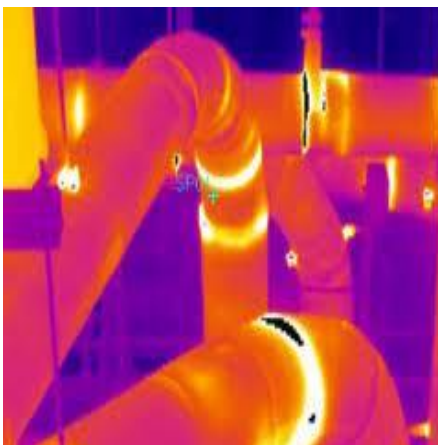
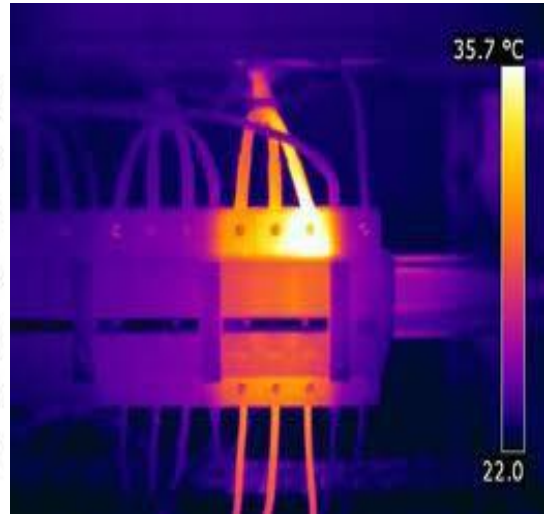
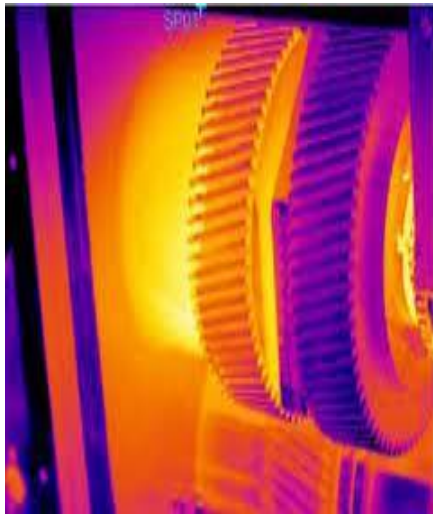
Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις υψηλής και χαμηλής τάσης

- Κακές συνδέσεις, κακή σύσφιξη συνδέσεων
- Ελαττωματικές μονώσεις
- Υπερθέρμανση συνδέσεων
- Οξείδωση διακοπών υψηλής
- Συνδέσεις υψηλής αντίστασης
- Ζημιά ασφαλειών και διακοπών

Μηχανολογικές εγκαταστάσεις

- Υπερθέρμανση κινητήρων
- Προβλήματα λίπανσης
- Αστοχίες
- Ελαττωματικά, φθαρμένα ρουλεμάν
- Υπερφορτωμένες σωληνώσεις
- Υπερθέρμανση αξόνων ενός κινητήρα
- Διαρροή σε σωλήνες, βαλβίδες κλπ
- Υποχωρήσεις μονώσεων

Φυσικά η χρήση δεν περιορίζεται μόνο σε αυτές τις δύο εφαρμογές αλλά χρησιμοποιείται ακόμα για επιθεώρηση ηλεκτρονικών συστημάτων όπως η μητρική ενός υπολογιστή, για ανίχνευση στάθμης σε δεξαμενές, ανίχνευση φλόγας μη ορατής πολλές φορές στο γυμνό μάτι, επιθεώρηση αεροναυτικών υλικών καθώς και άλλες πάρα πολλές εφαρμογές της τεχνολογίας και της βιομηχανίας.



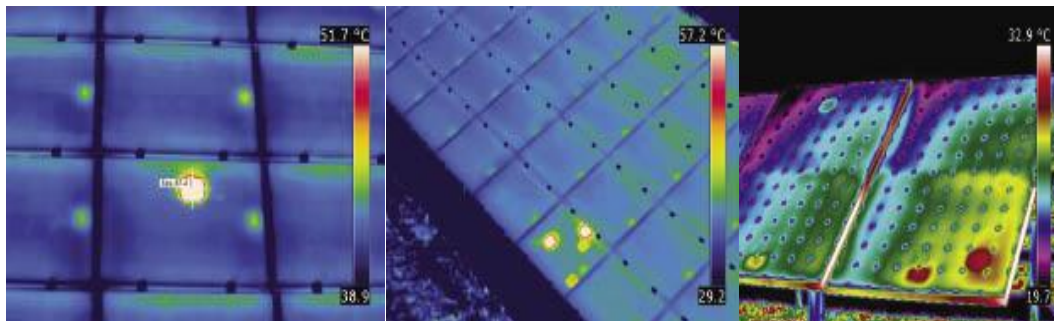
Κεφάλαιο 3^ο : Χρήση θερμικής κάμερας σε Φ/Β συστήματα και εγκαταστάσεις

Όπως προαναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες η χρήση της θερμικής κάμερας βρίσκει πεδίο χρήσης σε πάρα πολλούς τομείς. Ένας τομέας είναι τα φωτοβολταϊκά, τομέας που μας ενδιαφέρει άμεσα, αφού με αυτό ασχοληθήκαμε και θα αναλύσουμε τα ευρήματα στην επόμενη ενότητα.

Η χρήση της θερμικής κάμερας σε φωτοβολταϊκά πάνελ βρίσκει πρώτα από όλα εφαρμογή για την διασφάλιση της ποιότητας, όπου είναι πολύ βασική στα Φ/Β πάνελ. Είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να μην υπάρχουν ελαττωματικά προϊόντα αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια ζωής και την απόδοση της επένδυσης. Για αυτό το λόγο έλεγχοι γίνονται και κατά τη διάρκεια της παραγωγής αλλά και μετά την εγκατάσταση των πάνελ. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά με κυριότερο ότι η θερμική κάμερα έχει εφαρμογή ακόμα και κατά λειτουργία των πάνελ.

Ωστόσο εκεί που έχει καθιερωθεί ως ένα βασικότατο εργαλείο είναι στον τομέα της ανάπτυξης και της έρευνας, δίνοντας στους ερευνητές μία «εσωτερική» ματιά στα πάνελ και τη συμπεριφορά τους και την αξιολόγησή τους. Σε αυτήν τη φάση ελέγχου συνήθως η εξέταση των πάνελ γίνεται με δύο τρόπους και φυσικά κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες. Είτε με ηλεκτρική τροφοδοσία είτε με λάμπες για να εξασφαλιστεί η ύπαρξη αρκετής θερμικής ενέργειας για να γίνουν οι μετρήσεις, κάτι που σε πραγματικές συνθήκες δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί αφού η ενέργεια από τον ήλιο δεν είναι σταθερή και επηρεάζεται από πολλές συνθήκες.

Από την θερμική εικόνα μπορούμε να δούμε αν υπάρχουν πιο θερμά σημεία(hot spots) στο πάνελ ή θερμότερες περιοχές(hot areas). Αναλόγως με το μέρος και το είδος, σχήμα αυτών των θερμών σημείων και περιοχών μπορούν να αποκαλυφθούν διάφορα λάθη. Για παράδειγμα αν ολόκληρο το πάνελ είναι πιο θερμό από αυτό που θα έπρεπε τότε πολύ πιθανόν να υπάρχει πρόβλημα στις διασυνδέσεις ενώ αν ανιχνευτεί κάποιο σημείο πιο ζεστό τότε πολύ πιθανές αιτίες που παρουσιάζονται είναι οι ελαττωματικές δίοδοι παράκαμψης, ελαττωματικό κελί καθώς και πιθανά εσωτερικά βραχυκυκλώματα.



Κεφάλαιο 4^ο : Ανάλυση θερμικής συμπεριφοράς Φ/Β στοιχείου με θερμική κάμερα

Σε αυτό το κεφάλαιο που είναι και το βασικό μέρος αυτής της πτυχιακής εργασίας θα περιγράψουμε αναλυτικά την πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς θα παρουσιαστούν οι διάφορες μετρήσεις και τα αποτελέσματα αυτών. Φυσικά θα προσπαθήσουμε μέσα από τα συμπεράσματα που θα βγουν να κατανοήσουμε σε μεγαλύτερο βάθος την θερμική συμπεριφορά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου κάτω από μη ελεγχόμενες συνθήκες.

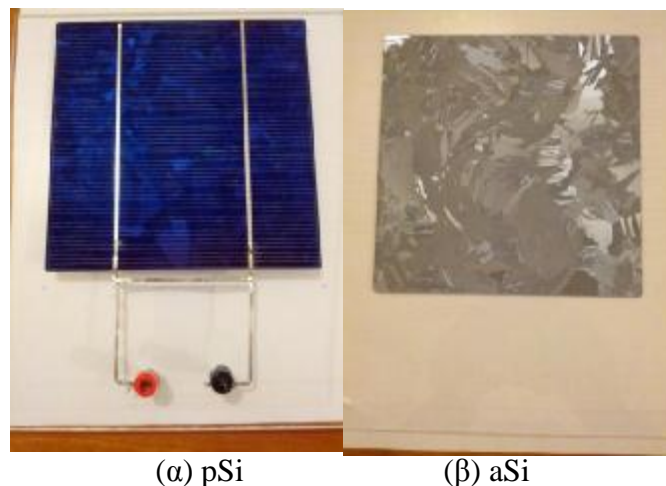
Για την ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς του στοιχείου όπως υπαγορεύει και ο τίτλος χρησιμοποιήθηκε μία θερμική κάμερα, φορητή, και οι μετρήσεις έγιναν σε φυσικό περιβάλλον. Αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού οι περισσότερες έρευνες γίνονται σε εργαστήρια και κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες.

Το μοντέλο της κάμερας που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι το INV 770-P της Imprac. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της είναι:

- Η ανάλυση 320 x 240 pixels(76800 pixels) που επιτρέπει την ανάλυση των εικόνων σε 76800 διαφορετικά σημεία με διαφορετική θερμοκρασία.
- Η ακριβής μέτρηση, με διακριτική ικανότητα 0,1°C
- Η ένδειξη των εικόνων που τραβάει ο χρήστης σε οθόνη 3,5" LCD
- Η χωρητικότητα 400 εικόνων
- Και η διασύνδεση της είτε με υπολογιστή μέσω θύρας USB είτε με απευθείας προβολή των εικόνων σε κάποιο άλλο μέσο μέσω Video Out.

Τα αναλυτικά τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας βρίσκονται στο παράρτημα 1.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε ένα πολυκρυσταλλικό(p-Si) φωτοβολταϊκό πάνελ εικόνα (α) καθώς και ένα άμορφου πυριτίου(a-Si) εικόνα (β).



Στο πολυκρυσταλλικό υπήρχαν και ακροδέκτες για την μέτρηση ηλεκτρικών στοιχείων όπως η τάση ανοιχτού κυκλώματος(V_{oc}) και το ρεύμα βραχυκύκλωσης(I_{sc}) όπως διακρίνεται και από την παραπάνω φωτογραφία.

4.1 : Ανάλυση εργασιών

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων χρήσιμων προς επεξεργασία και την κατάληξη σε συμπεράσματα εκτελέστηκαν διάφορες εργασίες και έγιναν κάποιες μετρήσεις, οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάστηκαν. Συγκεκριμένα η όλη διαδικασία χωρίζεται σε 2 στάδια.

- Στάδιο μέτρησης
- Στάδιο επεξεργασίας, που περιλαμβάνει την χρήση υπολογιστή και τα προγράμματα Micro Spec 4.0 της Impac για την επεξεργασία των εικόνων της θερμικής κάμερας και του Matlab 2012a για την επεξεργασία των μετρήσεων και την εξαγωγή διαγραμμάτων για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του πειράματος.

Αναλυτικότερα για το πρώτο στάδιο, αυτό των μετρήσεων έγιναν οι εξής εργασίες:

- Τοποθέτηση φωτοβολταϊκού στοιχείου/ων σε ταράτσα πολυκατοικίας για την αποφυγή σκιάσεων από φυσικά αντικείμενα. Η τοποθέτηση έγινε στις 45° μετά από υπόδειξη των εισηγητών
- Σύνδεση ακροδεκτών του πολυκρυσταλλικού στοιχείου με πολύμετρο για την μέτρηση και καταγραφή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος Voc(Volt) της κλίμακας περίπου των 0,5-0,6V, καθώς και την μέτρηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης Isc(A) της κλίμακας μερικών αμπερ(0-5A).
- Φωτογράφιση των στοιχείων με τη θερμική κάμερα ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα των 5, 10 και 15 λεπτών. Ανά σύνολο μετρήσεων (ημέρα μετρήσεων) πραγματοποιήθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί σε διάρκεια μετρήσεων καθώς και συχνότητα δειγματοληψίας. Για παράδειγμα σε σύνολο μετρήσεων 6 ωρών ακολουθήθηκε ο εξής ρυθμός καταγραφής. Για την πρώτη ώρα θερμική φωτογραφία και καταγραφή μετρήσεων ανά 5 λεπτά, για την δεύτερη ώρα ανά 10 λεπτά και τις υπόλοιπες 4 ώρες ανά 15 λεπτά για ένα δείγμα. Ενώ για μετρήσεις 2 ωρών η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά και για τις 2 ώρες ή 5 λεπτά την πρώτη ώρα και 10 λεπτά την δεύτερη ανάλογα με την εκτίμηση του πειραματιστή.

Με το πέρας των μετρήσεων, κάθε σύνολο χρειαζόταν κατάλληλη επεξεργασία. Σε αυτό το δεύτερο στάδιο εκτελέστηκαν οι παρακάτω διεργασίες:

- Με την χρήση του προγράμματος Micro Spec 4.0 της Impac που συνόδευε την θερμική κάμερα έγινε η εξαγωγή των εικόνων σε bmp format και στη συνέχεια η επεξεργασία κάθε μίας εικόνας ξεχωριστά με σκοπό την καταγραφή 2 στοιχείων. Τη μέση θερμοκρασία όλου του φωτοβολταϊκού στοιχείου/ων και τη μέση θερμοκρασία κάθε ενός από τα 4 τεταρτημόρια των ηλιακών πάνελ. Τοποθέτηση των θερμοκρασιών αυτών στον πίνακα με την τάση και το ρεύμα για την αντίστοιχη χρονική στιγμή.
- Αφού ολοκληρωνόταν η εξαγωγή της μέσης θερμοκρασίας για κάθε φωτογραφία, τότε με την βοήθεια του προγράμματος Matlab παράχθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα: Τάσης-Χρόνου $V(t)$, Ρεύματος-Χρόνου $I(t)$, Μέσης θερμοκρασίας-Χρόνου $T_{avg}(t)$ και μέσης θερμοκρασίας κάθε τεταρτημορίου με το χρόνο. $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$.

1.1	1.2
2.1	2.2

Τεταρτημόρια Ηλιακού πάνελ

- Επίσης πέρα από αυτά τα γραφήματα έγιναν άλλα 3 με μία ιδιαίτερη επεξεργασία πρώτα. Έγινε η συσχέτιση των τριών βασικών μεγεθών που μετρήσαμε. Τάση(V_{oc}), ρεύμα(I_{sc}) και μέση θερμοκρασία πάνελ(T_{avg}). Για να γίνει η συσχέτιση πρώτα έγινε κανονικοποίηση αυτών διαιρώντας όλες τις μετρήσεις με την μέγιστη από αυτές έτσι ώστε να γίνει αναγωγή των μετρήσεων σε τιμές από 0 έως 1. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι απόλυτες τιμές των διαφορών αυτών των μεγεθών και συγκεκριμένα του ρεύματος με την θερμοκρασία ($I_n - T_{avg_n}$), της τάσης με τη θερμοκρασία ($V_n - T_{avg_n}$), και του ρεύματος και της τάσης ($I_n - V_n$). Αυτά ονομάστηκαν D1, D2, D3 αντίστοιχα που είναι και η συσχέτιση των μετρήσεων αυτών.

Χαρακτηριστικά ακολουθούν οι εντολές του Matlab στη γενική τους μορφή.

`time=[...];` **Χρόνος σε minutes**

`Voc=[...];` **Τάση σε mVolts**

`Isc=[...];` **Ρεύμα σε Ampere**

`Tc=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius – mSi**

`Tc11=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.1 τεταρτημορίου mSi**

`Tc12=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.2 τεταρτημορίου mSi**

`Tc21=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.1 τεταρτημορίου mSi**

`Tc22=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.2 τεταρτημορίου mSi**

`Tr=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius – aSi**

`Tr11=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.1 τεταρτημορίου aSi**

`Tr12=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 1.2 τεταρτημορίου aSi**

`Tr21=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.1 τεταρτημορίου aSi**

`Tr22=[...];` **Μέση θερμοκρασία σε Celsius 2.2 τεταρτημορίου aSi**

`Vd=Voc/max(Voc);` **Κανονικοποιημένη τάση**

`Id=Isc/max(Isc);` **Κανονικοποιημένο ρεύμα**

`Td=Tc/max(Tc);` **Κανονικοποιημένη θερμοκρασία**

D1=abs(Id-Td); Συσχέτιση ρεύματος - θερμοκρασίας
D2=abs(Vd-Td); Συσχέτιση τάσης - θερμοκρασίας
D3=abs(Id-Vd); Συσχέτιση ρεύματος τάσης

a=αριθμός μετρήσεων(σημεία μείον 1 αφού μετράμε ξεκινάμε από το μηδέν) Π.χ.
για 31 σημεία δόθηκε a=0:1:30;

subplot(2,2,1),plot(time,Voc); γράφημα V(t)
xlabel({'Time(min)'});
ylabel({'Voc(mV)'});
title({'ΗΜΕΡΑ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ --- ΤΕΣΤ #'});

subplot(2,2,2),plot(time,Isc); γράφημα I(t)
xlabel({'Time(min)'});
ylabel('Isc(A)');
title({'ΗΜΕΡΑ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ --- ΤΕΣΤ #'});

subplot(2,2,3),plot(time,Tc); γράφημα T_{avg}(t)
xlabel({'Time(min)'});
ylabel('Avg. Temp (oC)');

subplot(2,2,4),plot(time,Tc11,time,Tc12,time,Tc21,time,Tc22);
κοινό γράφημα T_{avg1.1}(t), T_{avg1.2}(t), T_{avg2.1}(t), T_{avg2.2}(t)

xlabel({'Time(min)'});
ylabel('Avg. Temp (oC) of 4 quarters');

figure, subplot(2,2,1),plot(a,D1); γράφημα συσχέτισης D1
subplot(2,2,2),plot(a,D2); γράφημα συσχέτισης D2
subplot(2,2,3),plot(a,D3); γράφημα συσχέτισης D3
subplot(2,2,4),plot(a,D1,a,D2,a,D3); γράφημα συσχέτισης D1,D2,D3

4.2 : Μετρήσεις – Πειράματα

4.2.1 : Σετ μετρήσεων #1 – Σάββατο 03/12/2011

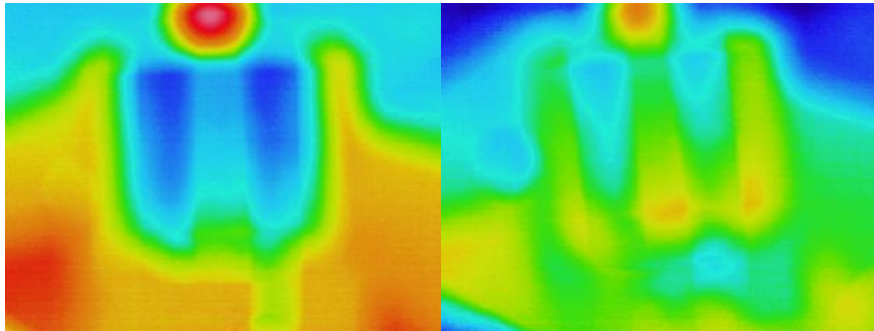
Στο πρώτο τεστ πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφιών μόνο στο πολυκρυσταλλικό πάνελ για 6 ώρες (10 πρωί έως τις 4 το μεσημέρι) καθώς και μέτρηση τάσης και ρεύματος του πάνελ και έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων και εικόνων όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18).

Πίνακας 1.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. (°C)	Μέση Θερμ. 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. 2.2 (°C)
1	0	580	3	7.2	6	5.9	7.8	8
2	5	576	3.15	15.8	14.7	15.2	16.5	17.3
3	10	573	3.15	17.3	15.6	17.2	17.4	19.1
4	15	566	2.6	18.7	17.5	18.4	19.2	20.4
5	20	568	2.8	19.6	18.4	19.5	19.9	21.2
6	25	570	3.3	19.2	18.1	18.8	19.8	20.5
7	30	570	3.61	19	16.3	17.3	21.3	20.5
8	35	570	3.25	19	17.1	18.2	20.7	20.5
9	40	570	3.66	19	16.3	17.3	22	20.2
10	45	570	3.6	18.5	16.5	17.5	19.1	20.5
11	50	565	3.1	20	17.9	19.1	20.3	22.1
12	55	566	3.2	18.5	16	18.3	18.6	20.9
13	60	568	3.1	19.1	16.9	18.6	19.2	21.4
14	70	570	3.17	17.8	15.9	17.1	18.2	20
15	80	565	3.63	19.5	17.7	18.7	20.5	21.6
16	90	565	4	21.5	19.3	21	21.9	23.8
17	100	563	3.73	19.1	17.1	18.6	19.6	21.3
18	110	560	3.55	20.5	18.7	20	20.9	22.4
19	120	560	4.18	19.7	18.2	18.7	20.6	21.4
20	135	563	3.3	22.9	20.6	22.3	23.4	25.2
21	150	567	3.63	21	19.4	19.9	22.1	22.9
22	165	565	3.85	22	20	21.3	22.4	24.4
23	180	567	3.76	22.3	20.5	21.4	23	24.6
24	195	570	3.75	19.6	17.8	19	20.1	21.5
25	210	572	3.48	20.7	18.4	19.6	21.4	23.7
26	225	573	3.48	20.8	18.8	19.5	21.5	23.6
27	240	570	3.72	18.7	16.4	17.6	18.8	22.2
28	255	570	3.51	19.3	17.4	18	19.9	21.8
29	270	571	3.68	18.2	16.4	17.2	18.6	20.5
30	285	574	3.52	17.5	15.8	16.6	18.3	19.6
31	300	574	3.59	16.1	14.1	14.7	16.8	19.4
32	315	574	3.49	15.3	13.1	13.6	15.5	18.8

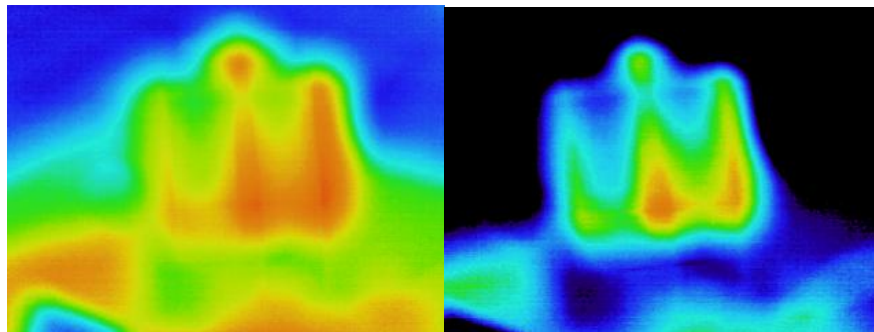
33	330	572	3.21	15.1	13	13.6	15.7	18
34	345	572	2.88	13.2	11	12.3	13.5	16
35	360	567	2.41	10	8.6	9.1	10.9	11.6

Παρακάτω ακολουθεί η παρουσίαση των θερμικών εικόνων που τραβήχτηκαν με την θερμική κάμερα κατά τη διάρκεια του πρώτου πειράματος.



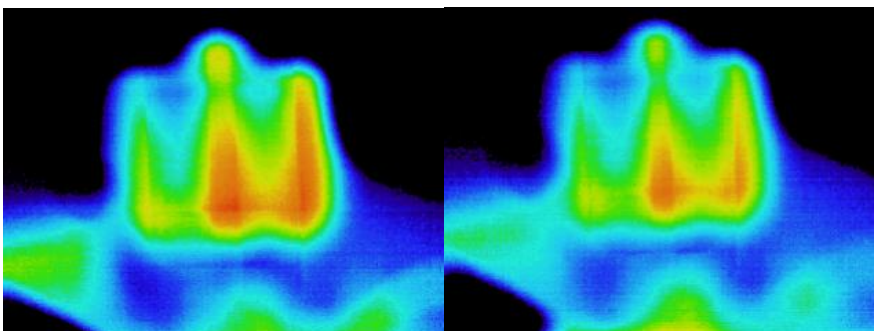
Εικόνα 1.1

Εικόνα 1.2



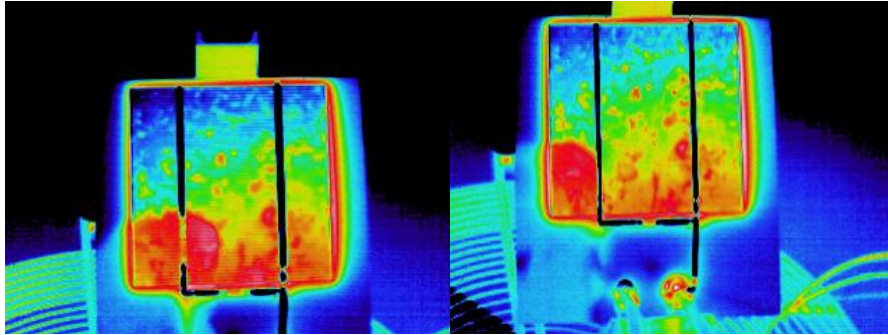
Εικόνα 1.3

Εικόνα 1.4



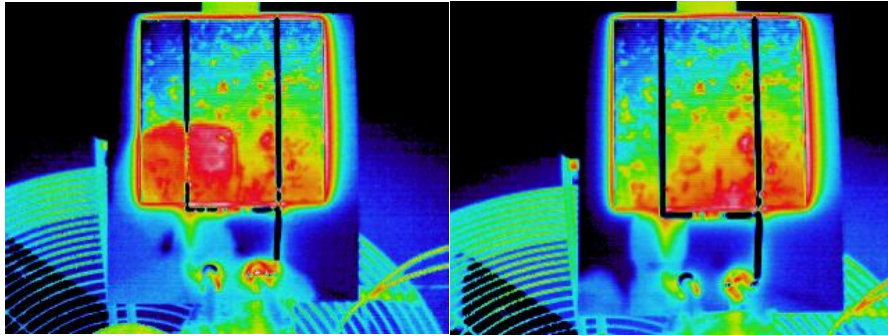
Εικόνα 1.5

Εικόνα 1.6



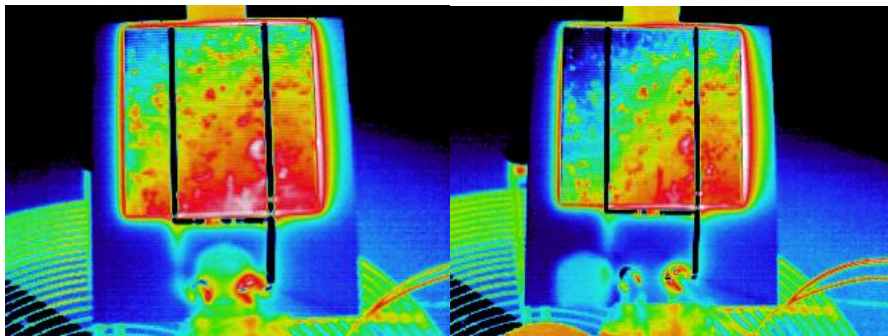
Εικόνα 1.7

Εικόνα 1.8



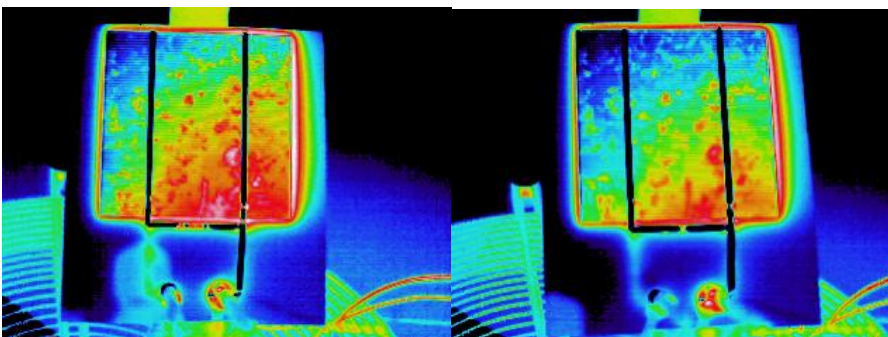
Εικόνα 1.9

Εικόνα 1.10



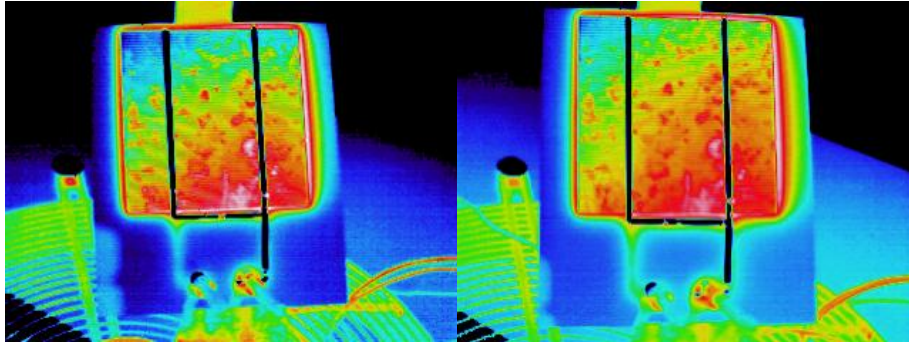
Εικόνα 1.11

Εικόνα 1.12



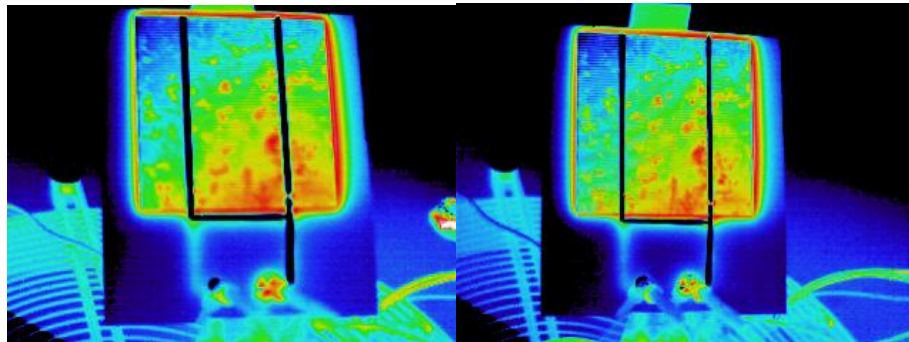
Εικόνα 1.13

Εικόνα 1.14



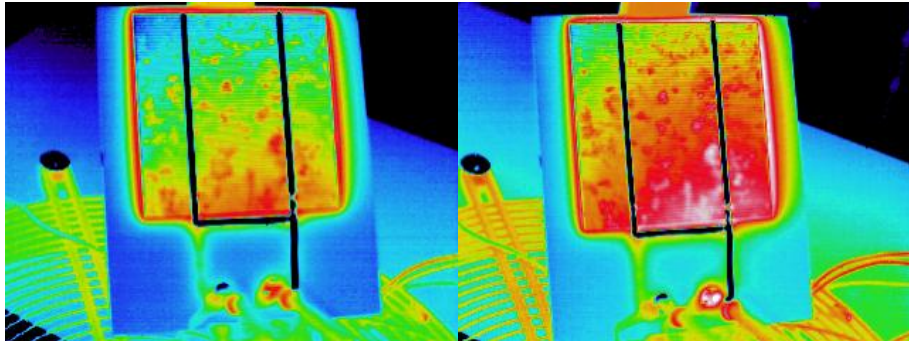
Εικόνα 1.16

Εικόνα 1.16



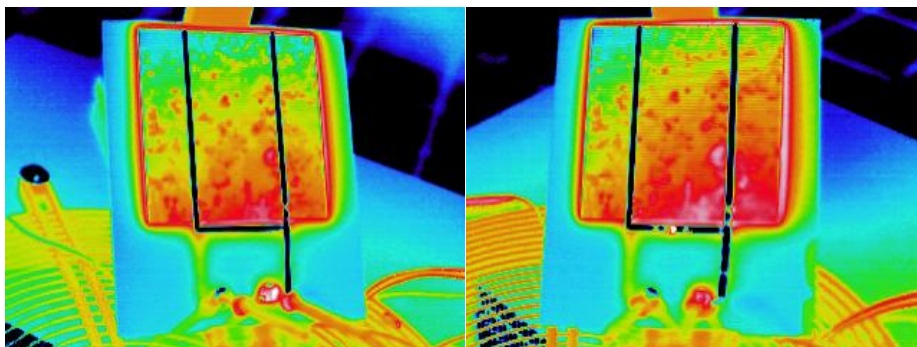
Εικόνα 1.17

Εικόνα 1.18



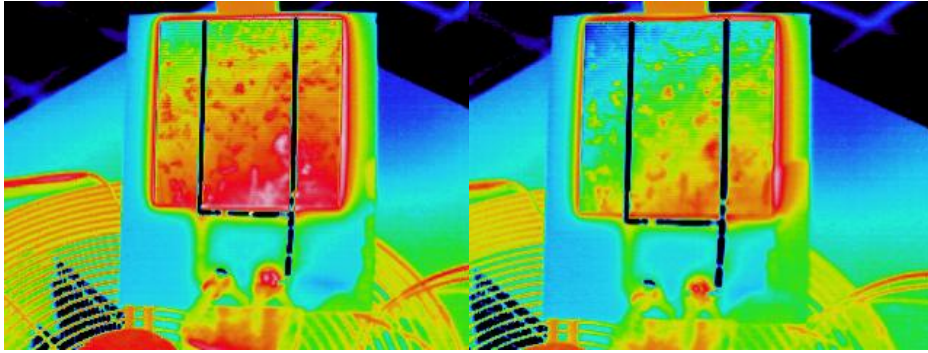
Εικόνα 1.19

Εικόνα 1.20



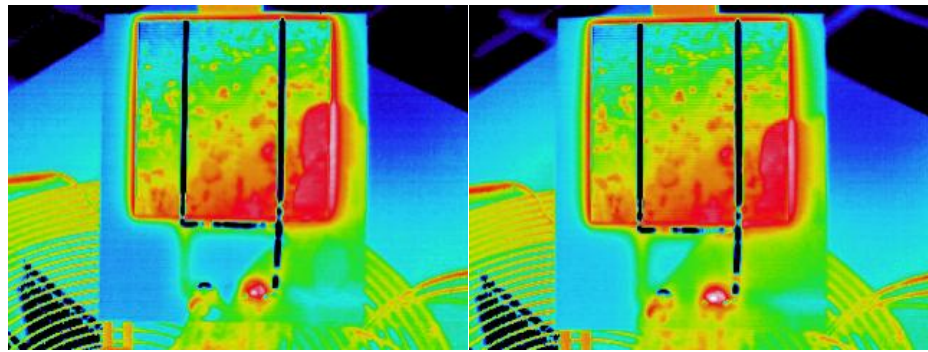
Εικόνα 1.21

Εικόνα 1.22



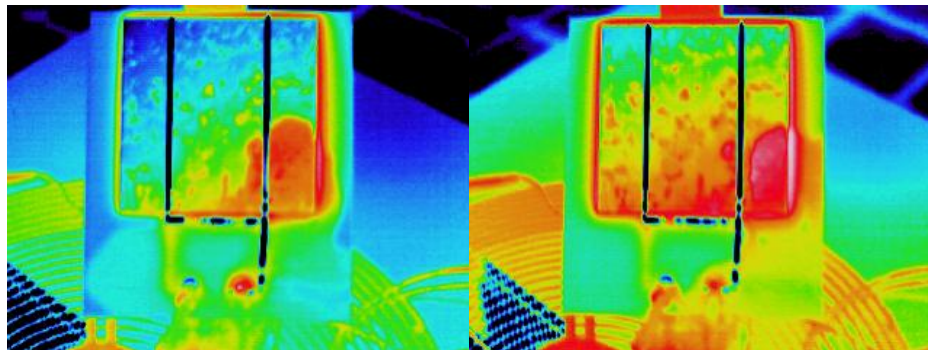
Εικόνα 1.23

Εικόνα 1.24



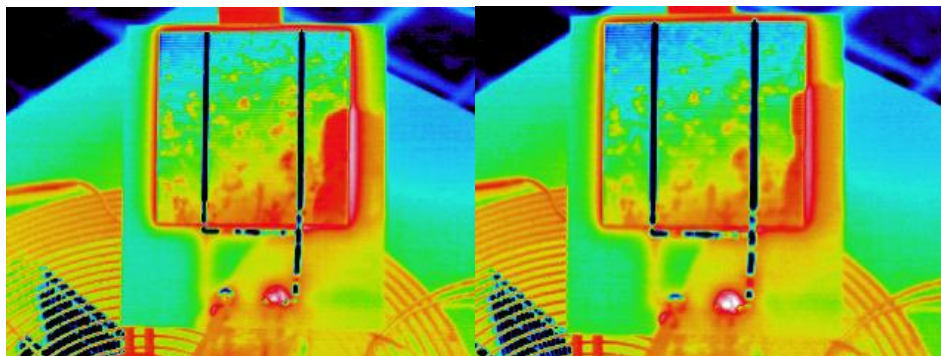
Εικόνα 1.25

Εικόνα 1.26



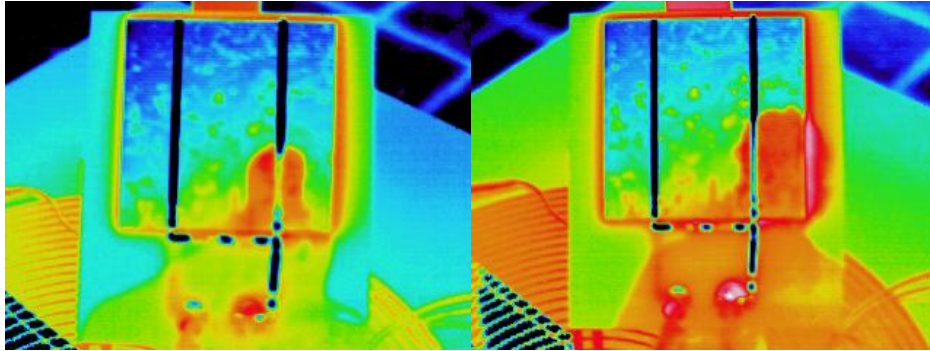
Εικόνα 1.27

Εικόνα 1.28



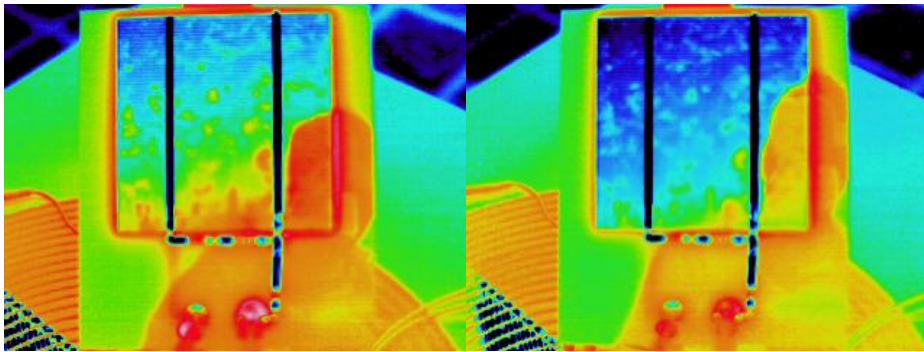
Εικόνα 1.29

Εικόνα 1.30



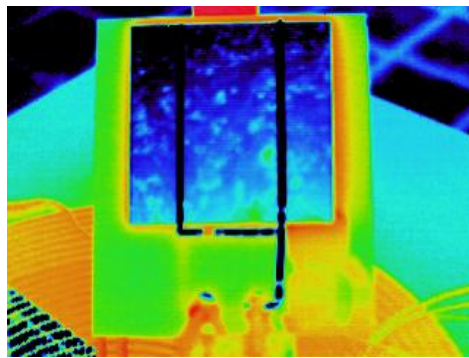
Εικόνα 1.31

Εικόνα 1.32



Εικόνα 1.33

Εικόνα 1.34



Εικόνα 1.35

Η επεξεργασία των εικόνων αυτών έγινε με το πρόγραμμα της Imrac, Micro Spec 4.0 και στα όποια συμπεράσματα βγήκαν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που παρουσιάζονται παραπάνω θα αναφερθούμε σε αυτά σε παρακάτω παράγραφο.

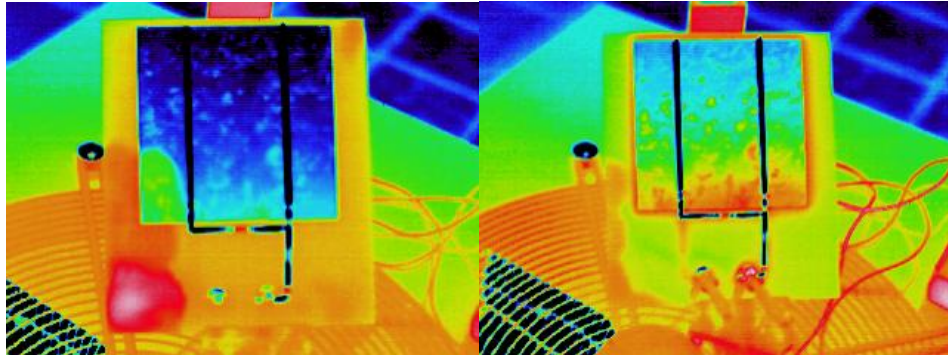
4.2.2 : Σετ μετρήσεων #2 – Κυριακή 04/12/2011

Και στο δεύτερο τεστ πραγματοποιήθηκε λήψη φωτογραφιών μόνο στο πολυκρυσταλλικό πάνελ αλλά για 2 ώρες (10 το πρωί έως 12 το μεσημέρι) καθώς και μέτρηση τάσης και ρεύματος του πάνελ με τις καιρικές συνθήκες όμως να μεταβάλλονται (ηλιοφάνεια, αραιή συννεφιά, πολύ συννεφιά και έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων και εικόνων όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά και για τις 2 ώρες.

Πίνακας 2.1

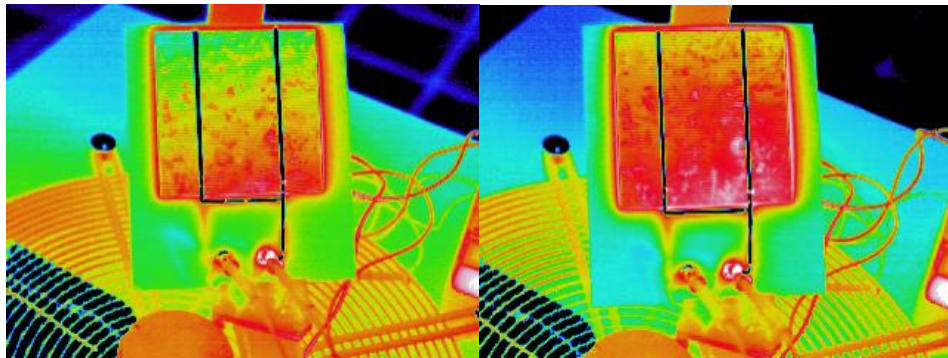
Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. (°C)	Μέση Θερμ. 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. 2.2 (°C)
1	0	577	1.8	9.3	8.2	7.8	11.3	10.3
2	5	588	3.98	13.2	11.8	11.8	14.4	14.9
3	10	578	3.7	17.5	15.9	16.3	18.4	19.2
4	15	572	3.85	21.7	20.4	20.6	22.4	23.2
5	20	572	3.94	21.6	20.2	21	21.8	23.1
6	25	570	3.36	21.1	20.2	21.2	21.2	22.1
7	30	555	1.8	13.3	11.8	12.4	13.9	14.8
8	35	574	3.7	20	18.6	18.6	21.4	21.5
9	40	570	3.89	19	17.2	18	19.9	20.8
10	45	562	2.1	12.3	10.7	11.6	12.8	13.8
11	50	570	2.2	10.2	9	9	11.5	11.4
12	55	565	1.95	11.5	10.5	11	11.9	12.7
13	60	572	3.3	19.1	18.4	19.2	19	19.9
14	65	565	2.5	15.7	14.8	14.8	16.5	16.7
15	70	559	1.85	11.7	10.5	10.8	12.7	13
16	75	576	3.4	18.4	16.9	17.6	19.9	20.1
17	80	572	3.77	21.3	19.3	20.3	22.1	23.5
18	85	568	3.2	22.4	20.3	21.6	23.1	24.8
19	90	565	3.8	21.5	19.5	20.8	22.2	23.9
20	95	565	3.6	21.3	19.2	20.8	21.7	23.8
21	100	565	3.2	21.7	19.9	21.1	22.1	23.8
22	105	566	3.2	21.6	19.5	21	21.8	23.9
23	110	564	3.06	20.2	18.3	20	20.4	22.2
24	115	564	2.2	12.8	11.3	12.4	13.2	14.6
25	120	582	3.92	17.6	15.2	16.4	18.4	20.5

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί η παρουσίαση των θερμικών εικόνων που τραβήχτηκαν με την θερμική κάμερα κατά τη διάρκεια του δεύτερου πειράματος.



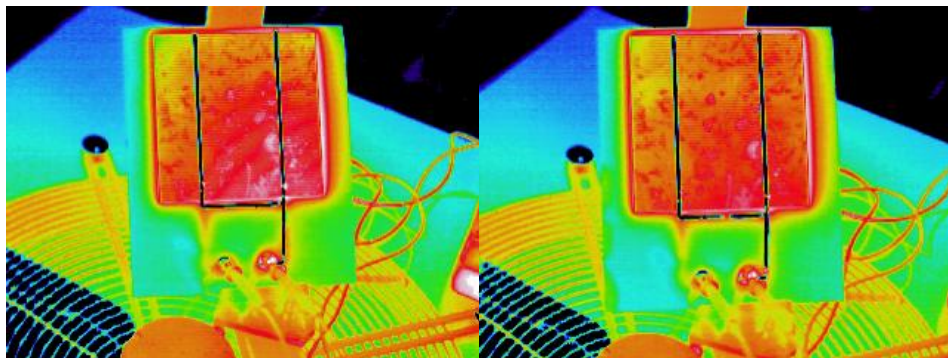
Εικόνα 2.1

Εικόνα 2.2



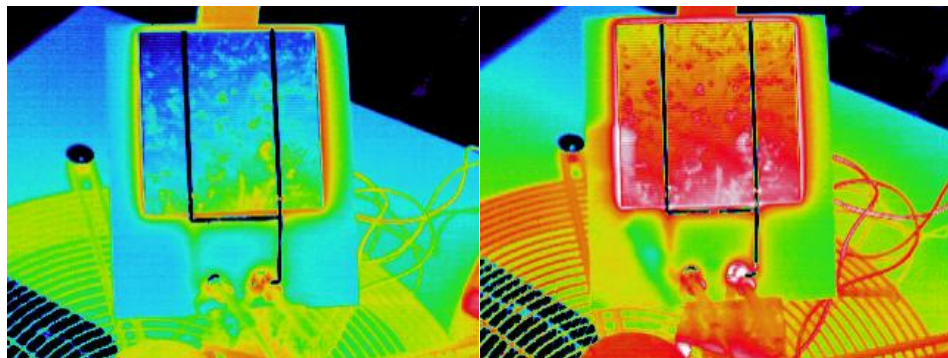
Εικόνα 2.3

Εικόνα 2.4



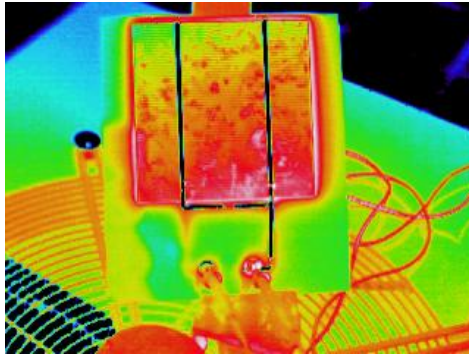
Εικόνα 2.5

Εικόνα 2.6

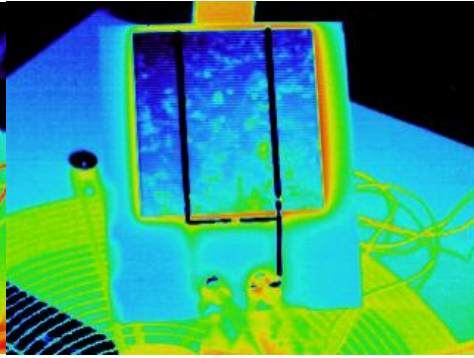


Εικόνα 2.7

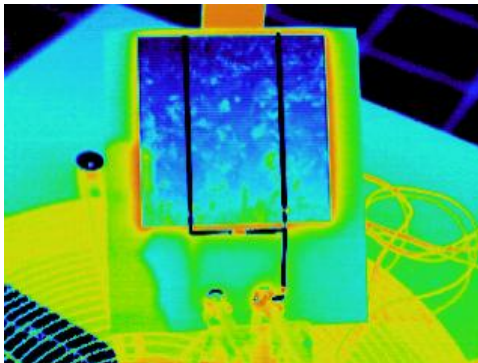
Εικόνα 2.8



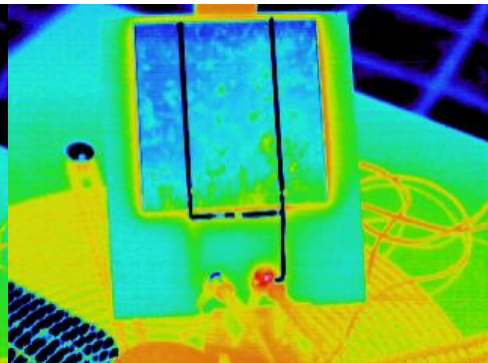
Εικόνα 2.9



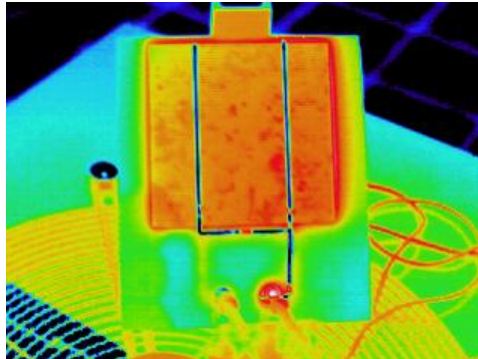
Εικόνα 2.10



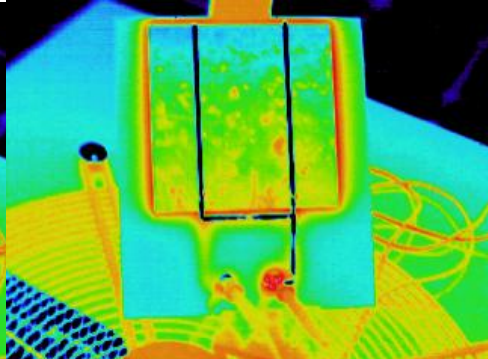
Εικόνα 2.11



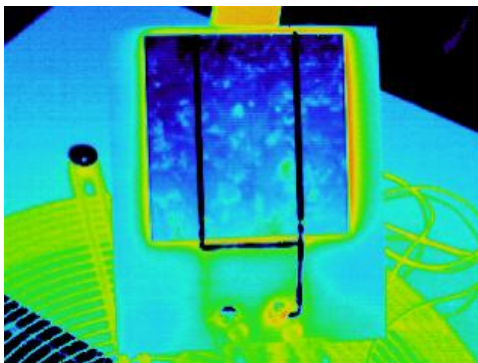
Εικόνα 2.12



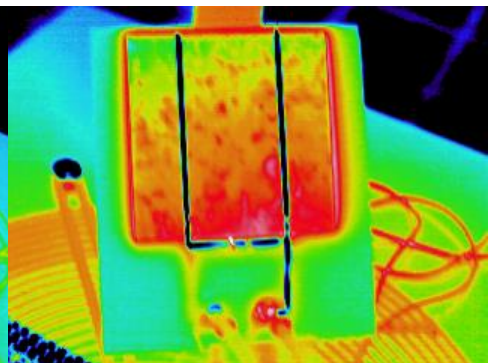
Εικόνα 2.13



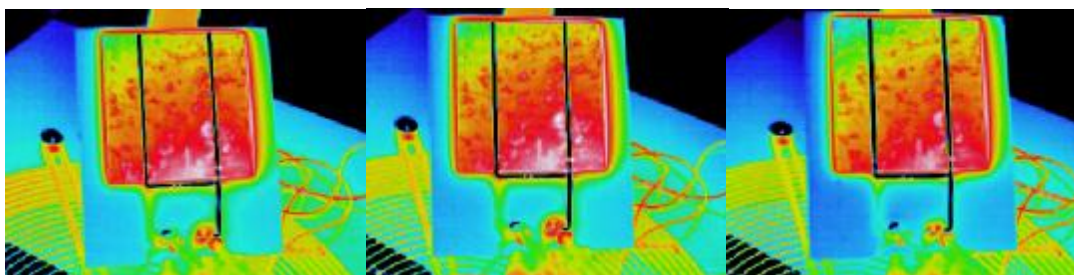
Εικόνα 2.14



Εικόνα 2.15



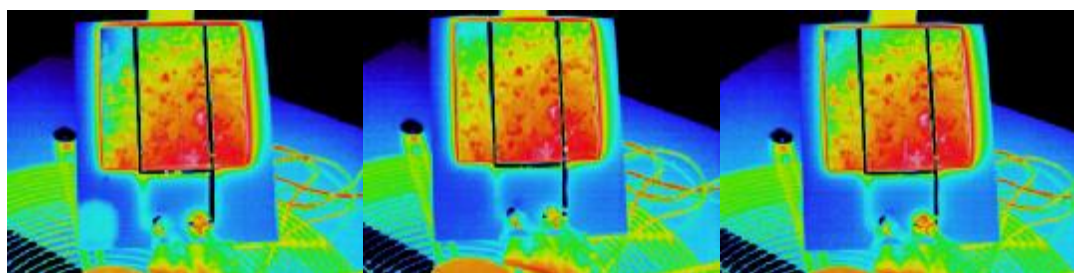
Εικόνα 2.16



Εικόνα 2.17

Εικόνα 2.18

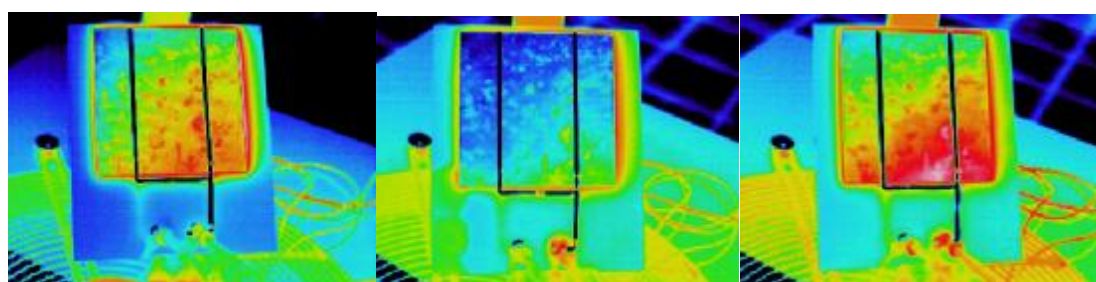
Εικόνα 2.19



Εικόνα 2.20

Εικόνα 2.21

Εικόνα 2.22



Εικόνα 2.23

Εικόνα 2.24

Εικόνα 2.25

Όπως και στο πρώτο πείραμα έτσι και σε αυτό η επεξεργασία των εικόνων έγινε με το πρόγραμμα της Imrac, Micro Spec 4.0 και στα όποια συμπεράσματα βγήκαν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που παρουσιάζονται παραπάνω θα αναφερθούμε σε αυτά σε παρακάτω παράγραφο.

4.2.3 : Σετ μετρήσεων #3 – Σάββατο 10/12/2011

Σε αυτό το σετ μετρήσεων πραγματοποιήθηκε πάλι λήψη φωτογραφιών αυτή τη φορά όμως με το πολυκρυσταλλικό στοιχείο καθώς και το άμορφο πυρίτιο δίπλα-δίπλα για 2 ώρες (10 το πρωί με 12 το μεσημέρι). Μετρήσεις τάσης και ρεύματος έγιναν πάλι για το πολυκρυσταλλικό πάνελ αφού είναι το μόνο που έχει ακροδέκτες. Γενικά οι καιρικές συνθήκες ήταν σταθερές με μικρή περίοδο συννεφιάς αλλά και ηλιοφάνεια με πολύ «αχνά» σύννεφα τα οποία θα δούμε σε παρακάτω κεφάλαιο από την ανάλυση αν επηρεάζουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα για αυτό το πείραμα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά.

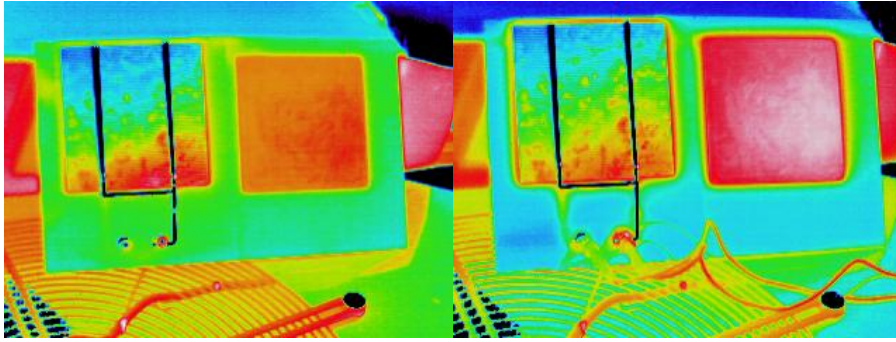
Πίνακας 3.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. pSi (°C)	Μέση Θερμ. aSi (°C)
1	1	560	4.1	14.7	18.9
2	5	560	3.84	16.7	24.4
3	10	560	4.11	18.3	26.5
4	15	560	4.04	21	29.2
5	20	558	4.15	22.1	29.7
6	25	556	4.04	22.8	31.3
7	30	556	4.09	21.7	30
8	35	555	4.04	23.8	32.7
9	40	556	4.04	25.8	34.1
10	45	556	4.02	27.2	35.5
11	50	556	4.02	27.1	35.3
12	55	555	3.98	26.2	34.3
13	60	557	3.4	18.8	26.1
14	65	558	3.78	20.4	27.8
15	70	560	3.8	22.2	29.9
16	75	562	3.61	19.6	26.6
17	80	570	3.5	17.2	24.5
18	85	564	3.9	21.2	29.8
19	90	553	3.93	26.6	35.4
20	95	555	3.98	27.3	35.6
21	100	546	3.95	29.7	38.2
22	105	542	3.93	34.7	44.4
23	110	548	3.85	30.5	35.8
24	115	560	3.8	23.2	29.6
25	120	558	3.23	23.2	29

Πίνακας 3.2

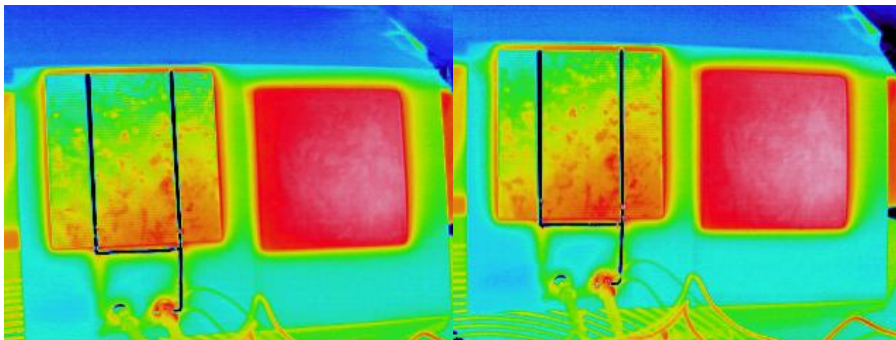
Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Μέση Θερμ. pSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.2 (°C)
1	1	12.4	13.1	15.8	17.2	18.5	18.8	18.9	19.6
2	5	14.8	15.4	17.6	18	23.6	24.6	24	25.3
3	10	16.3	17.1	19.4	20.9	25.8	27	26	27.7
4	15	18.8	20	22	23.5	28.4	29.6	28.4	30
5	20	20	20.9	23.3	24.6	29.3	30.5	28.8	30.5
6	25	20.9	21.8	23.8	25.2	30.7	31.8	30.4	31.8
7	30	19.9	20.6	22.2	24.1	29.3	30.5	29.1	30.8
8	35	21.8	23.2	24.3	26.3	32	33.6	31.4	33.4
9	40	23.5	24.8	26.3	28.1	33.4	34.5	33	34.6
10	45	24.7	26.3	27.5	30.2	34.7	36.7	34.3	36.5
11	50	24.7	26.4	27.5	29.9	34.2	36.5	34.2	36.6
12	55	23.9	25.5	26.6	28.8	33.4	35.3	33.4	35.4
13	60	16.8	18.1	19.3	21	25.8	26.4	25.4	26.5
14	65	18.6	19.1	21.2	22.5	27.2	28.1	27.4	28.4
15	70	20.8	21.5	22.7	23.7	29.6	30.2	29.2	30.4
16	75	18.1	19	20.1	21.3	26.3	27	26	27.2
17	80	15.2	16.4	17.5	19.4	24	25.1	23.8	25
18	85	18.6	19.8	21.9	23.9	28.8	30.3	29.3	30.9
19	90	24.2	25.4	27.4	29.4	34.5	36.5	34.3	36.7
20	95	25.1	26.1	28	30	34.5	36.2	34.9	37.1
21	100	27.7	28.4	30.7	31.9	37.6	38.6	37.5	38.9
22	105	32.5	33.5	35.3	37.3	43.9	46.4	41.7	45.1
23	110	28.8	30.1	31.1	32.4	35.4	35.5	35.5	36.4
24	115	20.9	22.7	23.7	25.4	29.2	30.1	29	30.1
25	120	21.5	23.2	23.1	25	28.6	29.2	28.5	29.2

Στην επόμενη σελίδα ακολουθεί η παρουσίαση των θερμικών εικόνων που τραβήχτηκαν με την θερμική κάμερα κατά τη διάρκεια του τρίτου πειράματος.



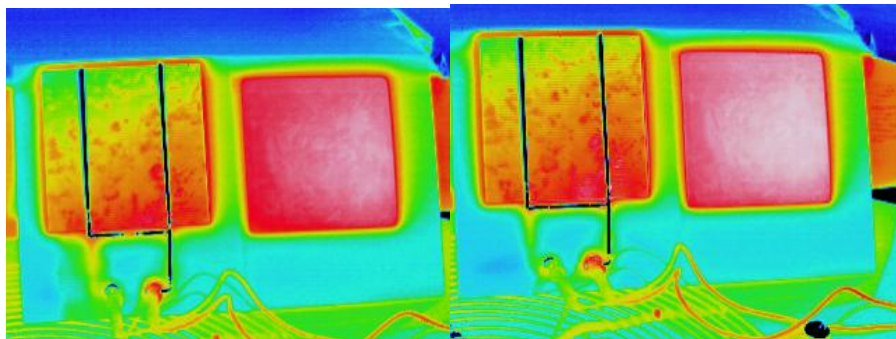
Εικόνα 3.1

Εικόνα 3.2



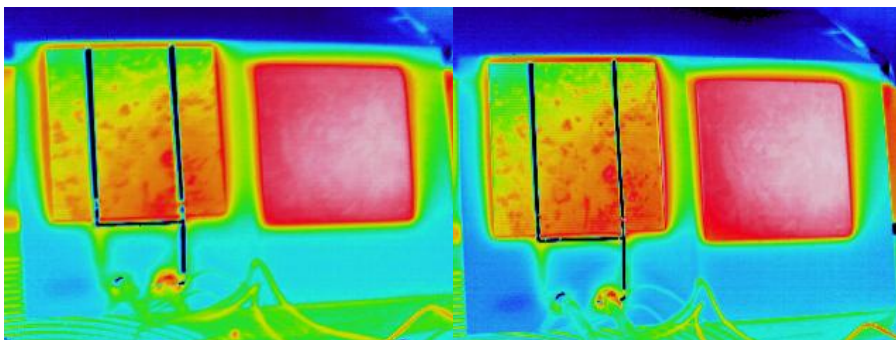
Εικόνα 3.3

Εικόνα 3.4



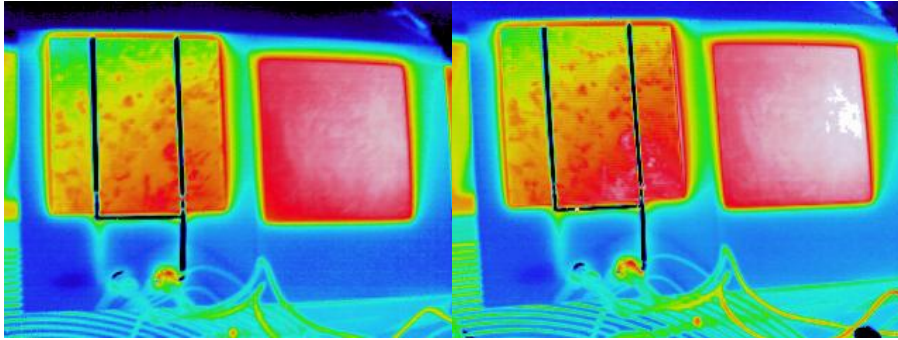
Εικόνα 3.5

Εικόνα 3.6



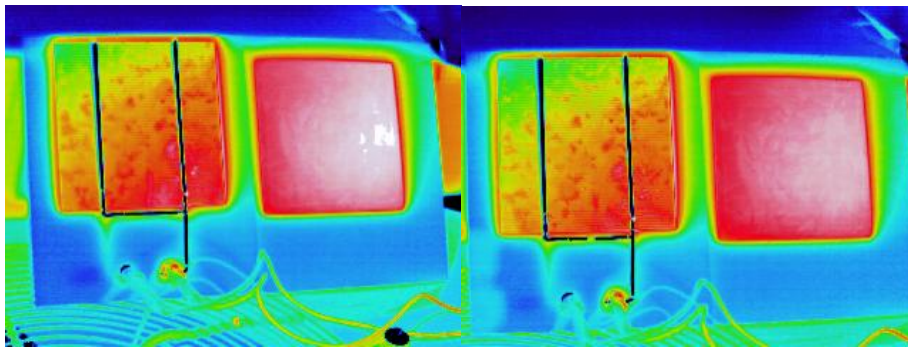
Εικόνα 3.7

Εικόνα 3.8



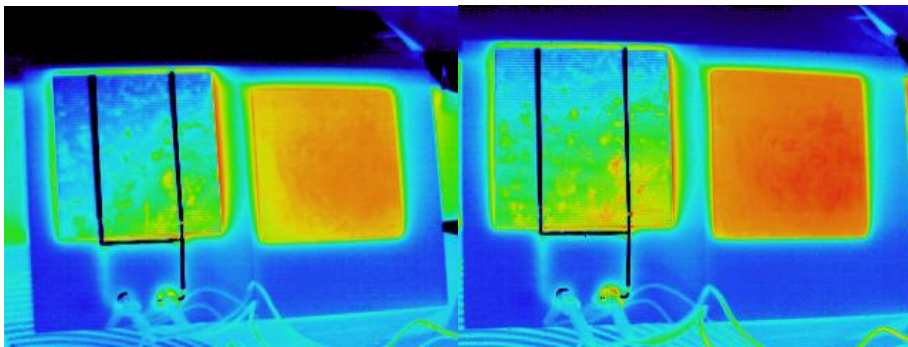
Εικόνα 3.9

Εικόνα 3.10



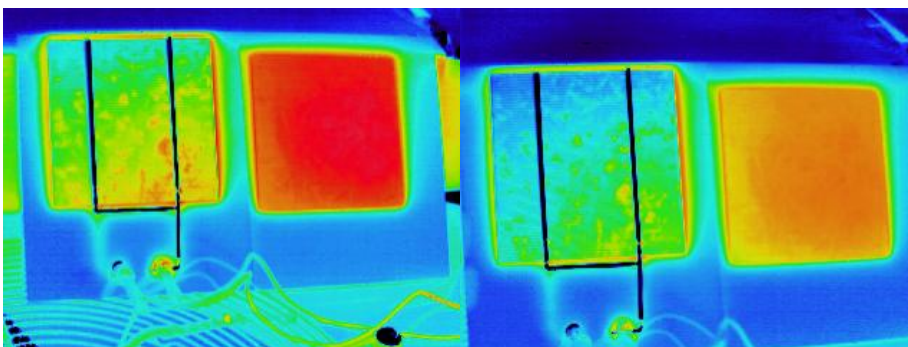
Εικόνα 3.11

Εικόνα 3.12



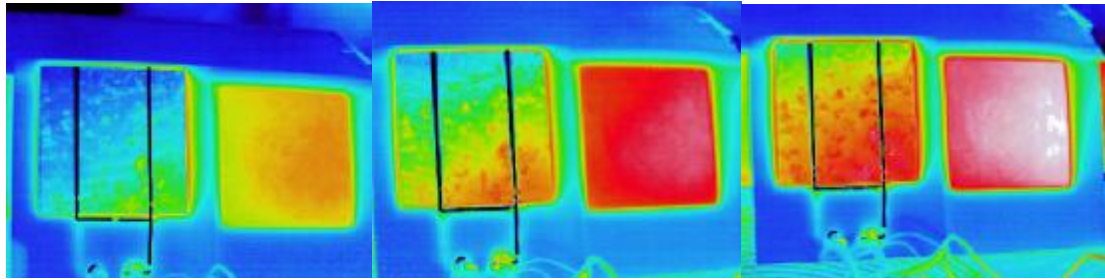
Εικόνα 3.13

Εικόνα 3.14



Εικόνα 3.15

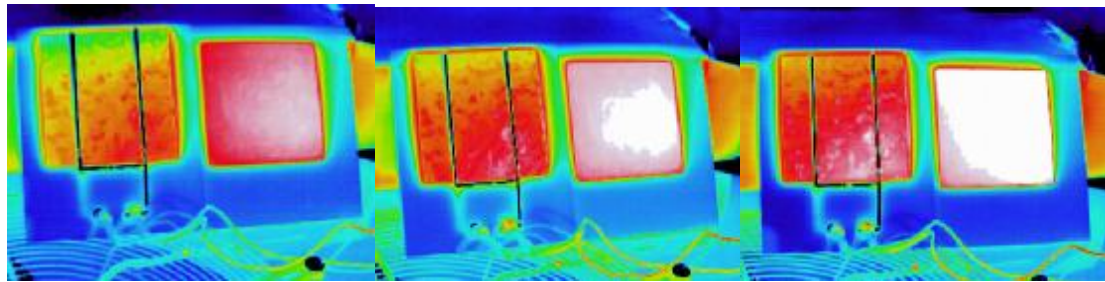
Εικόνα 3.16



Εικόνα 3.17

Εικόνα 3.18

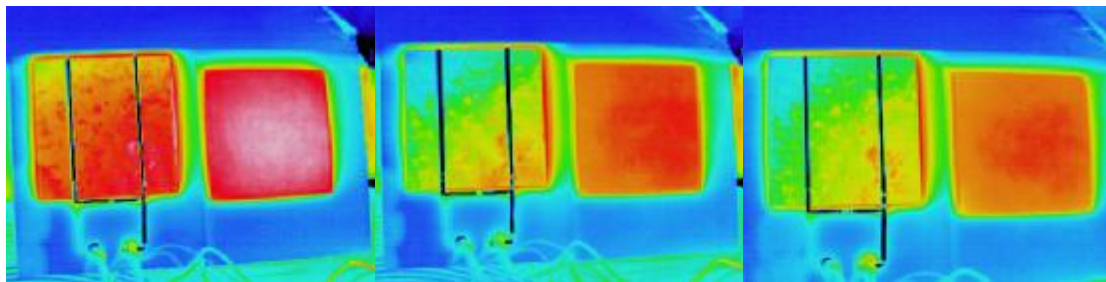
Εικόνα 3.19



Εικόνα 3.20

Εικόνα 3.21

Εικόνα 3.22



Εικόνα 3.23

Εικόνα 3.24

Εικόνα 3.25

Όπως και στα δύο προηγούμενα πειράματα έτσι και σε αυτό η επεξεργασία των εικόνων έγινε με το πρόγραμμα της Iprac, Micro Spec 4.0 και στα όποια συμπεράσματα βγήκαν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που παρουσιάζονται παραπάνω θα αναφερθούμε σε αυτά σε παρακάτω παράγραφο.

4.2.4 : Σετ μετρήσεων #4 – Τετάρτη 21/03/2012

Σε αυτό το σετ μετρήσεων πραγματοποιήθηκε πάλι λήψη φωτογραφιών αυτή τη φορά όμως με το πολυκρυσταλλικό στοιχείο καθώς και το άμορφο πυρίτιο δίπλα-δίπλα όμως για 6 ώρες (10 το πρωί με 4 το μεσημέρι). Μετρήσεις τάσης και ρεύματος έγιναν πάλι για το πολυκρυσταλλικό πάνελ αφού είναι το μόνο που έχει ακροδέκτες. Γενικά είχαμε αίθριες καιρικές συνθήκες. Κατά περιόδους υπήρξαν ελάχιστες αραιές νεφώσεις αλλά για ελάχιστο χρονικό διάστημα το πολύ ενός-δύο λεπτών που δεν επηρέασε πολύ τις μετρήσεις μας λόγω της γρήγορης απόκρισης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Η διαδικασία έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1(βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα για αυτό το πείραμα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 1 δείγμα ανά 5 λεπτά για την πρώτη ώρα, ανά 10 λεπτά την δεύτερη και ανά 15 για τις υπόλοιπες 4 ώρες.

Πίνακας 4.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. pSi (°C)	Μέση Θερμ. aSi (°C)
1	0	108	0.8	12.4	15.7
2	5	569	3.1	20.8	26.2
3	10	568	3.61	22.4	28.9
4	15	562	3.44	23.3	29.3
5	20	561	3.61	25.6	30.9
6	25	559	4.09	26.4	31.8
7	30	560	4.08	25.9	31.2
8	35	560	3.93	27.5	33
9	40	558	3.76	24.5	30.3
10	45	560	3.42	25.5	30
11	50	560	3.64	27.3	31.8
12	55	558	3.5	24.1	29.4
13	60	564	3.14	22.3	28
14	70	560	2.9	23.7	29.8
15	80	557	3.15	24.2	30.5
16	90	559	4.18	25.9	30.4
17	100	553	3.95	24.6	30.9
18	110	559	3.92	26.6	31.6
19	120	558	3.3	25.6	30.8
20	135	554	3.82	27.3	31.8
21	150	554	3.72	27.8	31.9
22	165	560	4.12	25.7	31.5
23	180	557	4	28.3	32
24	195	561	3.85	27.4	31.4
25	210	558	4	27.6	31.8
26	225	557	4.16	29.5	33.8
27	240	555	3.51	27.8	32.4
28	255	557	3.9	28.4	32.7
29	270	561	4.11	23.9	28.7

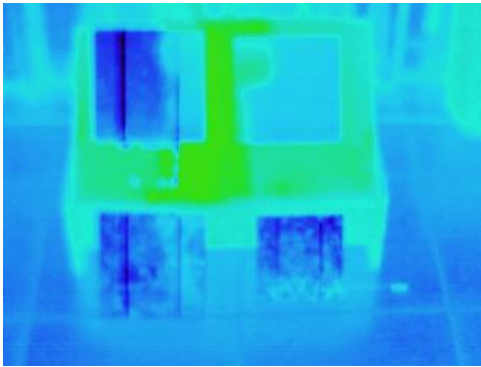
30	285	562	3.28	26.5	28.6
31	300	561	3.78	22.1	26.9
32	315	563	3.77	23.3	27.9
33	330	557	2.78	24.2	28.7
34	345	561	3.17	22.1	26.8
35	360	556	2.35	21.6	27

Πίνακας 4.2

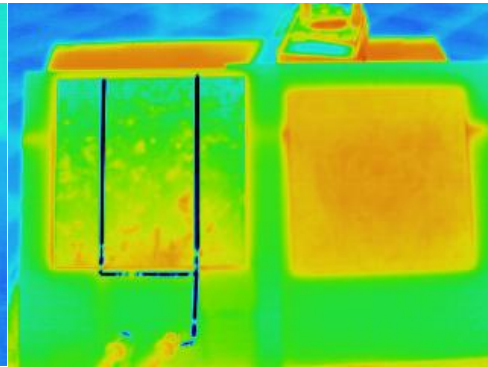
Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Μέση Θερμ. pSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. pSi 2.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. aSi 2.2 (°C)
		1	0	9.6	14.8	11.5	14.4	17	15.4
2	5	19.2	19	22.4	22.7	26.4	26.2	26.1	26.1
3	10	20.8	21.3	23.5	24.6	29.1	29.3	28.3	28.8
4	15	21.3	22.1	23.9	26.9	29.7	29.8	28.6	29.1
5	20	23.1	25	25.3	29	31.3	32	29.6	30.5
6	25	24.4	25.1	26.2	27.8	32.4	32.5	31	31.3
7	30	24.1	25.1	26.2	27.8	31.7	31.8	30.4	30.9
8	35	25.2	26.8	27.4	30.4	33.6	34	31.7	32.5
9	40	22.7	24.4	24.5	26	30.9	31.3	29.1	29.9
10	45	23.7	24.6	26	27.9	30.8	30.2	29.6	29.4
11	50	24.7	26.2	27.3	30.8	32.4	32.4	31	31.3
12	55	22.4	23.3	24.4	26	30.1	30	28.4	29.1
13	60	20.4	22	22.5	24.2	28.4	28.8	26.7	27.7
14	70	21.9	23.2	24.2	25.5	30.1	30.7	28.8	29.7
15	80	22.5	23.4	25	26.1	30.9	30.9	29.5	30.3
16	90	24.2	24.8	26.6	27.8	31.1	30.9	29.8	30.4
17	100	23.2	24.2	25.3	26.1	31.5	32	29.8	30.6
18	110	24.9	25.6	27.3	28.5	32.5	32.2	31	31.3
19	120	24.1	24.4	26.6	27.1	31.5	31.5	30	30.5
20	135	26.2	26.2	28.3	28.4	32.8	32.1	31.3	31.2
21	150	27	26.7	28.9	28.8	33.3	32.2	31.8	31.2
22	165	24.7	25.1	26.5	27	32.5	32.1	30.9	30.8
23	180	26.8	26.8	29.5	29.9	33.1	32.2	31.7	31.2
24	195	26.1	25.8	28.9	29.2	32.6	31.4	31.5	30.7
25	210	27	26	29	28.5	33.1	32.1	31.7	31.2
26	225	28.5	28.1	30.5	30.7	35.2	34.4	33.1	32.9
27	240	27.5	26.5	28.8	28.6	33.5	32.9	32	31.7
28	255	27.8	27	29.7	29.6	33.8	33.2	32.2	32
29	270	23.1	22.7	24.8	24.8	29.4	29.3	28.2	28.5

30	285	25.8	25.1	28	27.5	30.5	28.3	28.8	27.3
31	300	21.2	20.6	23.4	23	27.4	27.5	26.1	26.7
32	315	22.4	21.5	24.9	24.3	28.5	28.1	27.4	27.7
33	330	23.5	23	25.6	25.2	29.1	29.2	28.1	28.6
34	345	21.1	20.8	23.5	23.2	27.1	27.2	26.2	26.7
35	360	20.8	20.3	22.7	22.4	26.5	27.5	25.5	28.5

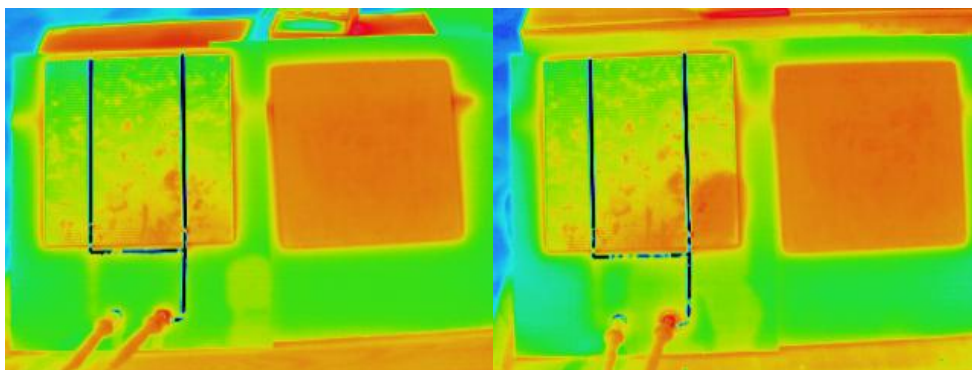
Παρακάτω θα δούμε τις θερμικές εικόνες που τραβήχτηκαν από τη θερμική κάμερα για αυτό το σετ μετρήσεων. Η επεξεργασία των εικόνων αυτών έγινε όπως και στα άλλα πειράματα με το Micro Spec 4.0 της Imprac. Όποια συμπεράσματα προκύπτουν από την συσχέτιση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας αυτής και των μετρήσεων θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.



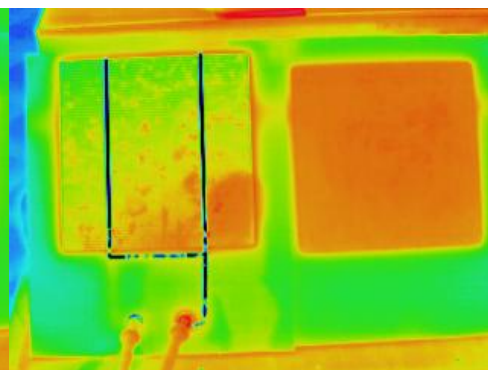
Εικόνα 4.1



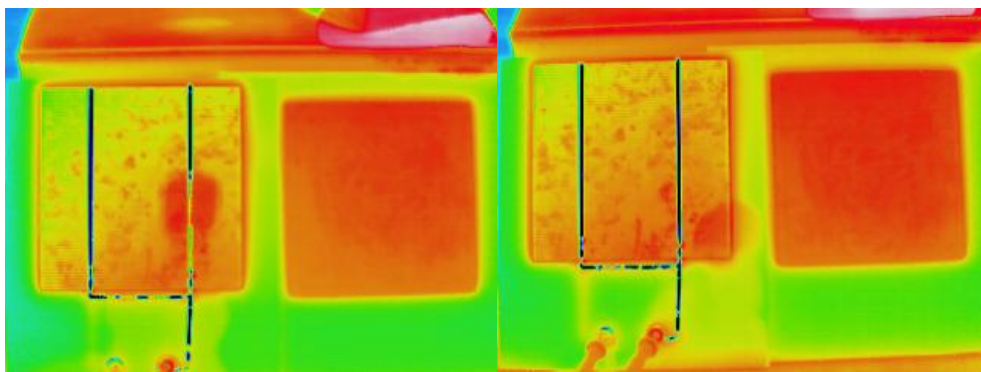
Εικόνα 4.2



Εικόνα 4.3

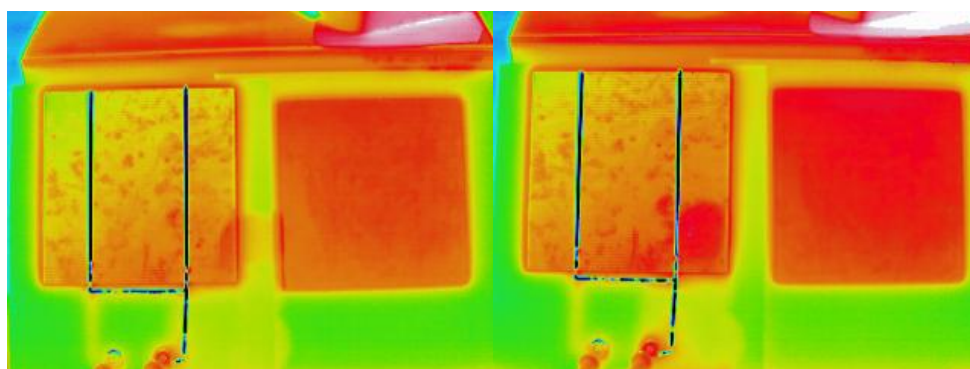


Εικόνα 4.4



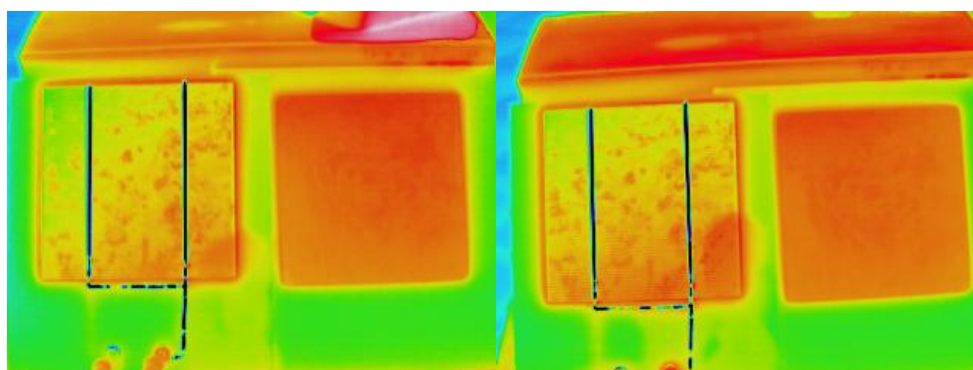
Εικόνα 4.5

Εικόνα 4.6



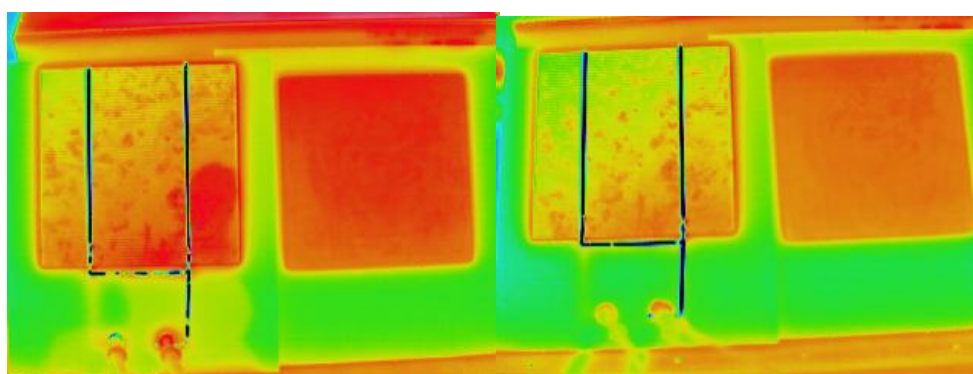
Εικόνα 4.7

Εικόνα 4.8



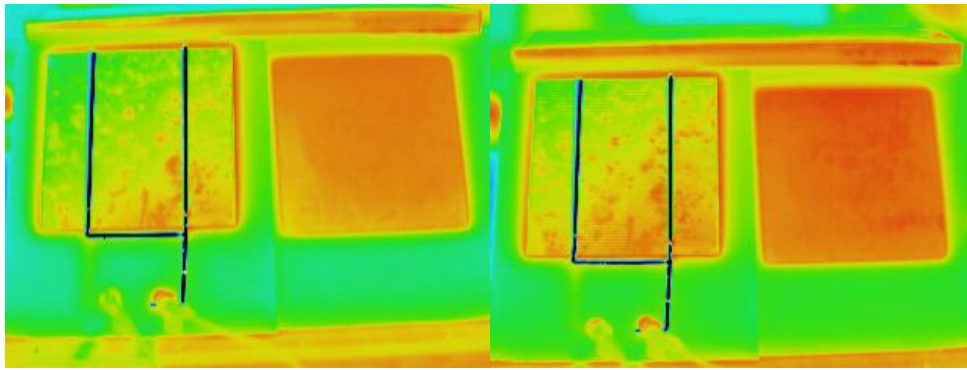
Εικόνα 4.9

Εικόνα 4.10



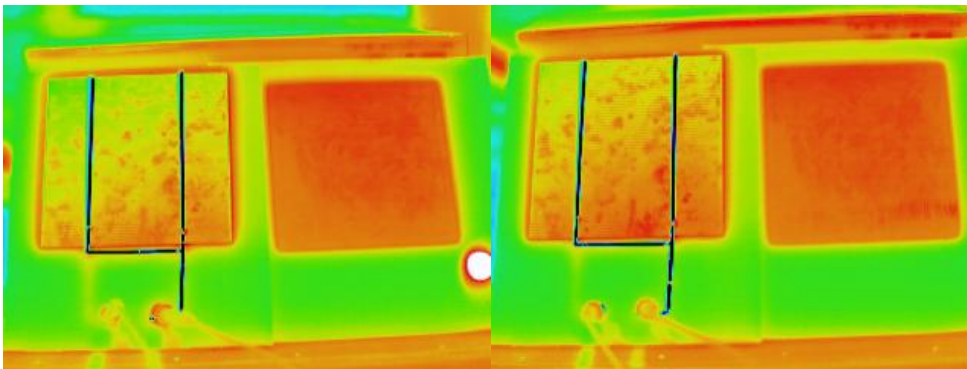
Εικόνα 4.11

Εικόνα 4.12



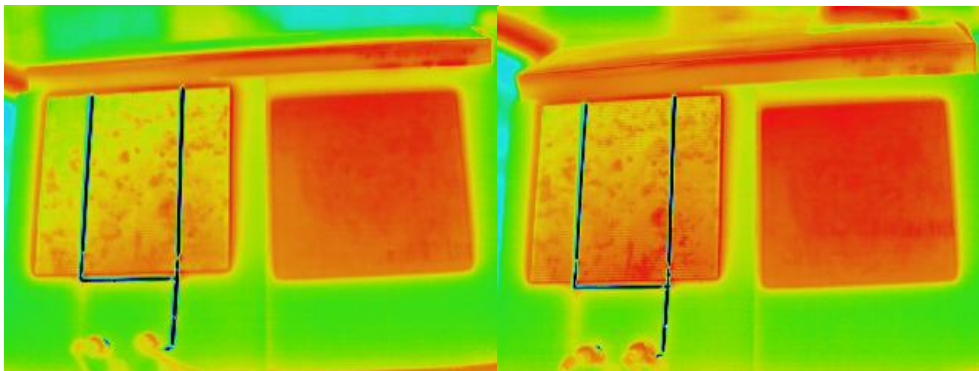
Εικόνα 4.13

Εικόνα 4.14



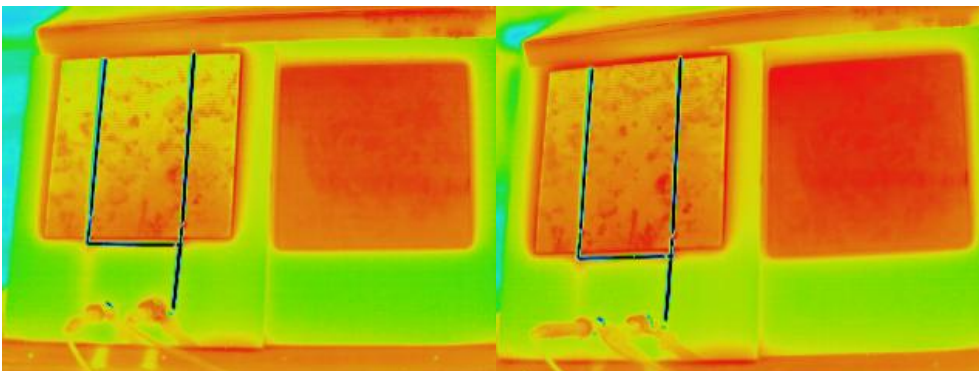
Εικόνα 4.15

Εικόνα 4.16



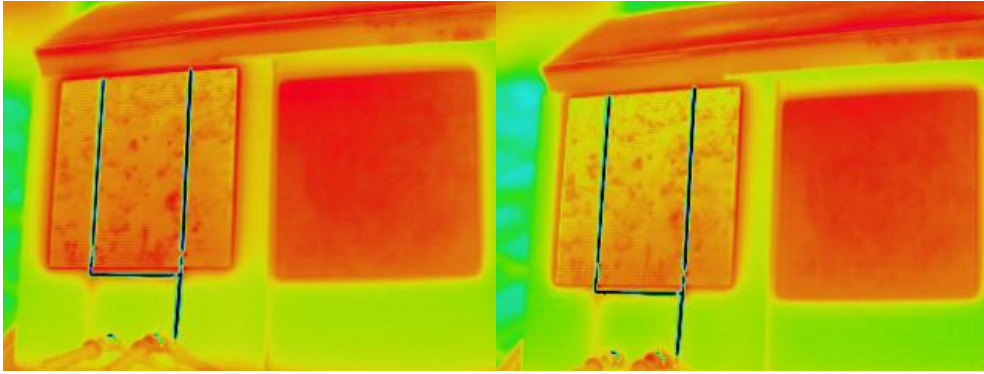
Εικόνα 4.17

Εικόνα 4.18



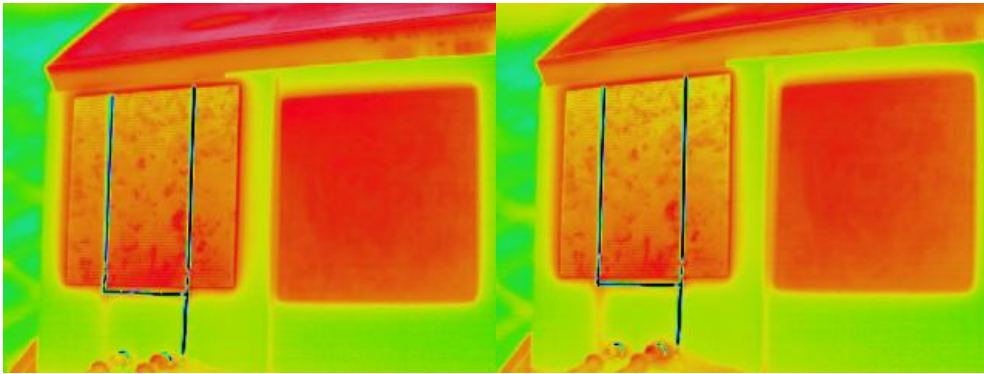
Εικόνα 4.19

Εικόνα 4.20



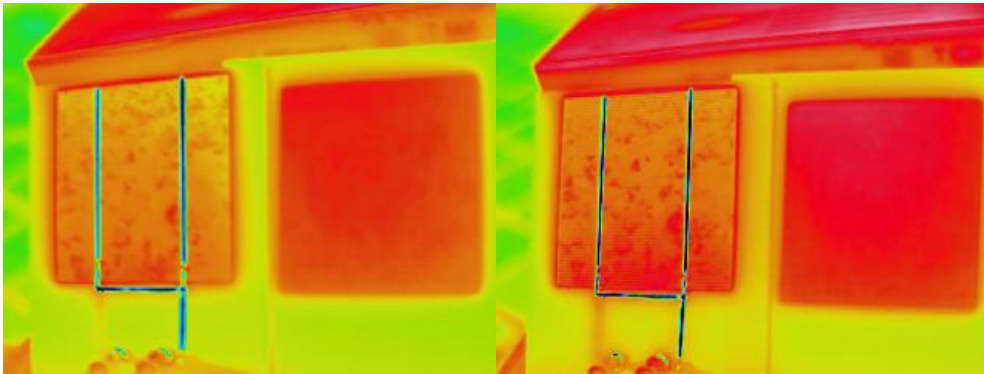
Εικόνα 4.21

Εικόνα 4.22



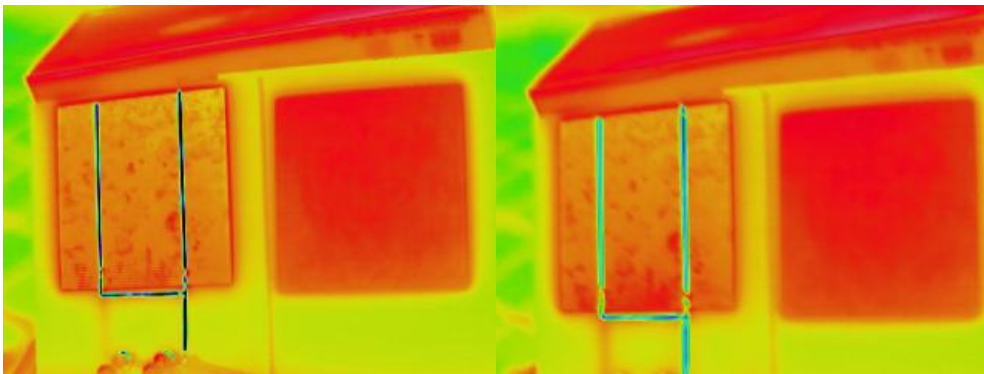
Εικόνα 4.23

Εικόνα 4.24



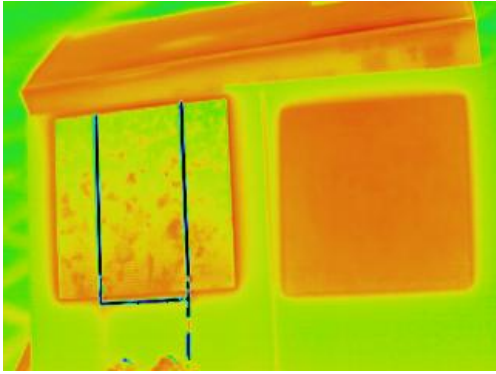
Εικόνα 4.25

Εικόνα 4.26

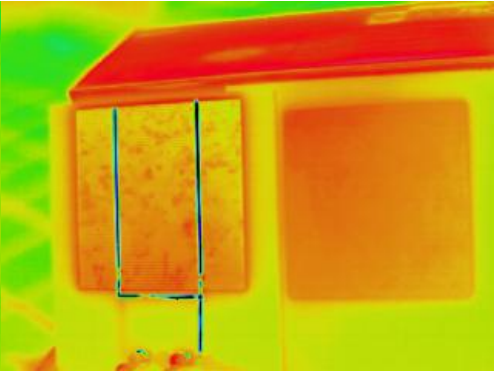


Εικόνα 4.27

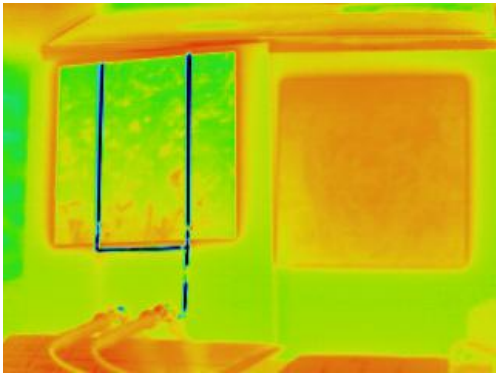
Εικόνα 4.28



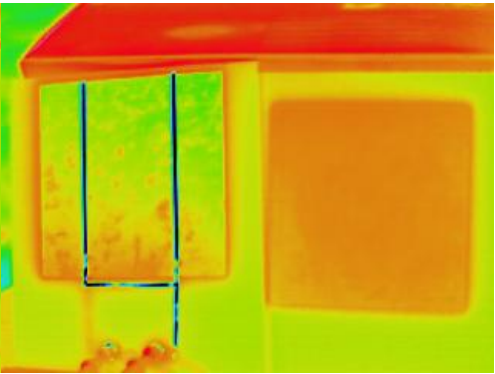
Εικόνα 4.29



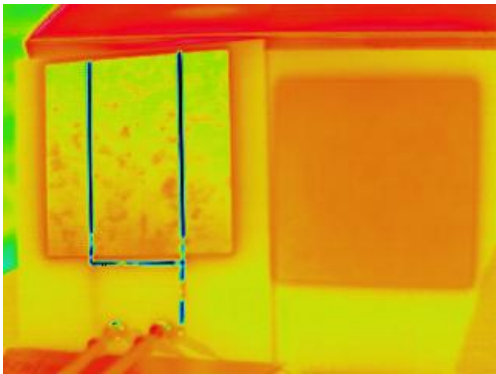
Εικόνα 4.30



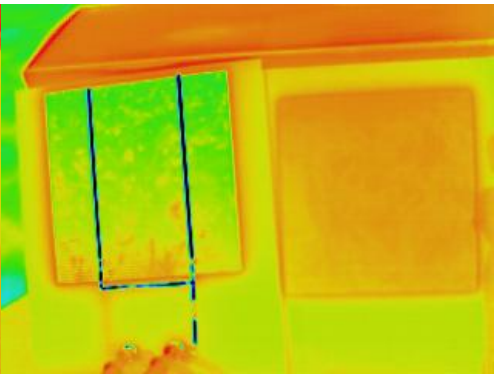
Εικόνα 4.31



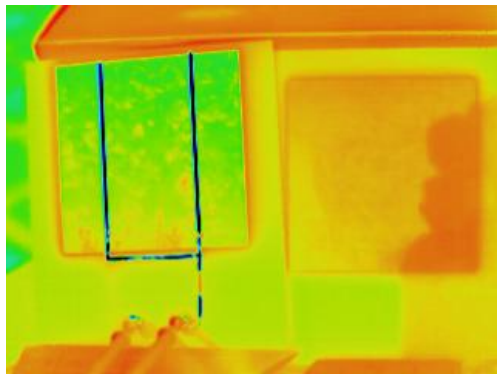
Εικόνα 4.32



Εικόνα 4.33



Εικόνα 4.34



Εικόνα 4.35

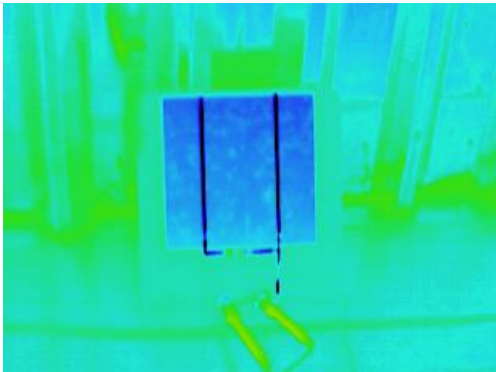
4.2.5 : Σετ μετρήσεων #5 – Τρίτη 05/06/2012

Στο τελευταίο πείραμα-σετ μετρήσεων μας λήφθηκαν φωτογραφίες μόνο από το πολυκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό. Η διάρκεια ήταν 2 ώρες και 45 λεπτά (10 το πρωί με 12:45 το μεσημέρι). Όπως συνέβη και στα προηγούμενα πειράματα, έτσι και σε αυτό κρατήθηκαν μετρήσεις τάσης και ρεύματος του πάνελ από τους ακροδέκτες που έχει για αυτό το σκοπό. Ο καιρός είχε γενικά αρκετές αυξομειώσεις, με αραιή και αρκετή συννεφιά αλλά με περισσότερη ώρα να υπάρχει ηλιοφάνεια. Η διαδικασία έγινε όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1 (βλ. σελίδα 18). Συγκεκριμένα η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν ένα δείγμα κάθε 5 λεπτά για τις πρώτες 2 ώρες ενώ για τα υπόλοιπα 45 λεπτά ήταν κάθε 15'.

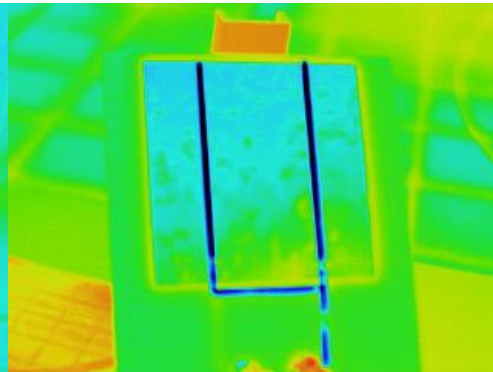
Πίνακας 5.1

Μέτρηση #	Χρόνος (min)	Τάση (mV)	Ρεύμα (A)	Μέση Θερμ. (°C)	Μέση Θερμ. 1.1 (°C)	Μέση Θερμ. 1.2 (°C)	Μέση Θερμ. 2.1 (°C)	Μέση Θερμ. 2.2 (°C)
1	0	27	0.44	15	14.4	14.1	16.1	15.8
2	5	565	2.24	20.3	18.8	19.5	21	22.3
3	10	555	1.8	21.8	20.2	21.2	22.4	23.9
4	15	556	2	23.7	21.6	23.3	24	26.3
5	20	556	2.18	23.6	21.6	23.2	23.7	25.9
6	25	552	2.72	24.2	22.2	23.6	24.4	26.6
7	30	552	2.32	24.1	22.3	24	24.3	26.4
8	35	552	3.02	23.4	21.5	23.4	23.5	25.8
9	40	555	2.8	23.8	21.5	23.8	23.6	26.4
10	45	552	2.11	25.5	22.8	25.1	25.5	28.7
11	50	540	2.05	26.4	24.6	26.7	26.6	27.7
12	55	554	2.9	26.6	23.8	26.4	27.2	29.4
13	60	555	2.3	25.2	23.5	24.9	25.5	27
14	65	547	2.51	25.6	23.8	24.9	26	27.6
15	70	550	2.81	27.6	25.2	26.8	27.8	30.5
16	75	542	2.95	30.3	28.1	29.4	30.6	32.8
17	80	549	3.05	26.9	24.7	25.9	27.3	29.6
18	85	544	2.86	29.4	27.1	28.8	29.6	31.9
19	90	552	2.45	26.2	24.2	25.6	26.6	28.3
20	95	551	3.2	27.7	25.6	26.9	28.1	30.2
21	100	553	3.1	28.5	26.2	28	28.7	31.1
22	105	553	2.9	27.7	25.5	26.8	28.1	30.2
23	110	552	2.7	28.7	26.5	27.9	28.9	31.2
24	115	551	2.92	28.6	26.3	28	29	31
25	120	552	3.28	27	24.7	26.2	27.4	29.3
26	135	548	2.7	32.8	30.9	32	33.2	35.2
27	150	551	2.2	34.8	32.7	34.1	35.1	37.3
28	165	530	1.84	22.8	21	22	23.6	24.7

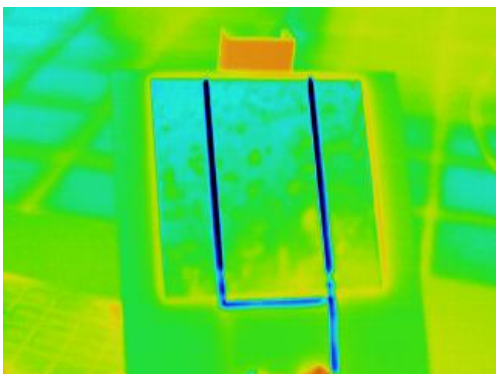
Παρακάτω θα δούμε τις θερμικές εικόνες που τραβήχτηκαν από τη θερμική κάμερα για το τελευταίο σετ μετρήσεων. Η επεξεργασία των εικόνων αυτών έγινε όπως και στα άλλα πειράματα με το Micro Spec 4.0 της Imprac. Όποια συμπεράσματα προκύπτουν από την συσχέτιση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας αυτής και των μετρήσεων θα αναλυθούν εκτενώς σε επόμενο κεφάλαιο.



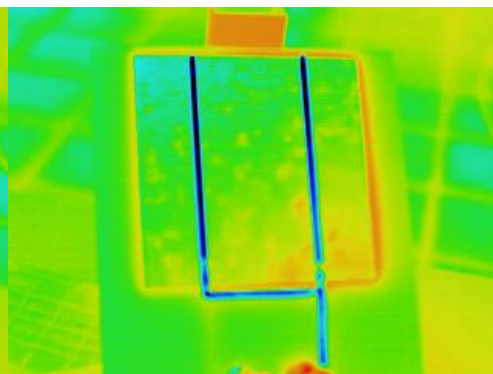
Εικόνα 5.1



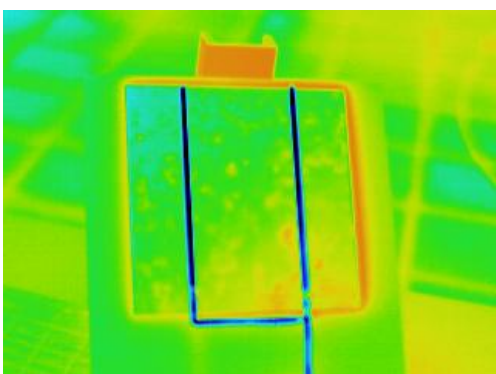
Εικόνα 5.2



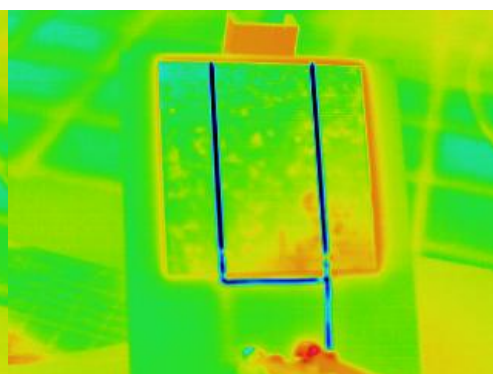
Εικόνα 5.3



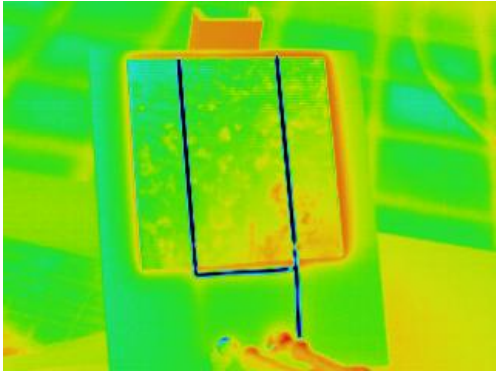
Εικόνα 5.4



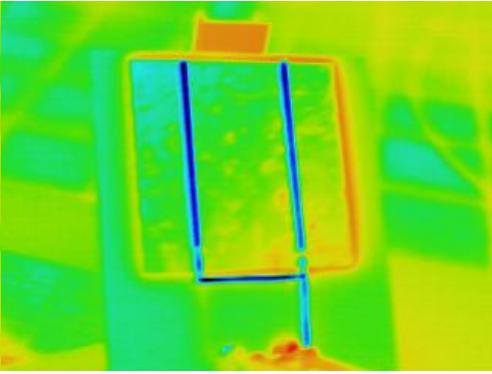
Εικόνα 5.5



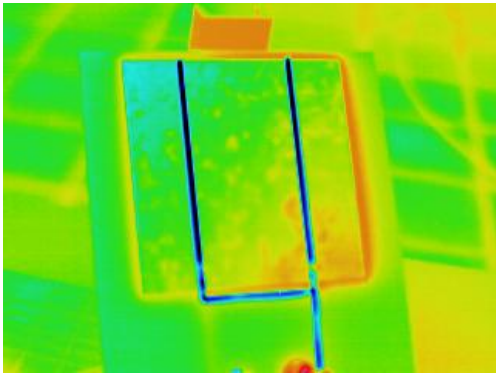
Εικόνα 5.6



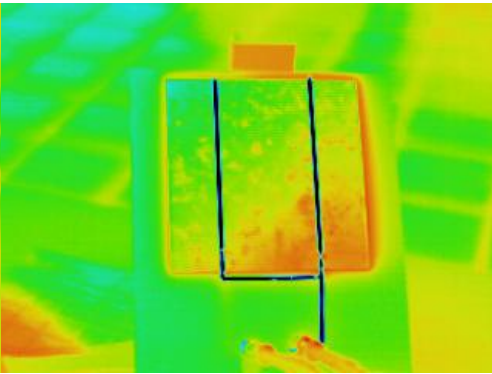
Εικόνα 5.7



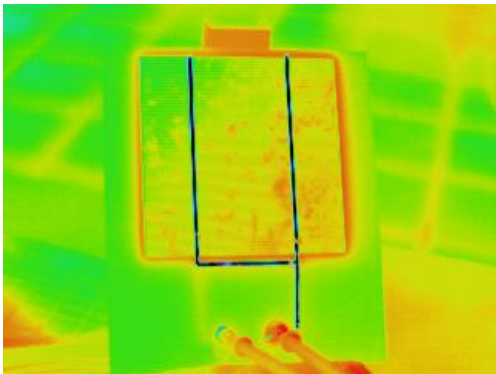
Εικόνα 5.8



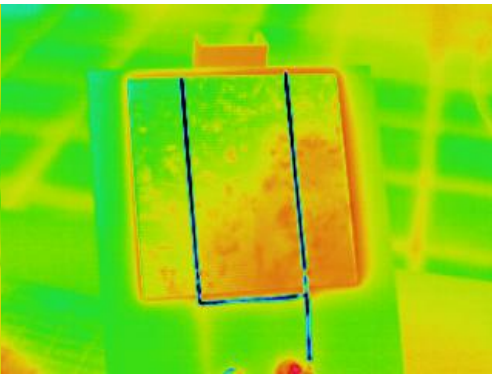
Εικόνα 5.9



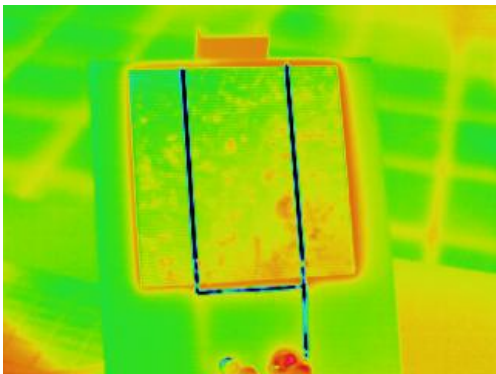
Εικόνα 5.10



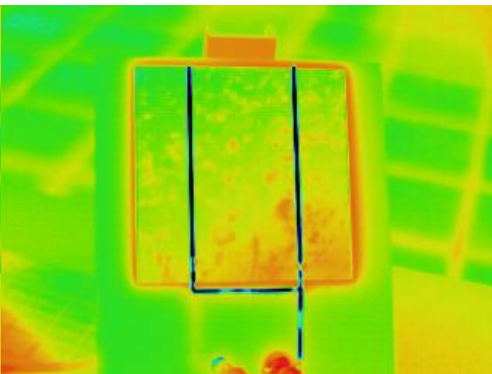
Εικόνα 5.11



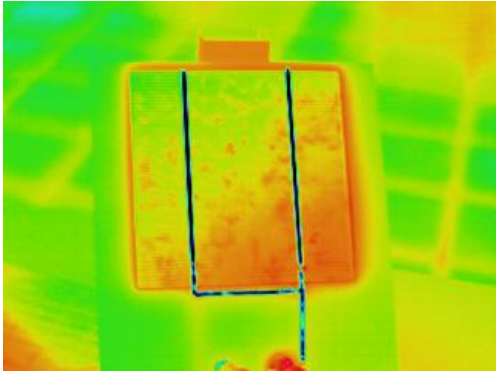
Εικόνα 5.12



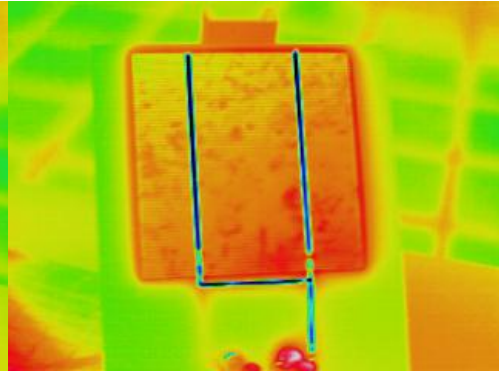
Εικόνα 5.13



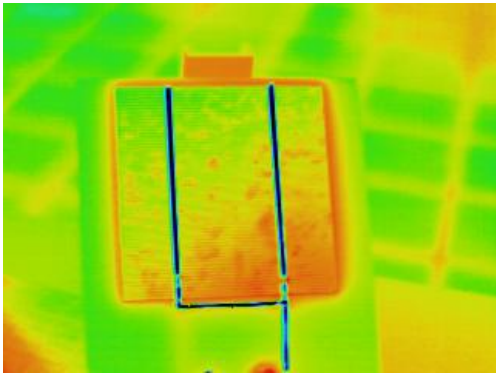
Εικόνα 5.14



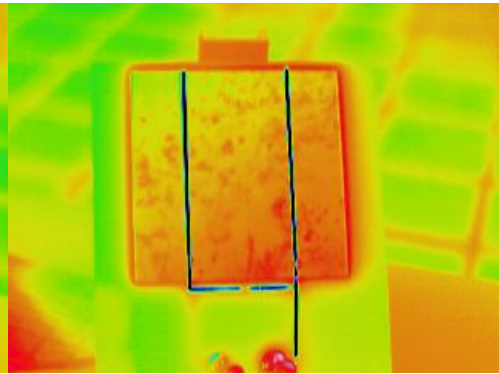
Εικόνα 5.15



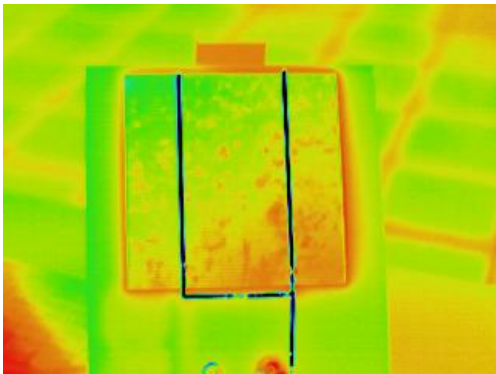
Εικόνα 5.16



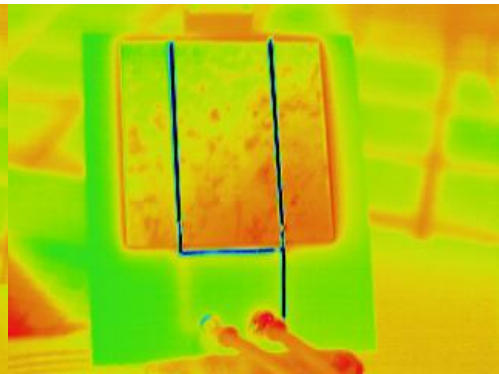
Εικόνα 5.17



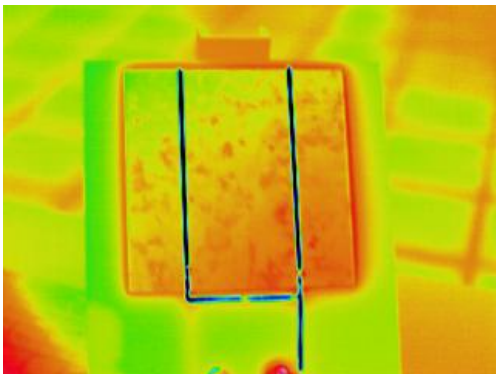
Εικόνα 5.18



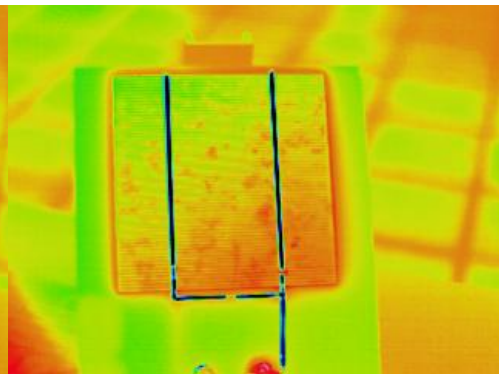
Εικόνα 5.19



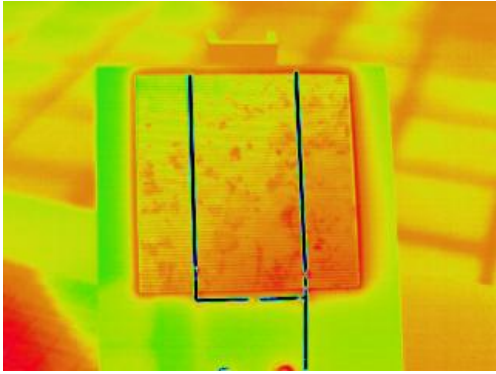
Εικόνα 5.20



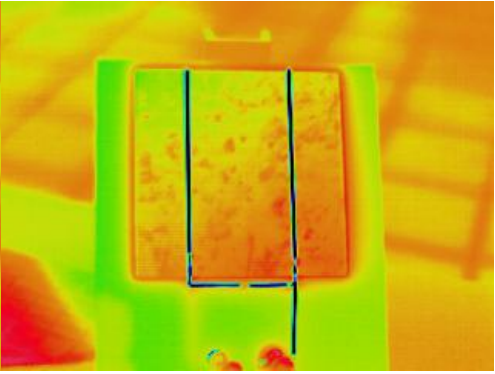
Εικόνα 5.21



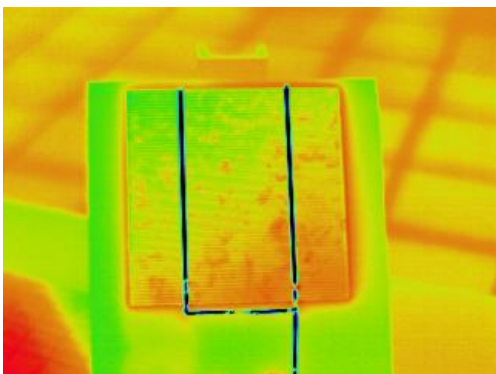
Εικόνα 5.22



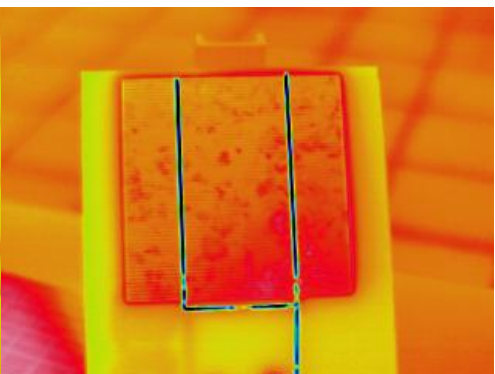
Εικόνα 5.23



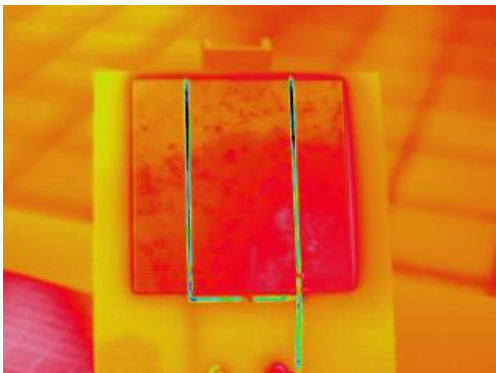
Εικόνα 5.24



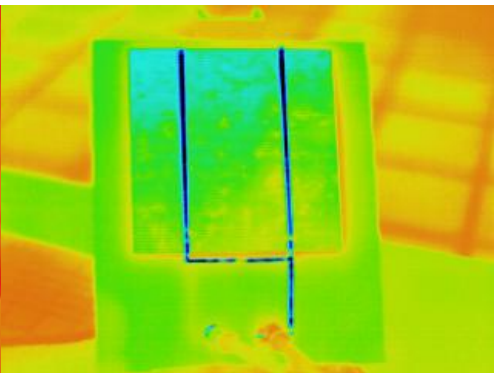
Εικόνα 5.25



Εικόνα 5.26



Εικόνα 5.27



Εικόνα 5.28

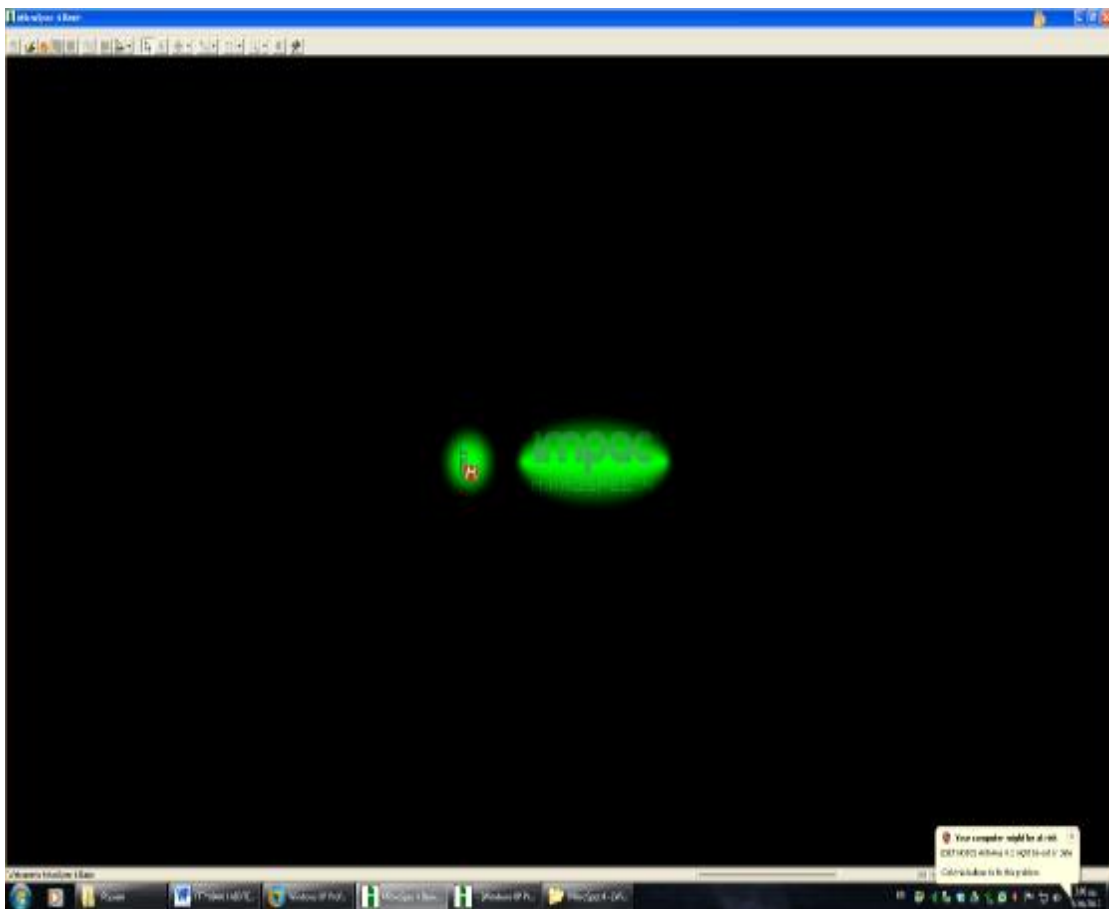
4.3 : Εξαγωγή και επεξεργασία δεδομένων – Γραφήματα

Μετά την παρουσίαση των μετρήσεων και των εικόνων όλων των πειραμάτων στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε παρακάτω την ανάλυση των αποτελεσμάτων που είχαμε. Όπως εξηγήθηκε συνοπτικά στο κεφάλαιο 4.1(σελ. 18) οι εικόνες επεξεργάστηκαν κατάλληλα για να γίνει εξαγωγή στοιχείων από αυτές και συγκεκριμένα αυτό της μέσης θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και της μέσης θερμοκρασίας των τεσσάρων τεταρτημορίων.

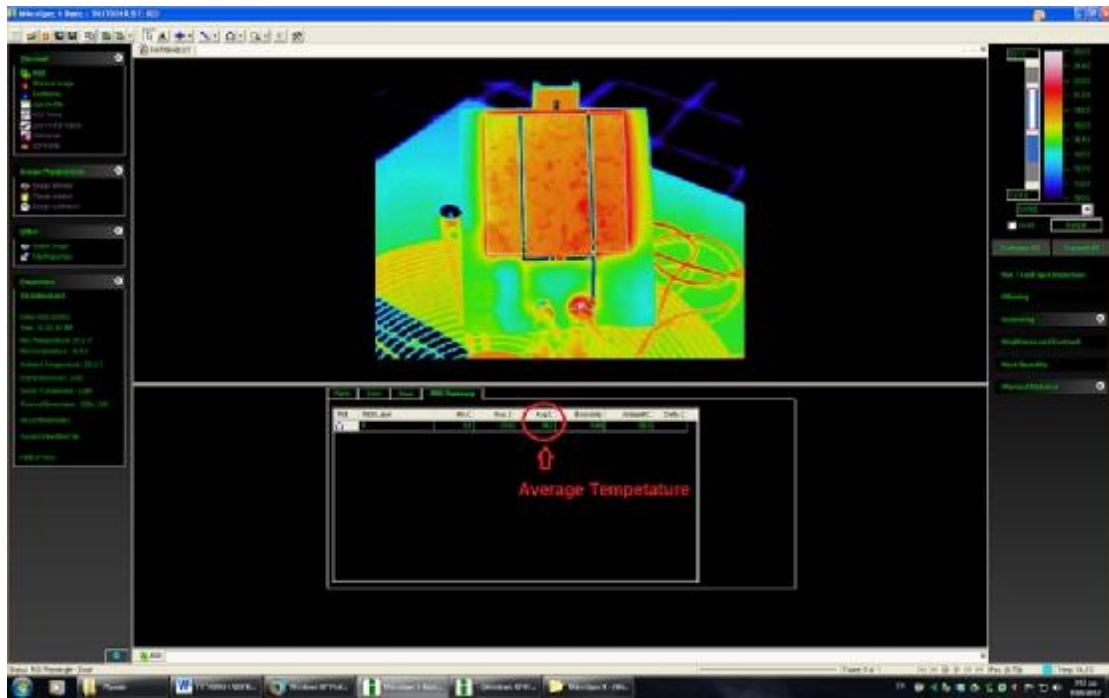
Για αυτό το σκοπό προτιμήσαμε να χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα που συνόδευε την συσκευασία της θερμικής κάμερας. Αυτό είναι το Micro Spec 4.0 της Imprac. Με μία απλή διαδικασία επιλογής συγκεκριμένου χώρου της φωτογραφίας επιλέγαμε το πάνελ και το πρόγραμμα από μόνο του μας έλεγε της μέση θερμοκρασία αυτής της περιοχής που προφανώς ταυτίζεται με ηλιακό πάνελ.

Στη συνέχεια κάναμε την ίδια διαδικασία επιλέγοντας τώρα όμως 4 περιοχές του πάνελ μέσα στη φωτογραφία. Αυτές των τεσσάρων τεταρτημορίων με σειρά και αρίθμηση όπως έχει αναφερθεί στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου 4.

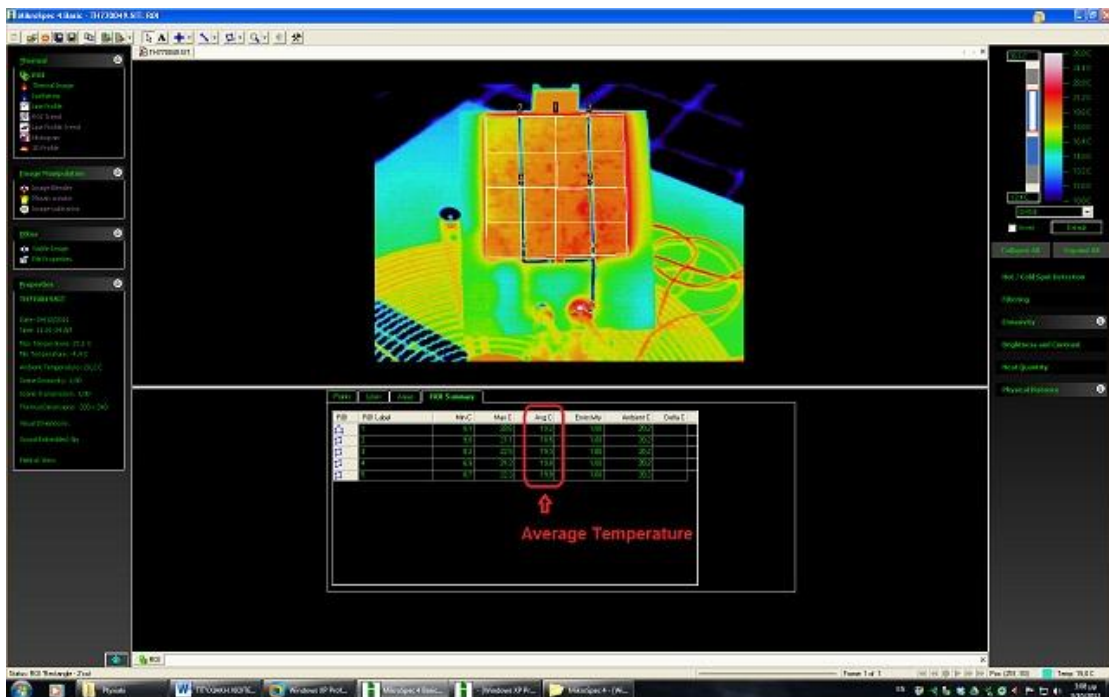
Αυτή λοιπόν ήταν η εξαγωγή του μοναδικού στοιχείου που πήραμε από την θερμική εικόνα και ήταν αυτό που μας ένοιαζε περισσότερο. Αυτή λοιπόν η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε για όλες τις 148 εικόνες των πέντε πειραμάτων.



Εικόνα 6.1 : Αρχικό περιβάλλον Micro Spec 4.0



Εικόνα 6.2 : Επεξεργασία θερμικής εικόνας. Επιλογή περιοχής ενδιαφέροντος με εστίαση μόνο στο ηλιακό πάνελ.



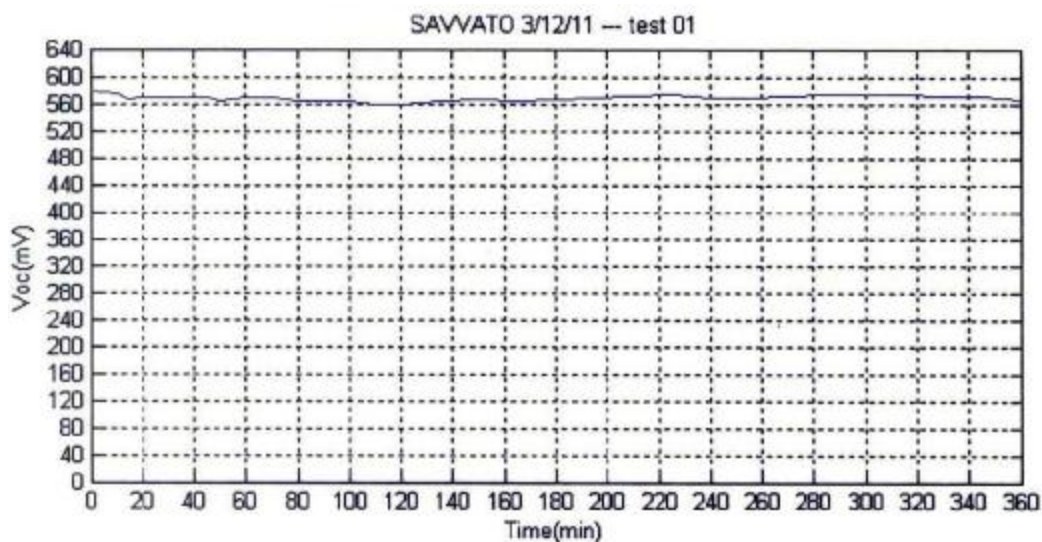
Εικόνα 6.3 : Επεξεργασία θερμικής εικόνας. Επιλογή περιοχών ενδιαφέροντος με εστίαση σε όλο το πάνελ αλλά και στα τέσσερα τεταρτημόρια του.

Επόμενο στάδιο της επεξεργασίας ήταν η σύνδεση των μετρήσεων μας κατά της διάρκειας των πειραμάτων, οι οποίες ήταν η μέτρηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος και η ένταση του ρεύματος βραχυκυκλώματος, και των δεδομένων που εξήχθησαν από της θερμικές εικόνες. Δηλαδή την μέση θερμοκρασία.

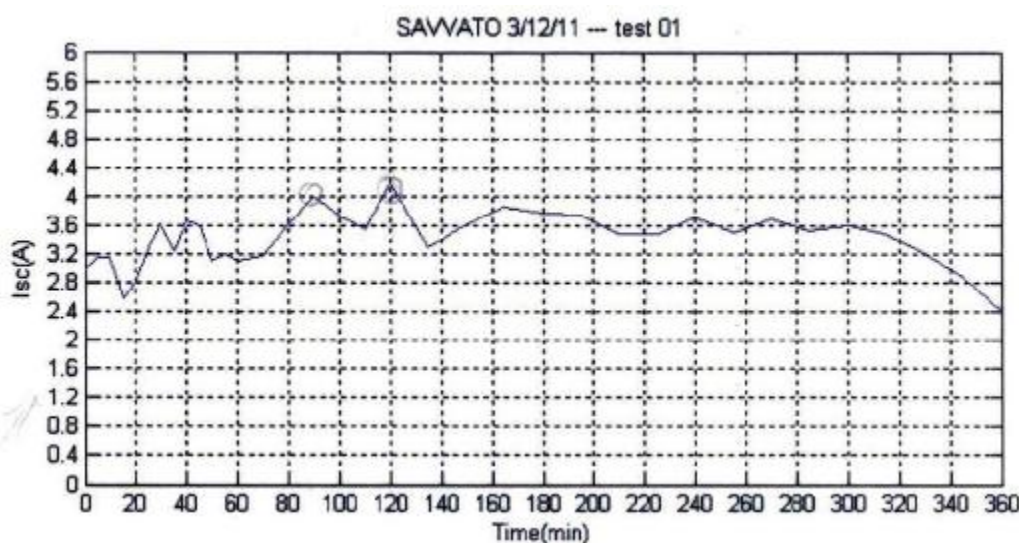
Η σύνδεση αυτή αρχικά έγινε με διαγράμματα ως προς το χρόνο ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε και συσχέτιση αυτών σε 3 κύρια διαγράμματα, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.1 όπου γίνεται η ανάλυση των εργασιών μας. Πέρα από αυτή τη συσχέτιση έγινε και εικονική συσχέτιση με το ανθρώπινο μάτι για όποιο από τα διαγράμματα ήταν αυτό εύκολο και εμφανές σε μας. Τα διαγράμματα έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab 2012a και με τρόπο που έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4.1.

Παρακάτω θα παρατεθούν όλα αυτά τα διαγράμματα προς ανάλυση και εξαγωγή όποιων συμπερασμάτων και διαπιστώσεων, για τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, τα οποία θα αναφερθούν αναλυτικά στο παρακάτω κεφάλαιο.

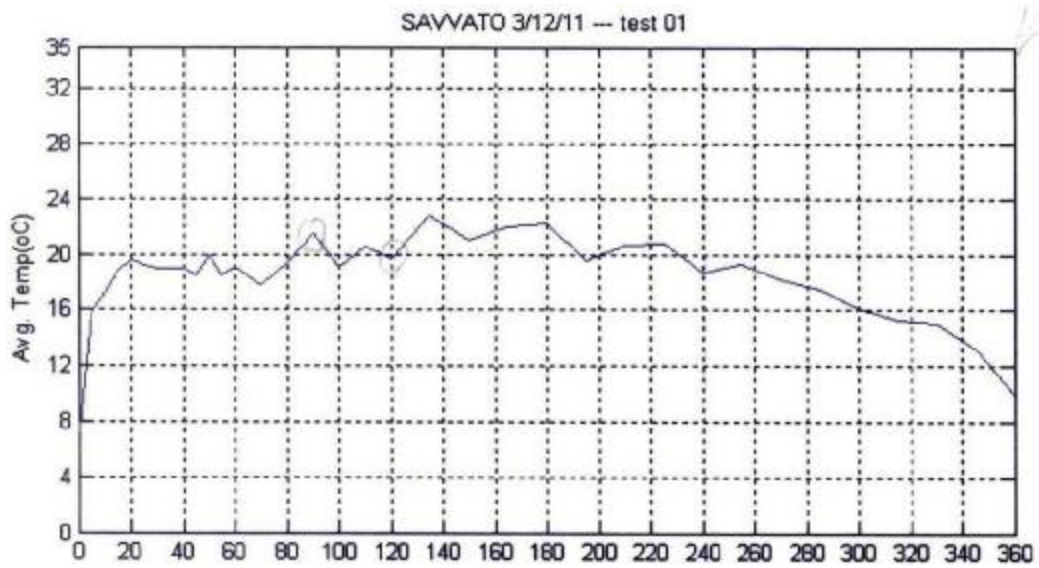
Έτσι λοιπόν για την πρώτη μέρα μετρήσεων έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα.



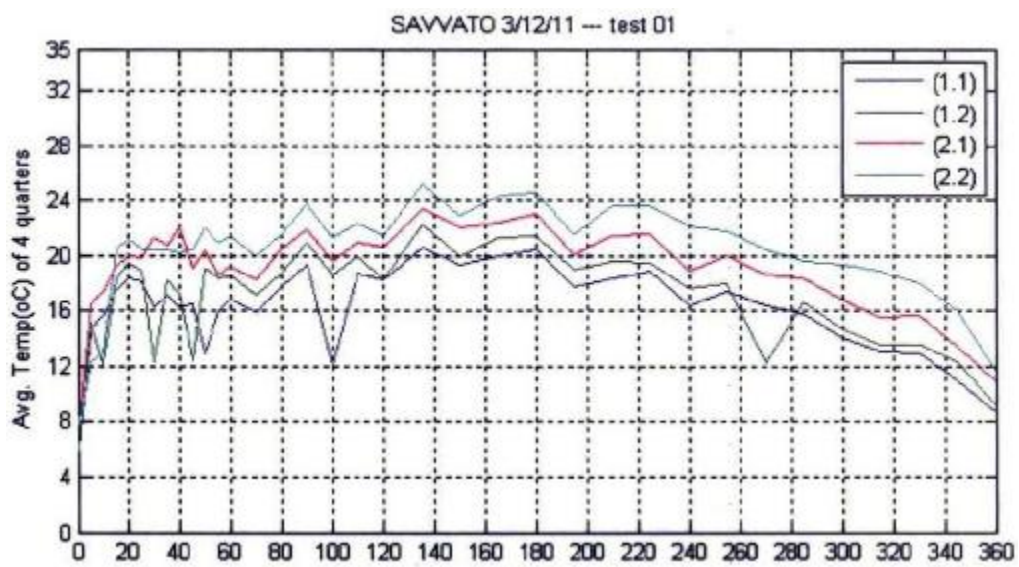
Εικόνα 6.4 : Διάγραμμα Voc(t) πρώτης μέρας μετρήσεων



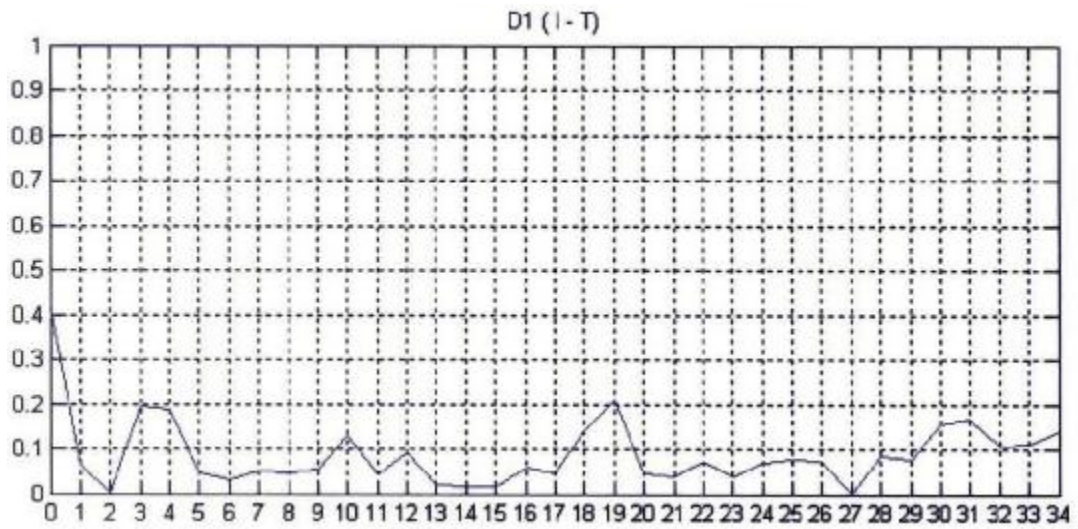
Εικόνα 6.5 : Διάγραμμα Isc(t) πρώτης μέρας μετρήσεων



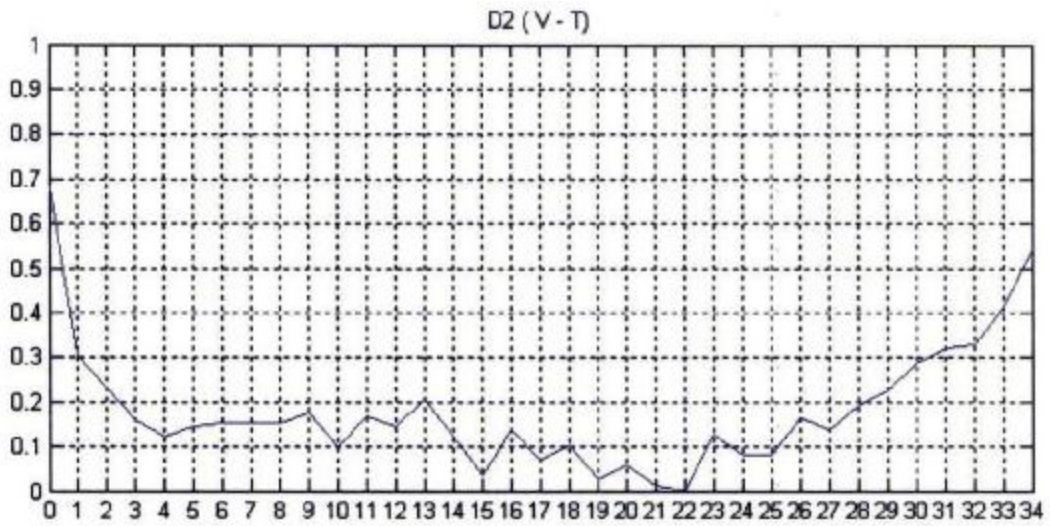
Εικόνα 6.6 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ πρώτης μέρας μετρήσεων



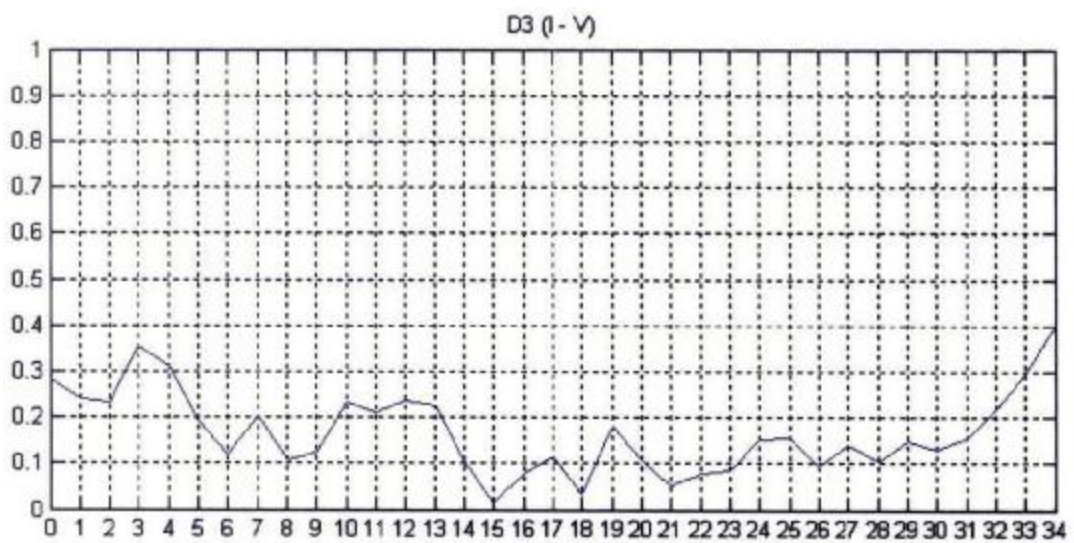
Εικόνα 6.7 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ πρώτης μέρας μετρήσεων



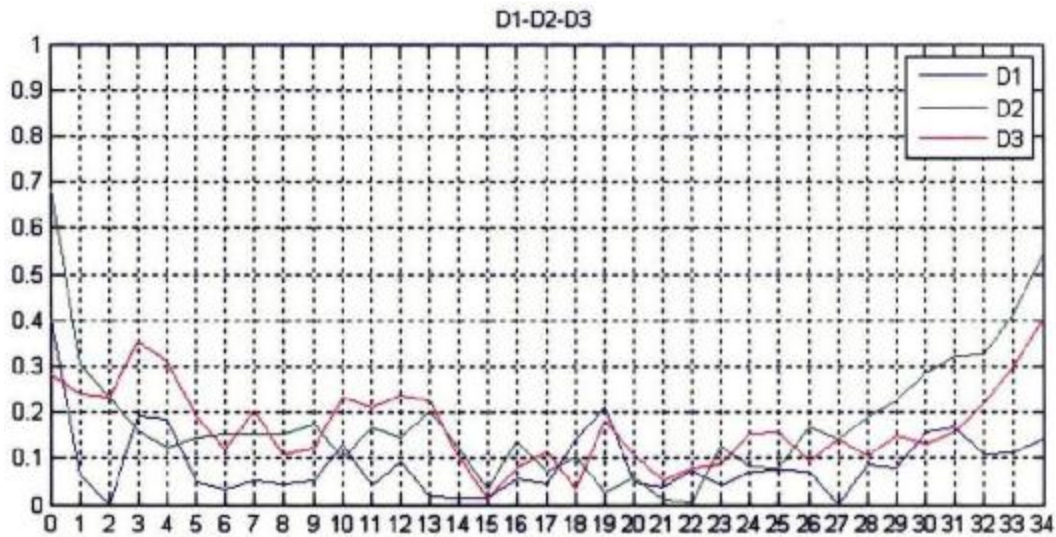
Εικόνα 6.8 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας πρώτης ημέρας



Εικόνα 6.9 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας πρώτης ημέρας

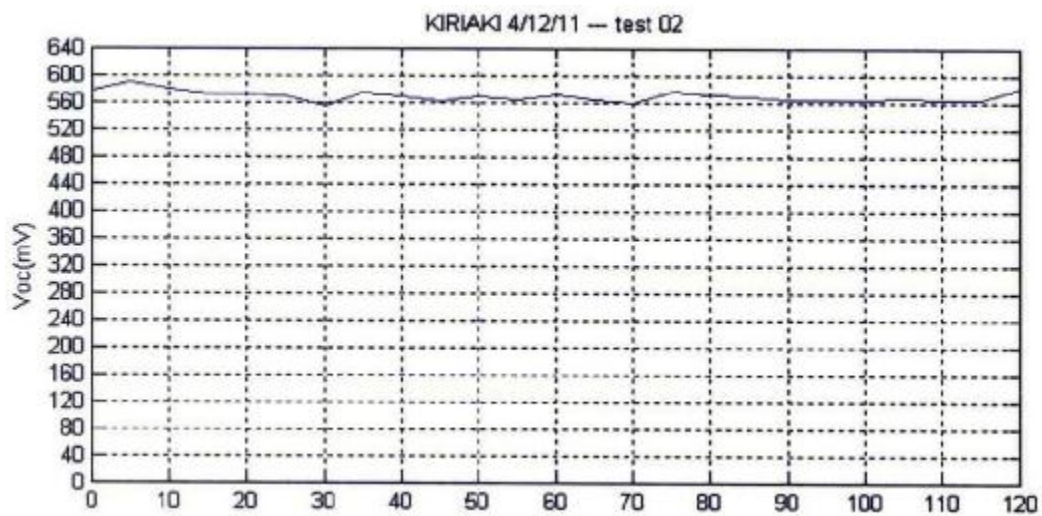


Εικόνα 6.10 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης πρώτης ημέρας

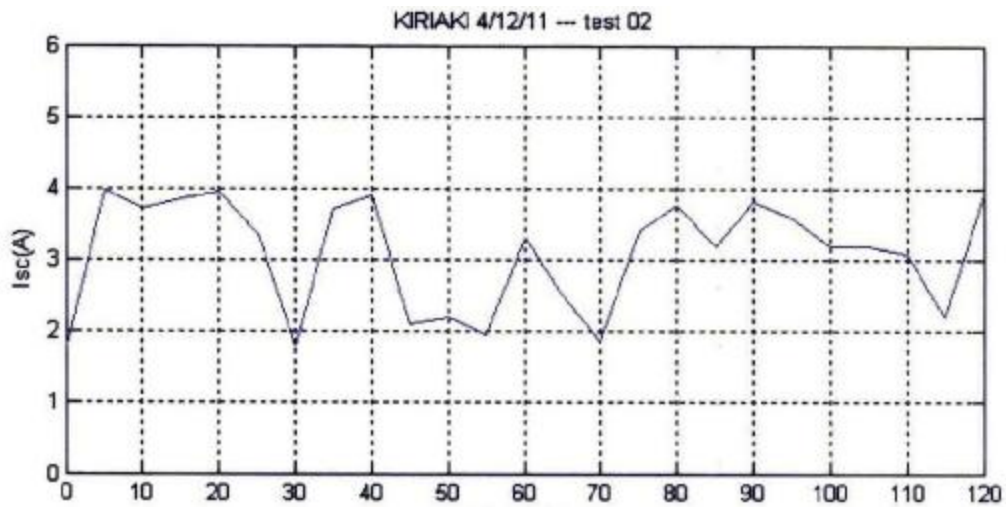


Εικόνα 6.11 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της πρώτης ημέρας

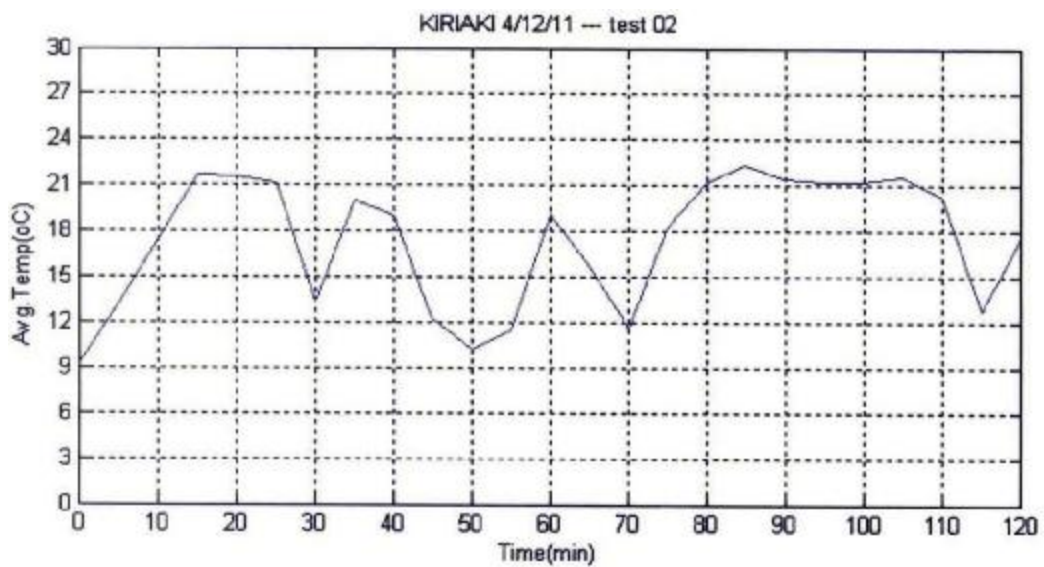
Αυτά ήταν τα διαγράμματα που πήραμε από την επεξεργασία των δεδομένων μας για το πρώτο πείραμα. Ακολουθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων και της επεξεργασίας για το δεύτερο σετ μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε την Κυριακή 4 Δεκεμβρίου του 2012.



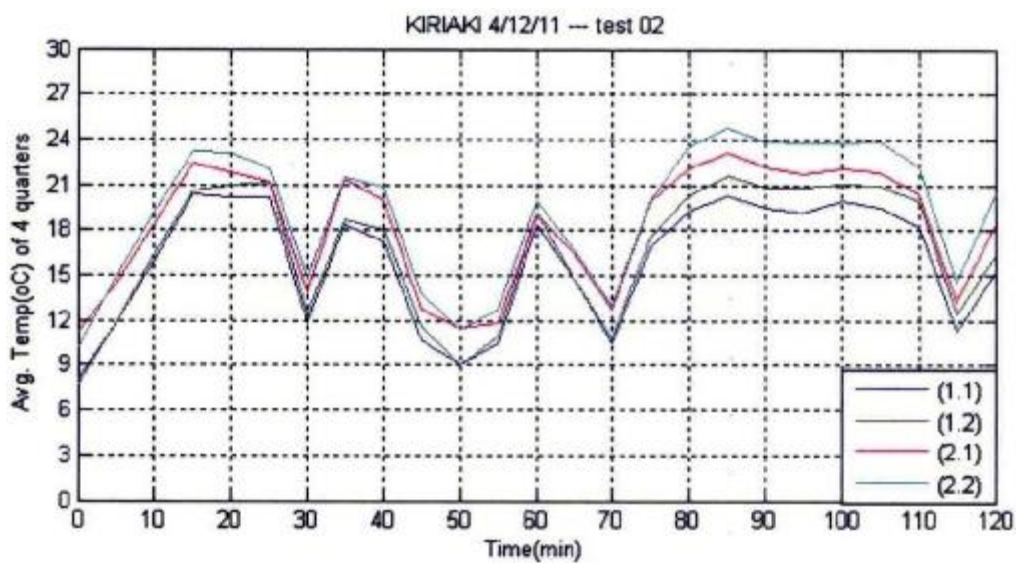
Εικόνα 6.12 : Διάγραμμα Voc(t) δεύτερης μέρας μετρήσεων



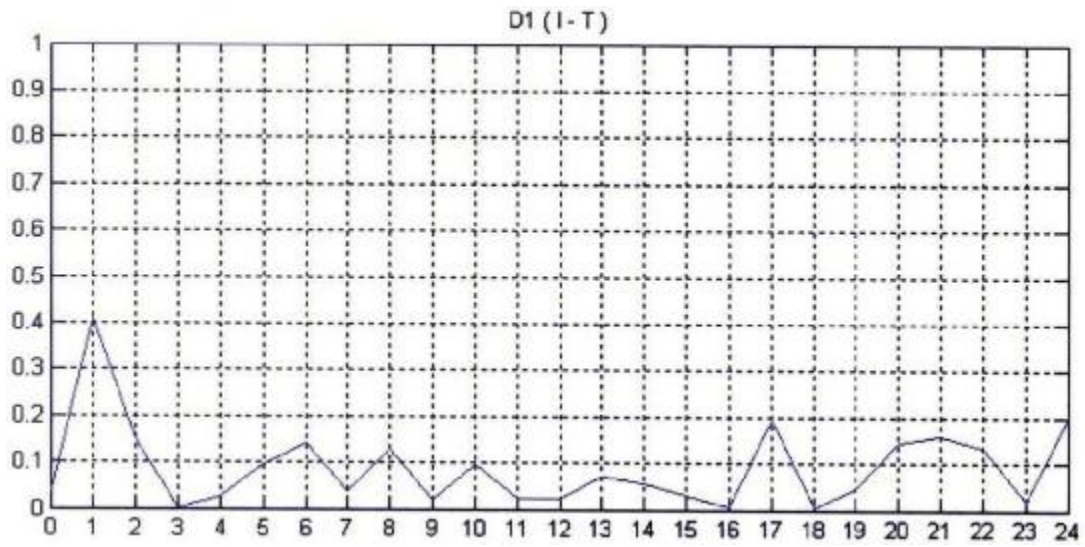
Εικόνα 6.13 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ δεύτερης μέρας μετρήσεων



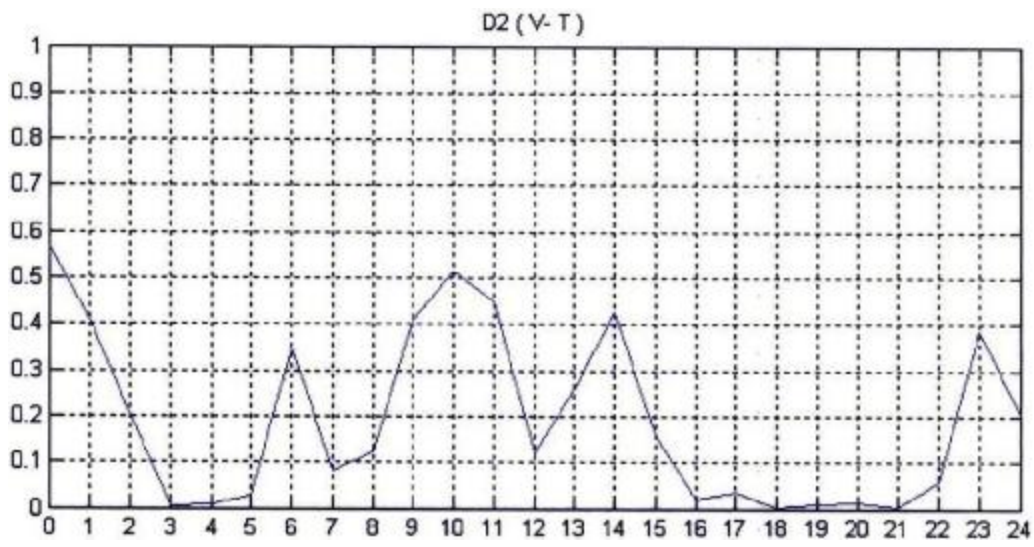
Εικόνα 6.14 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ δεύτερης μέρας μετρήσεων



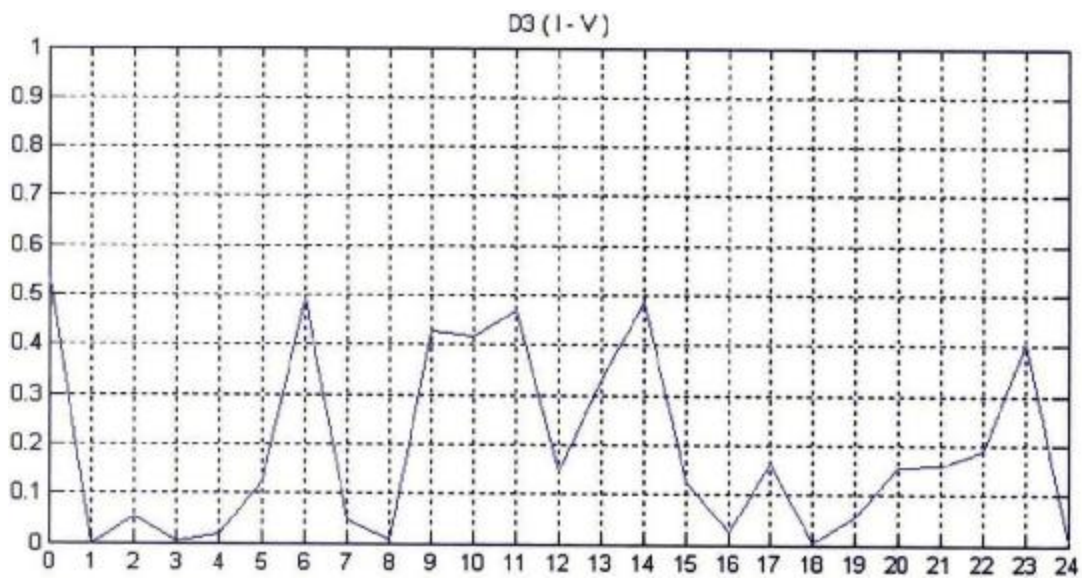
Εικόνα 6.15 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ δεύτερης μέρας μετρήσεων



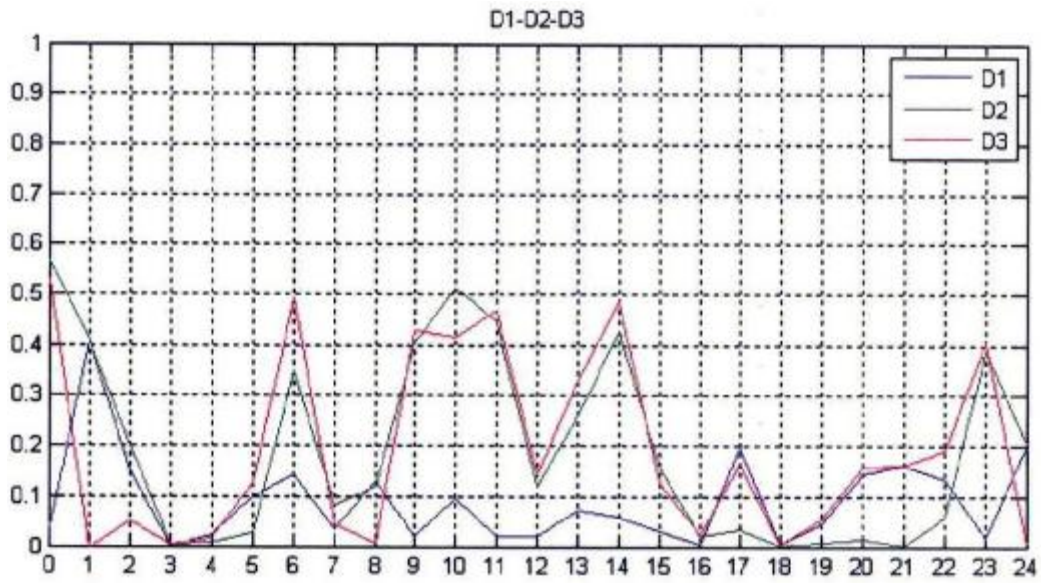
Εικόνα 6.16 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας δεύτερης ημέρας



Εικόνα 6.17 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας δεύτερης ημέρας

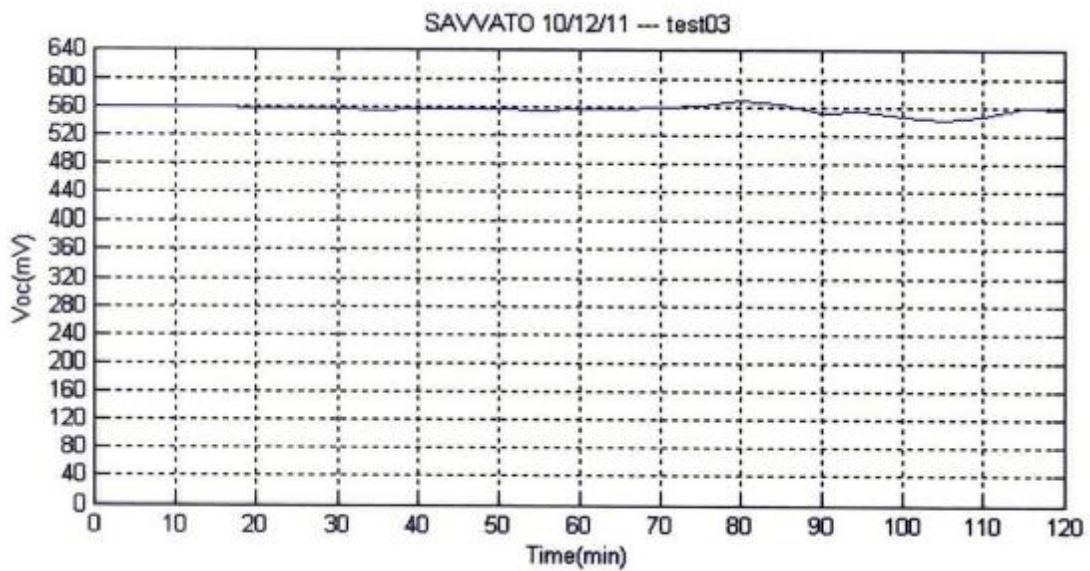


Εικόνα 6.18 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης δεύτερης ημέρας

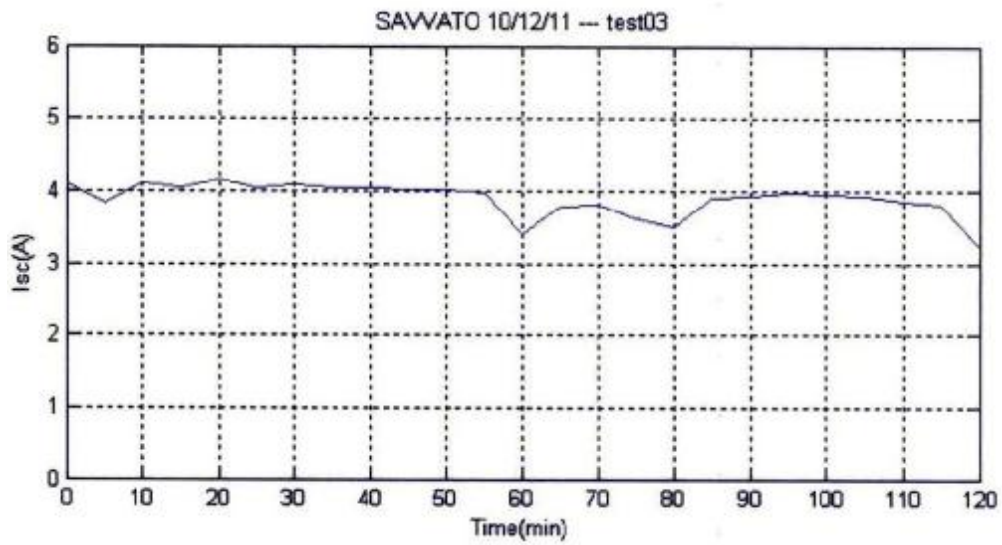


Εικόνα 6.19 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της δεύτερης ημέρας

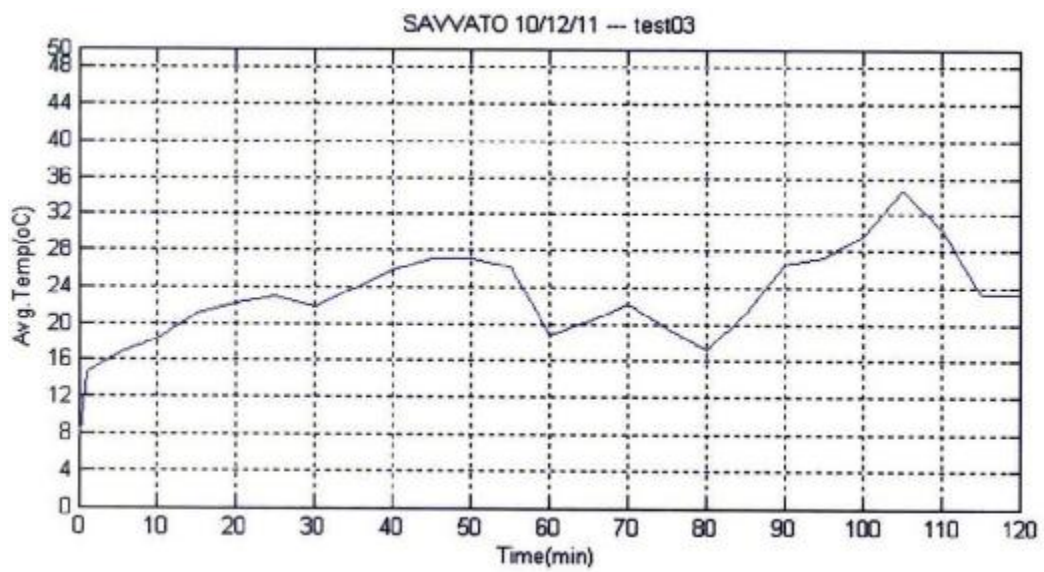
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που βγάλαμε κατά το τρίτο πείραμα που κάναμε το Σάββατο στις 10 Δεκεμβρίου του 2012.



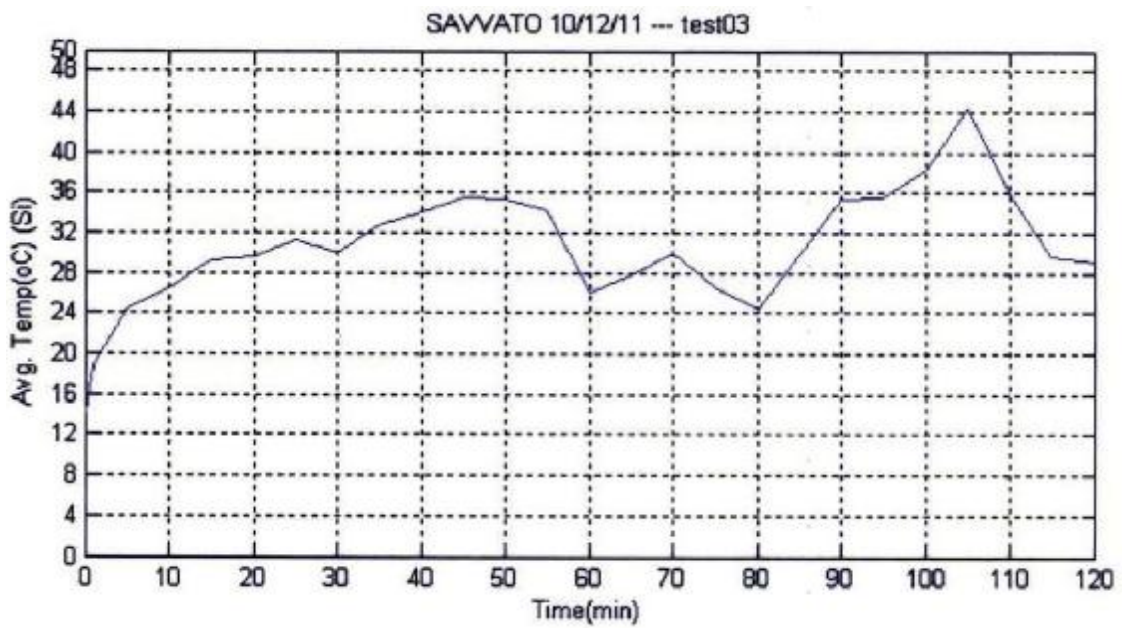
Εικόνα 6.20 : Διάγραμμα $V_{oc}(t)$ τρίτης μέρας μετρήσεων



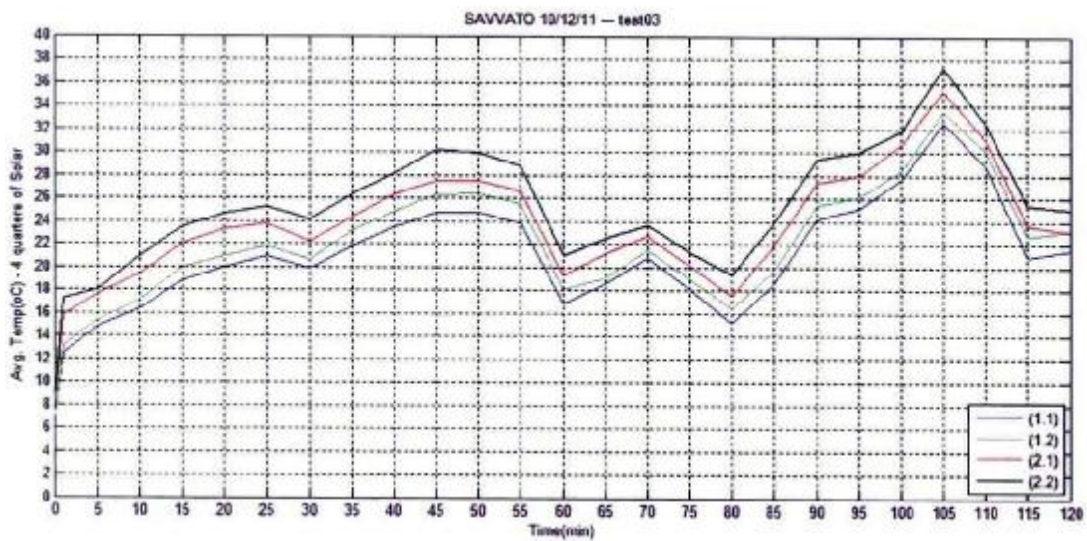
Εικόνα 6.21 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ τρίτης μέρας μετρήσεων



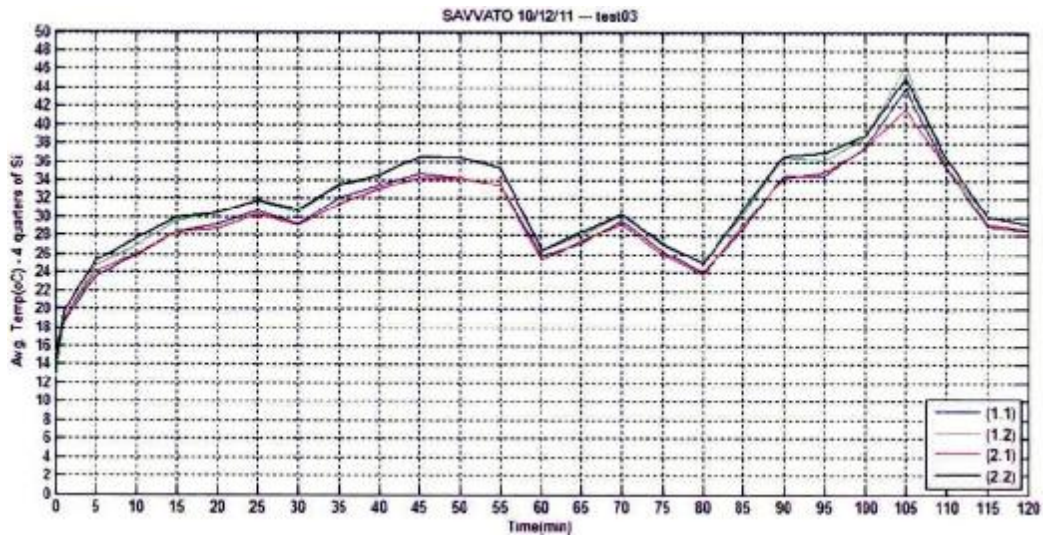
Εικόνα 6.22 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - pSi τρίτης μέρας μετρήσεων



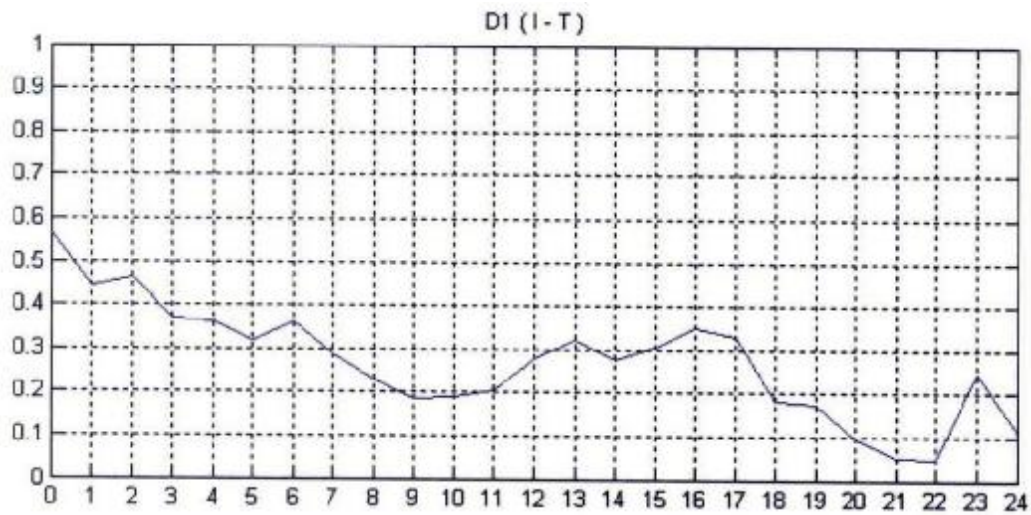
Εικόνα 6.23 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - aSi τρίτης μέρας μετρήσεων



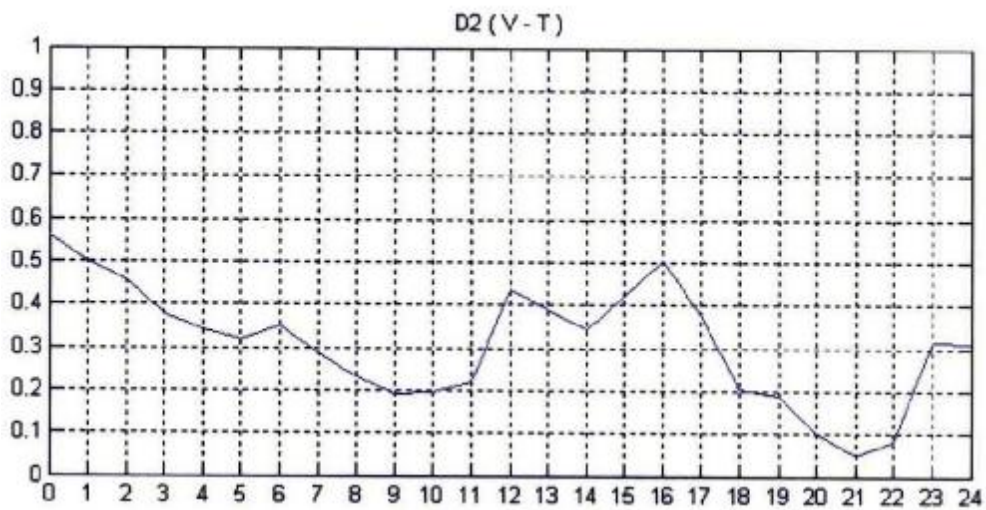
Εικόνα 6.24 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του pSi πάνελ τρίτης μέρας μετρήσεων



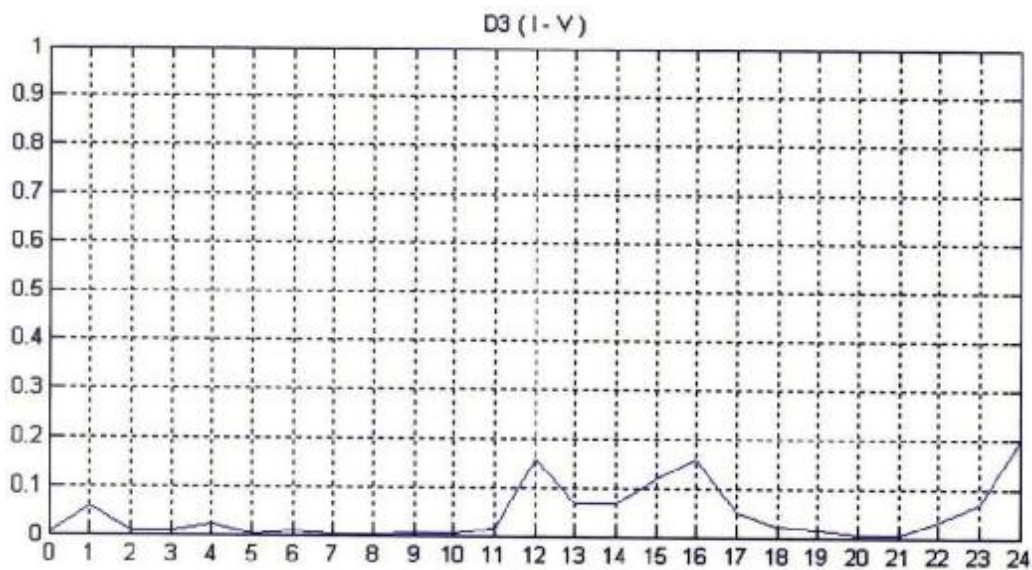
Εικόνα 6.25 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του aSi πάνελ τρίτης μέρας μετρήσεων



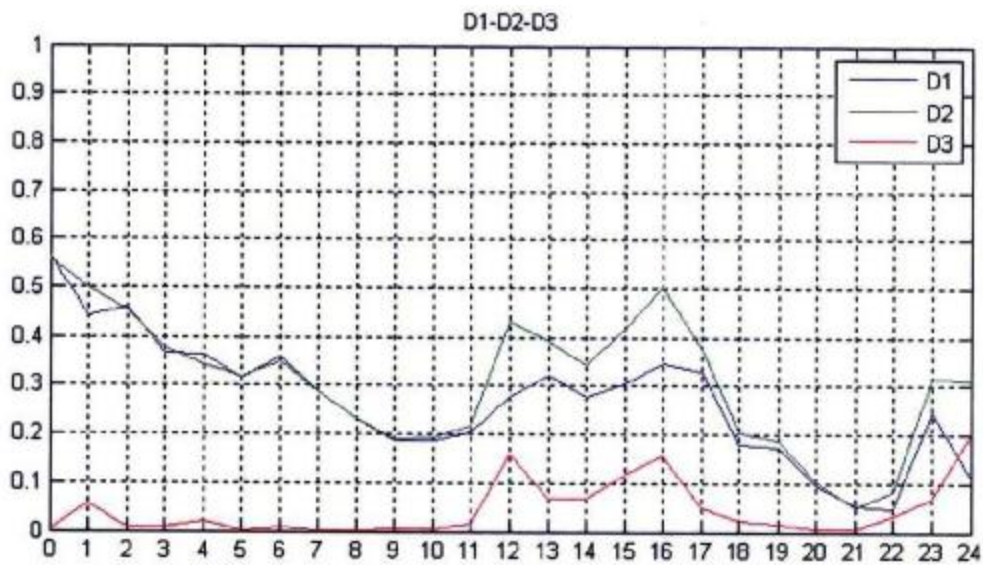
Εικόνα 6.26 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας τρίτης ημέρας



Εικόνα 6.27 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας τρίτης ημέρας

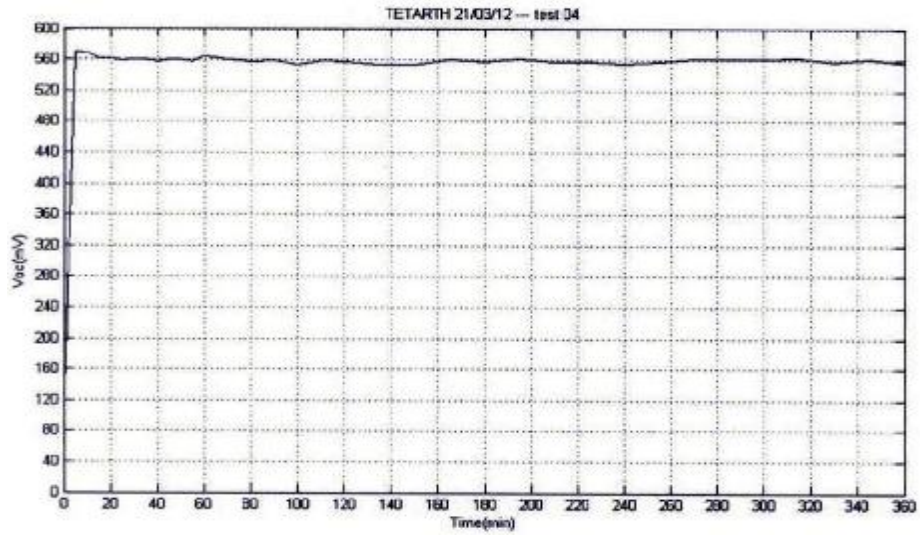


Εικόνα 6.28 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης τρίτης ημέρας

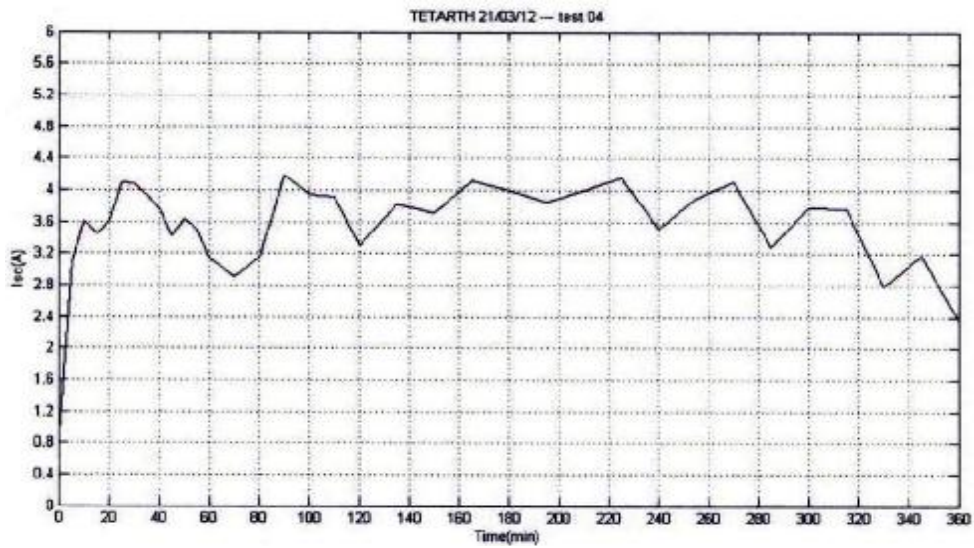


Εικόνα 6.29 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της τρίτης ημέρας

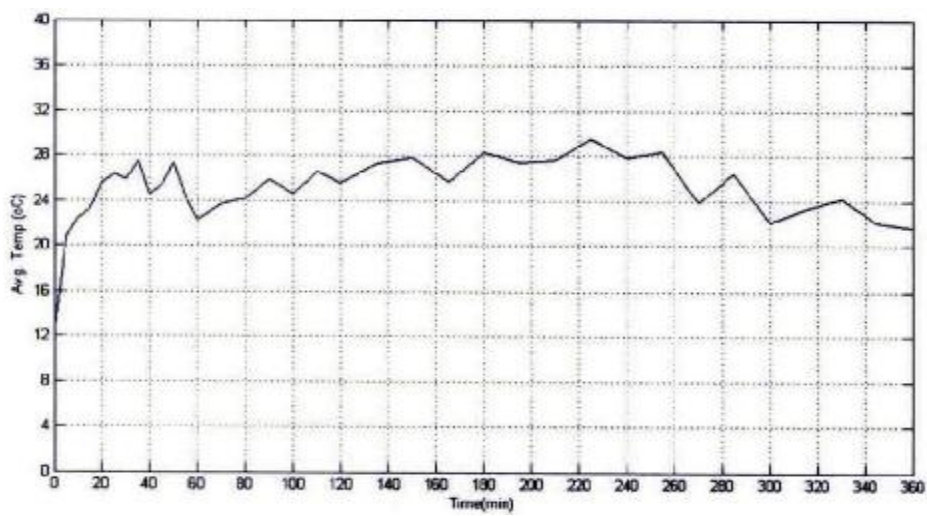
Με αυτά τα διαγράμματα κλείνουμε τα πρώτα τρία σετ μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν και τον ίδιο μήνα σε διάστημα μίας εβδομάδας. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα που προέκυψαν από την επεξεργασία κατά την τέταρτη και πέμπτη μέρα μετρήσεων. Η πρώτη εξ' αυτών έγινε στις 21 Μαρτίου του 2012 ενώ τη δεύτερη και τελευταία μέρα μετρήσεων έγινε στις 5 Ιουνίου του 2012. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4.2.4 στην τέταρτη μέτρηση είχαμε και τα 2 πάνελ ενώ γνωστό από το κεφάλαιο 4.2.5 ότι στο τελευταίο σετ χρησιμοποιήθηκε μόνο το πολυκρυσταλλικό πάνελ.



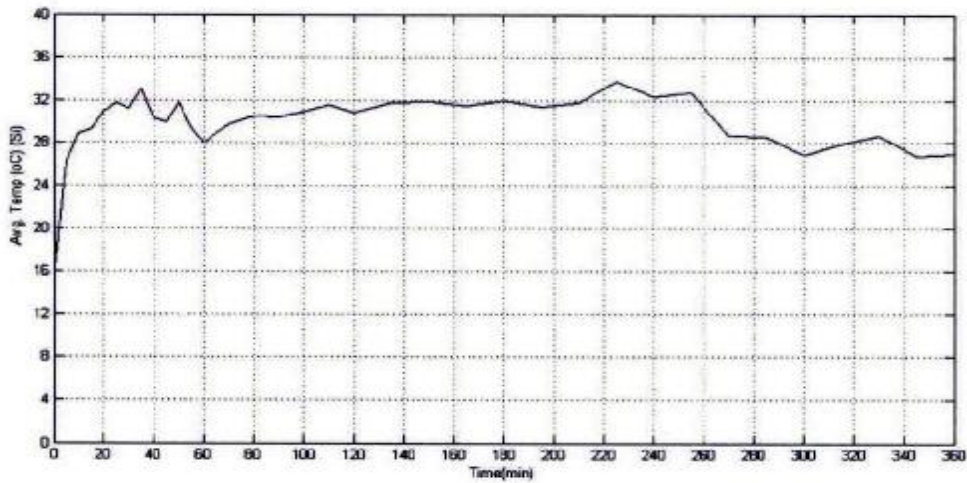
Εικόνα 6.30 : Διάγραμμα $V_{oc}(t)$ τέταρτης μέρας μετρήσεων



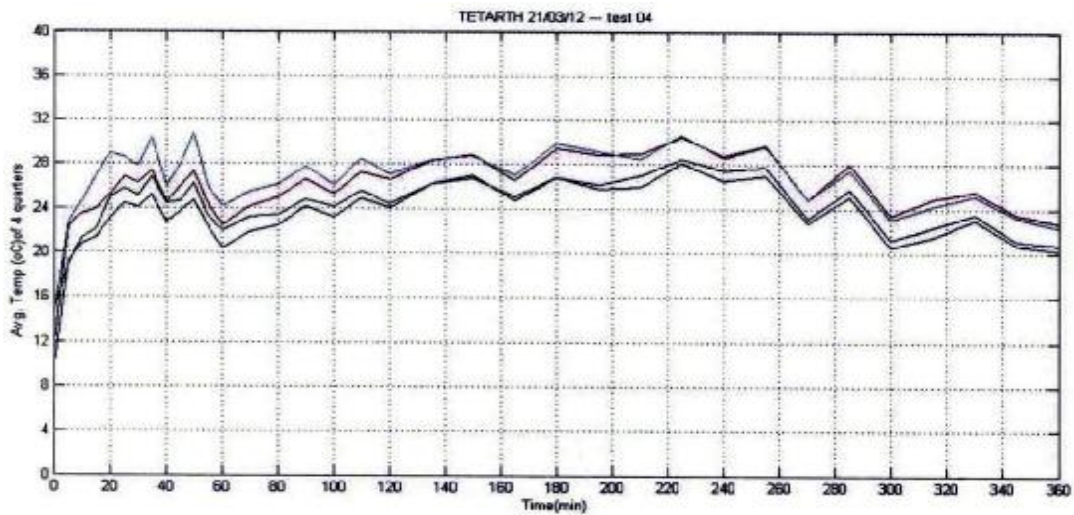
Εικόνα 6.31 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ τέταρτης μέρας μετρήσεων



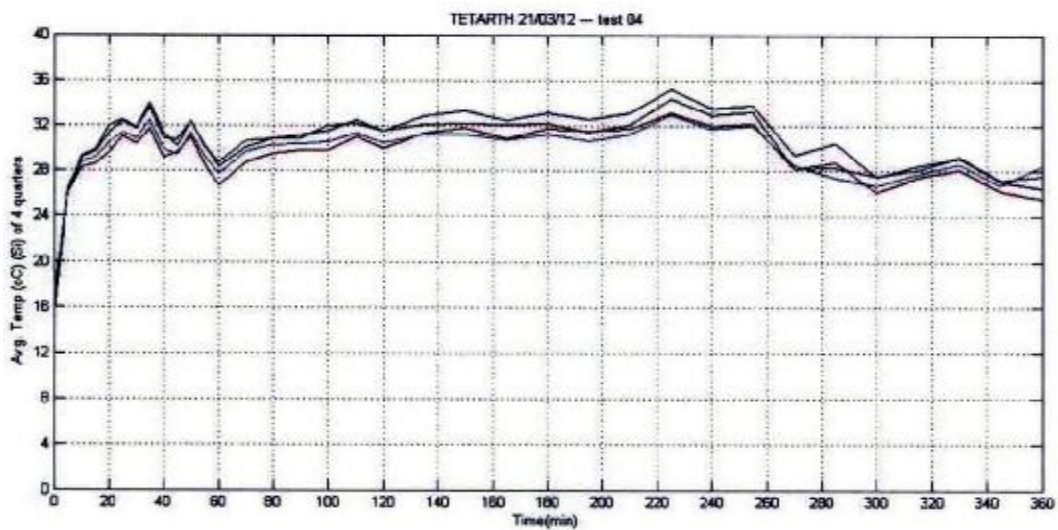
Εικόνα 6.32 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - pSi τέταρτης μέρας μετρήσεων



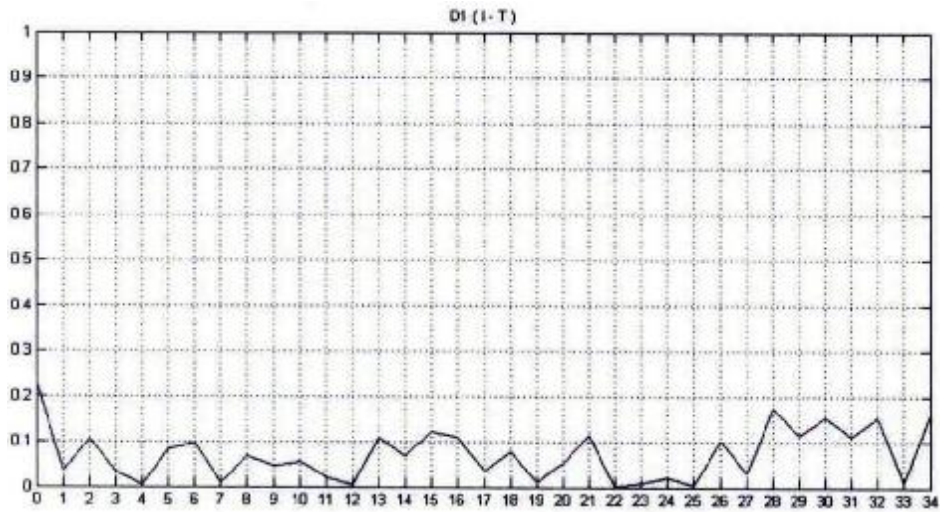
Εικόνα 6.33 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ - aSi τέταρτης μέρας μετρήσεων



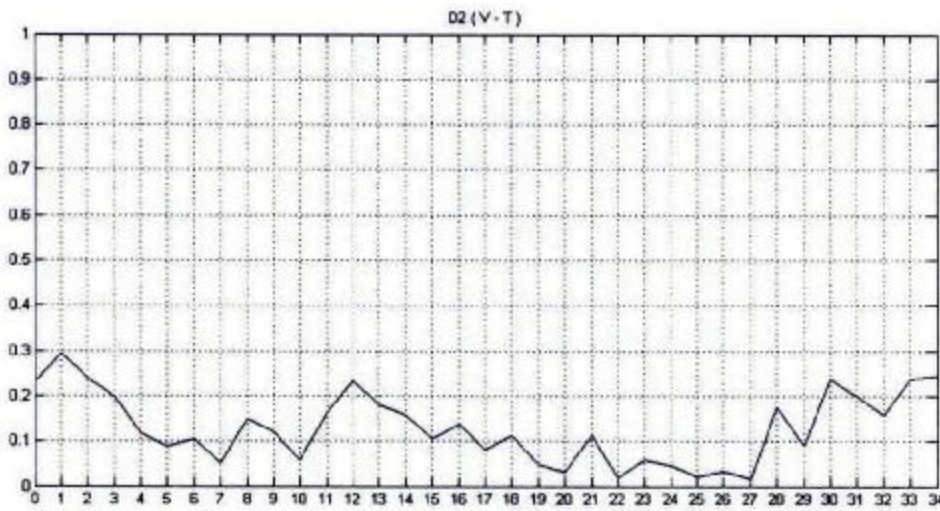
Εικόνα 6.34 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του pSi πάνελ τέταρτης μέρας μετρήσεων



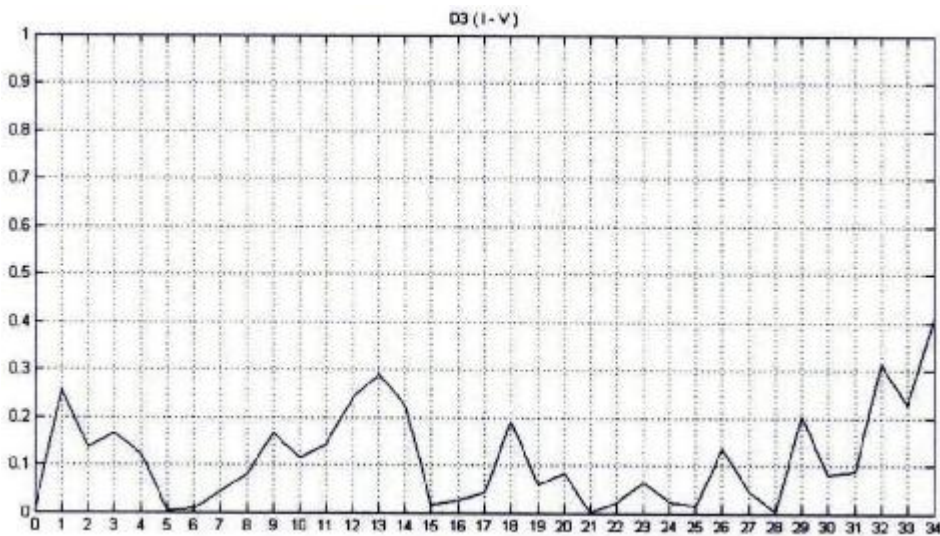
Εικόνα 6.35 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ του aSi πάνελ τέταρτης μέρας μετρήσεων



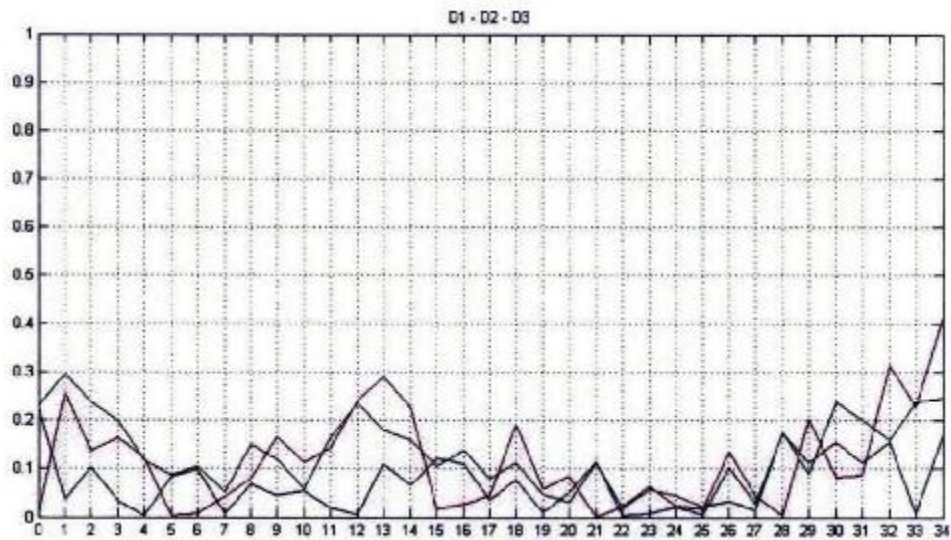
Εικόνα 6.36 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας τέταρτης ημέρας



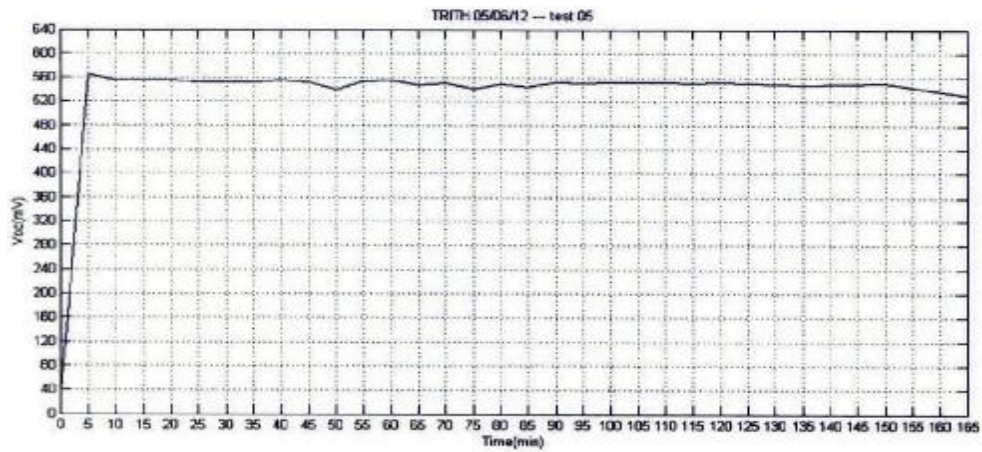
Εικόνα 6.37 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας τέταρτης ημέρας



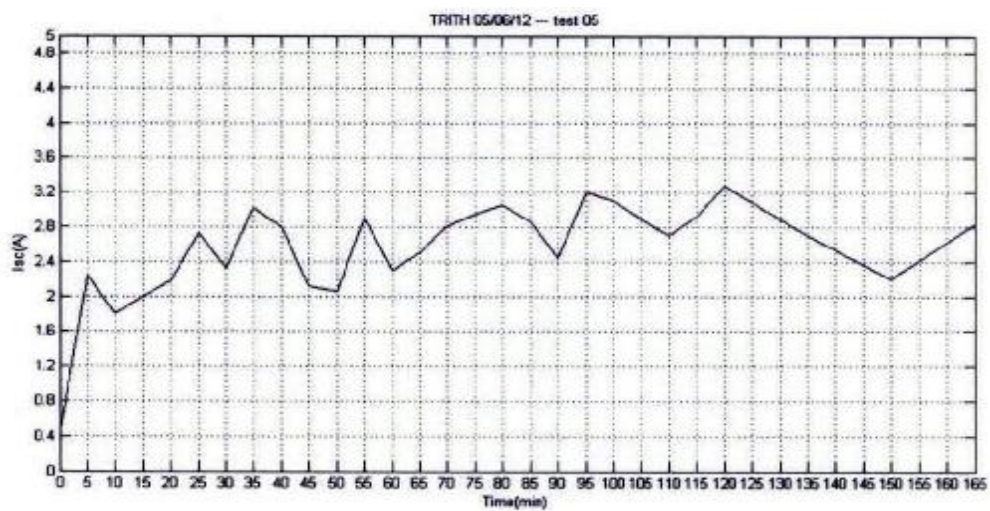
Εικόνα 6.38 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης τέταρτης ημέρας



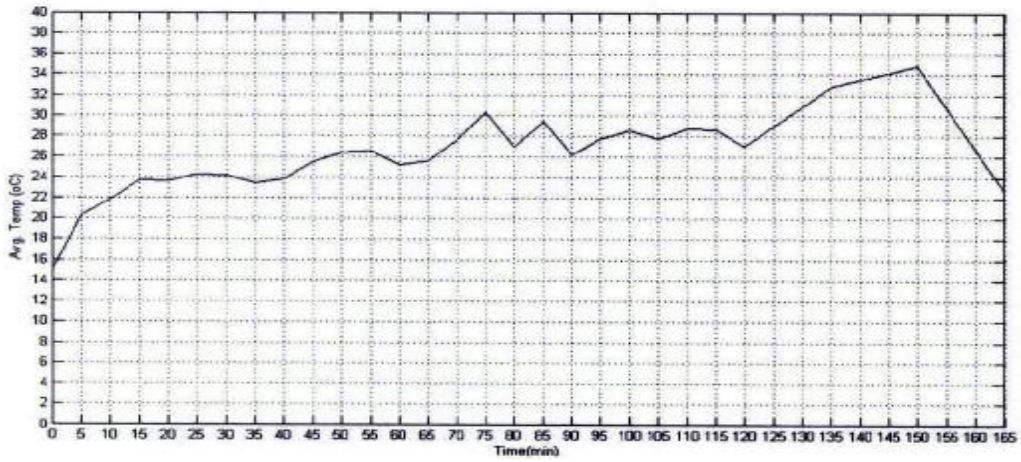
Εικόνα 6.39 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της τέταρτης ημέρας



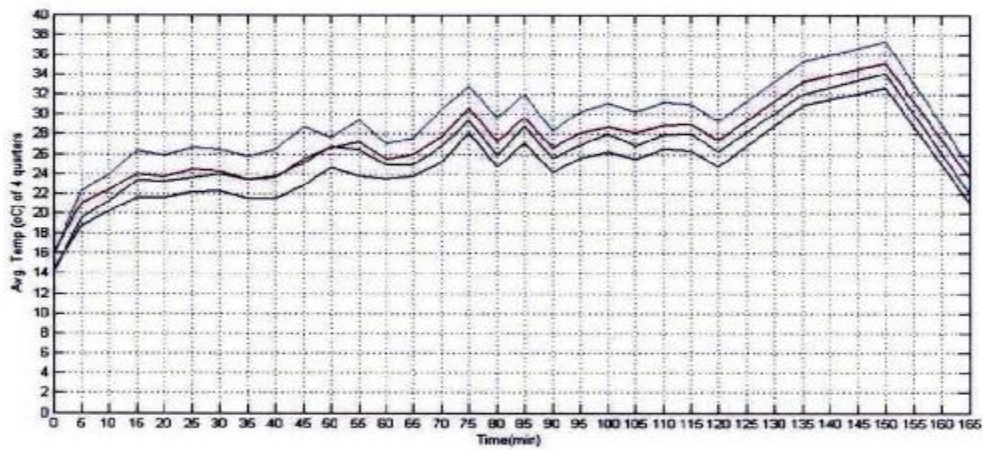
Εικόνα 6.40 : Διάγραμμα $V_{oc}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



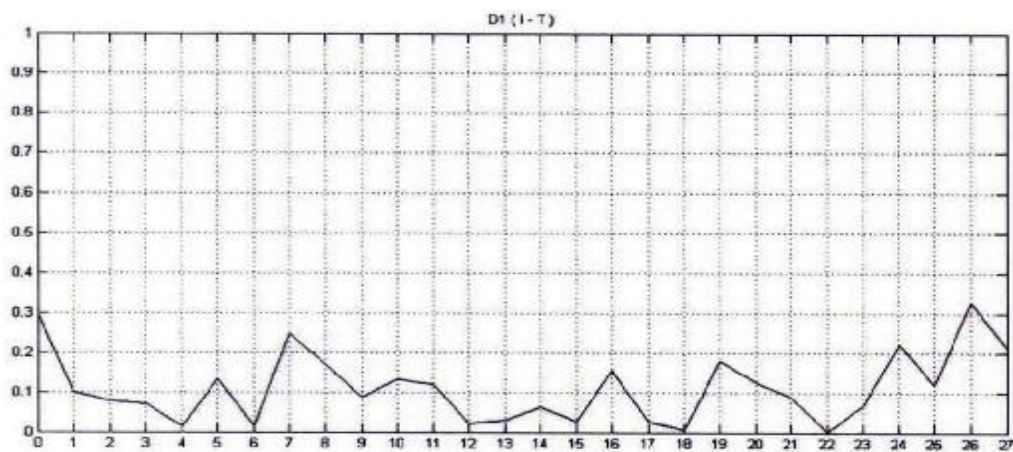
Εικόνα 6.41 : Διάγραμμα $I_{sc}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



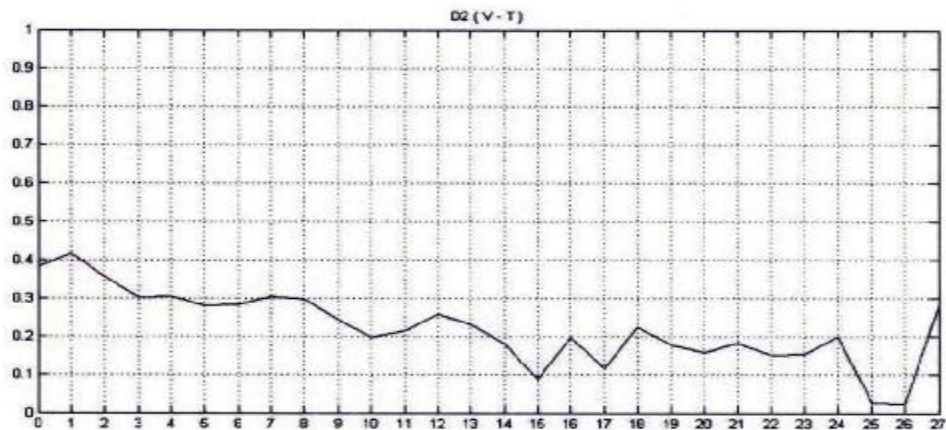
Εικόνα 6.42 : Διάγραμμα $T_{avg}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



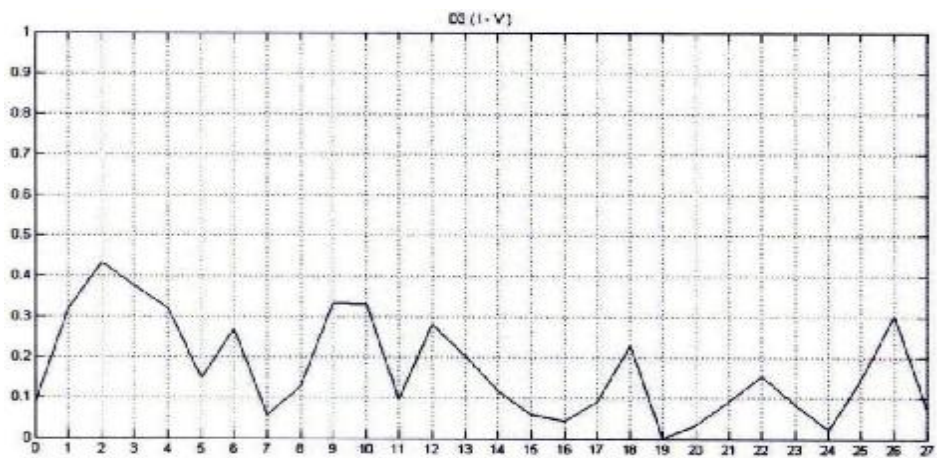
Εικόνα 6.43 : Διαγράμματα $T_{avg1.1}(t)$, $T_{avg1.2}(t)$, $T_{avg2.1}(t)$, $T_{avg2.2}(t)$ πέμπτης μέρας μετρήσεων



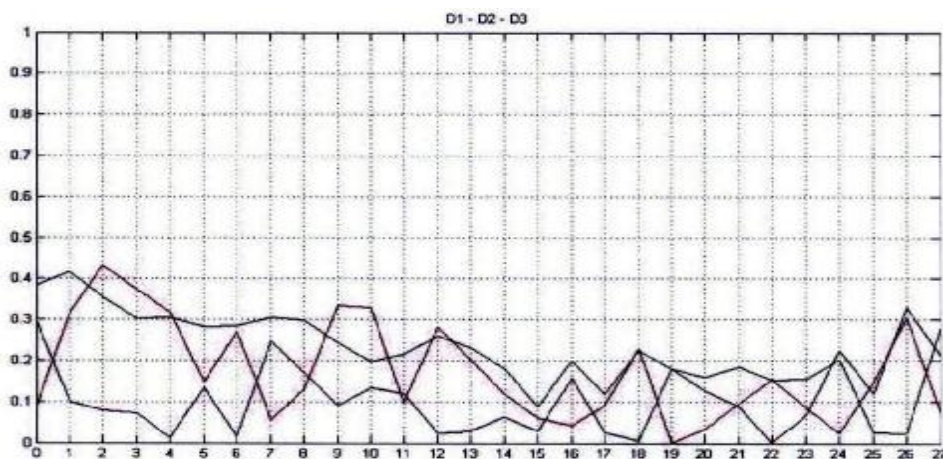
Εικόνα 6.44 : Συσχέτιση Ρεύματος – Θερμοκρασίας πέμπτης ημέρας



Εικόνα 6.45 : Συσχέτιση Τάσης – Θερμοκρασίας πέμπτης ημέρας



Εικόνα 6.46 : Συσχέτιση Ρεύματος – Τάσης πέμπτης ημέρας



Εικόνα 6.47 : Κοινό διάγραμμα των τριών παραπάνω συσχετίσεων της τέταρτης ημέρας

Με το παραπάνω διάγραμμα τελείωσε η παρουσίαση όλων των διαγραμμάτων, αποτέλεσμα των μετρήσεων και της επεξεργασίας των εικόνων που κάναμε. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα και τις διαπιστώσεις που κάναμε μέσα από τα διαγράμματα αλλά και από την διαδικασία που ακολουθήσαμε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μας.

4.4 : Αποτελέσματα επεξεργασίας

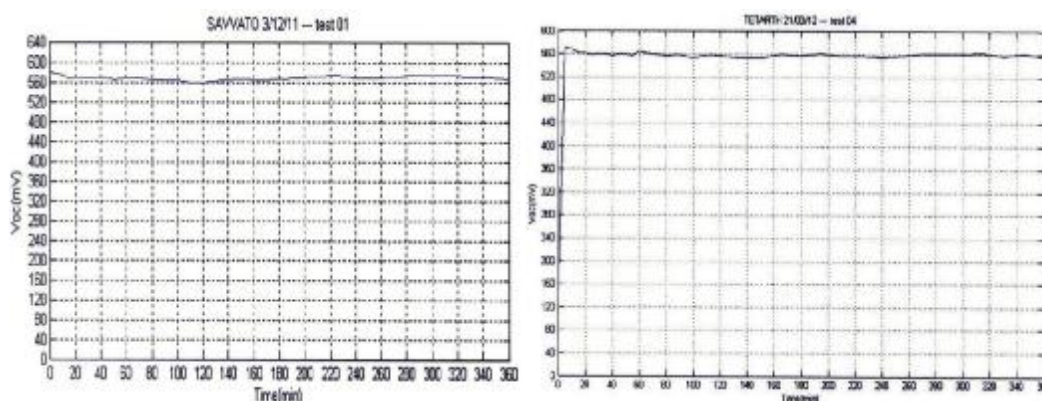
Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα που είχαμε μετά το τέλος της διαδικασίας επεξεργασίας των μετρήσεων μας και των εξαγωγίμων πληροφοριών από τις θερμικές εικόνες.

Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται από δύο βασικές «πηγές». Η πρώτη είναι αυτή για την οποία έγινε και η περισσότερη δουλειά και αφορά τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτά μπόρεσαν να μας δώσουν στοιχεία για μία ολοκληρωμένη άποψη γύρω από την λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Η δεύτερη «πηγή» μας είναι η παρατήρηση μέσω του φυσικού μας μέσου. Το ανθρώπινο μάτι. Έτσι κατά τη διάρκεια της λήψης εικόνων, αλλά και στη συνέχεια κατά την επεξεργασία των εικόνων παρατηρήθηκαν διάφορα πράγματα όπως λάθη ή στοιχεία που δεν μπορούν να μας δείξουν τα διαγράμματα ή μπορεί ακόμα και να επηρεάζουν αυτά τα διαγράμματα, δημιουργώντας εσφαλμένα αποτελέσματα και συμπεράσματα γύρω από την συμπεριφορά του Φ/Β στοιχείου. Αυτά θα αναλυθούν στο επόμενο όμως κεφάλαιο.

Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα ασχοληθούμε μόνο με την επεξεργασία και θα αναφερθούμε στα αποτελέσματα που μας έδωσαν τα διαγράμματα που έγιναν για κάθε σετ μετρήσεων.

1. Η πρώτη λοιπόν παρατήρηση που κάναμε και φαίνεται ξεκάθαρα στα διαγράμματα 6.4, 6.12, 6.20, 6.30 και 6.40 του κεφαλαίου 4.3 είναι ότι η τάση είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Σε όλες τις μέρες μετρήσεων η τάση κυμαινόταν με αυξομείωση 10-20 mVolts στα ίδια επίπεδα. Οι τιμές της δεν ήταν ίδιες κάθε ημέρα μέτρησης αλλά σε κάθε ημέρα η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της από τη στιγμή που το πάνελ βρισκόταν υπό τον ήλιο δεν είχαν σημαντική απόκλιση μεταξύ τους. Ήταν της τάξεως του 2,5-3%. Ενδεικτικά 2 διαγράμματα για να δούμε ότι η τάση είναι σταθερή.



Συμπερασματικά, με βάση την παραπάνω παρατήρηση μπορούμε να αναφέρουμε ότι το πάνελ, ανάλογα φυσικά και με τις συνθήκες έκθεσής του στην ηλιακή ενέργεια, απορροφάει πολύ γρήγορα την ηλιακή ακτινοβολία την οποία την αποδίδει με – σχεδόν – σταθερό ρυθμό, χωρίς δηλαδή αξιοσημείωτη διακύμανση στις τιμές της

τάσης. Το γεγονός αυτό μας υποδεικνύει ακόμα ότι το πάνελ φτάνει σε ένα συγκεκριμένο σημείο κορεσμού, το οποίο διαφέρει ελάχιστα από φορά σε φορά (δηλ. μεταξύ των διαφορετικών ημερών που πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις), πέραν του οποίου σημείου δεν δύναται λειτουργήσει ως αποθηκευτικός χώρος ηλιακής ενέργειας. Το σημείο αυτό κορεσμού, όπως μπορεί κάποιος να αντιληφθεί, δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις ιδιότητες και τα ενδογενή χαρακτηριστικά του πάνελ, αλλά και τις κλιματικές συνθήκες και ιδιότητες έκθεσης του πάνελ στην ηλιακή ακτινοβολία κάθε φορά.

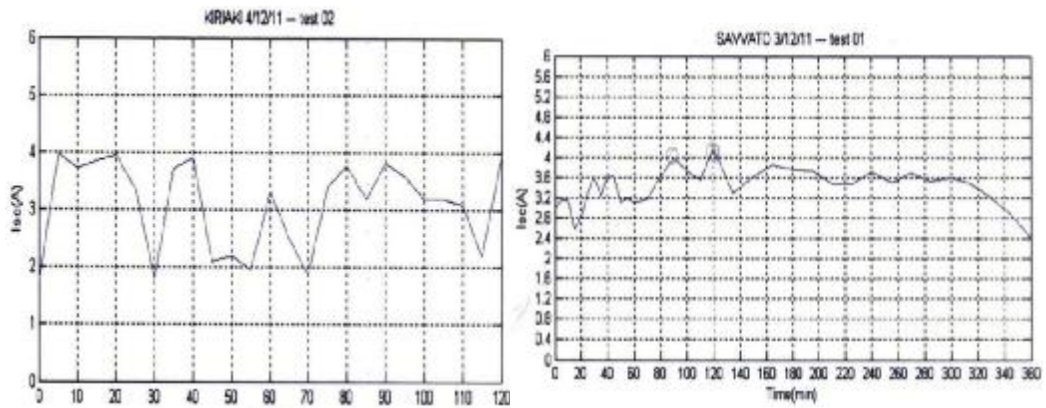
Η παραπάνω παρατήρηση μας οδηγεί επιπλέον στο συμπέρασμα ότι, πιθανώς να μην απαιτείται η συνεχής έκθεση ενός πάνελ στην ηλιακή ακτινοβολία για την απόδοση της ενέργειας σε επακόλουθες διατάξεις, παρά μόνο για το πολύ μικρό χρονικό διάστημα έως ότου φτάσει στο σημείο ενεργειακού κορεσμού. Συνεπώς, η έκθεση μπορεί να γίνεται διακοπτόμενα (ή εναλλάξ) σε εν σειρά ενεργειακά πάνελ, και μόνο για το διάστημα που απαιτείται η αποθήκευση του μέγιστου ποσού ενέργειας στο πάνελ.

Τα υπόλοιπα διαγράμματα μπορούμε να τα δούμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

2. Το δεύτερο και λίγο πολύ αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι ότι η ένταση του ρεύματος έχει σημαντική αυξομείωση, η οποία είναι μεγαλύτερη και πιο αισθητή σε μέρες που δεν είχαμε εντελώς ηλιόλουστο καιρό. Αυτό είναι λογικό καθότι η ενέργεια που δέχεται το πάνελ δεν είναι σταθερή στο χρόνο. Ακόμα και χωρίς να υπάρξουν σύννεφα ο ήλιος δεν εκπέμπει συνεχώς της ίδια ενέργεια ανά μονάδα χρόνου. Αυτό φυσικά έχει ως αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων να παρατηρούμε την αυξομείωση του ρεύματος.

Αυτό εξαρτιόταν από την ώρα της ημέρας και κατά συνέπεια τη γωνία του ηλίου ως προς το ηλιακό πάνελ, τις κλιματολογικές συνθήκες όπως ο άνεμος, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, αλλά φυσικά και τις περιπτώσεις σκίασης του πάνελ από σύννεφα. Για την περίπτωση της νεφοκάλυψης, όπως ήταν αναμενόμενο, σημαντική επίδραση στην αποθηκευτική λειτουργία του πάνελ και την αυξομείωση του ρεύματος είχε η παρουσία χαμηλών (stratus ή στρώματα και cumulus ή σωρείτες) καθώς και μεσαίων (altocumulus ή υψοσωρείτες) νεφών, ενώ σχεδόν ανεπαίσθητη επίδραση παρατηρήθηκε στην παρουσία υψηλών (cirrus ή θύσανοι, cirrocumulus ή θυσανοσωρείτες και cirrostratus ή θυσανοστρώματα) νεφών. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι προηγούμενοι παράγοντες συνολικά ή ανεξάρτητα επηρέαζαν την λειτουργία του πάνελ και άρα και την ένταση του ρεύματος.

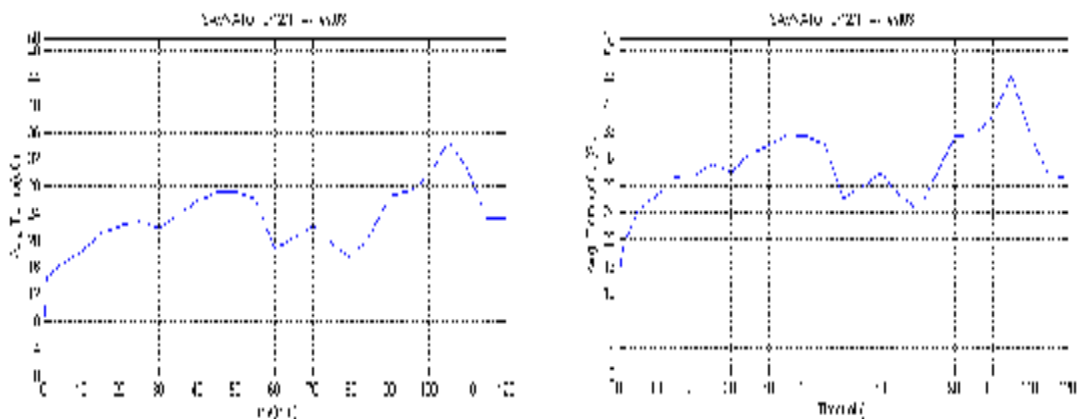
Τα παραπάνω μπορούμε να τα δούμε στα διαγράμματα 6.5, 6.13, 6.21, 6.31, 6.40 του προηγούμενου κεφαλαίου. Ενδεικτικά βλέπουμε παρακάτω δύο από αυτά.

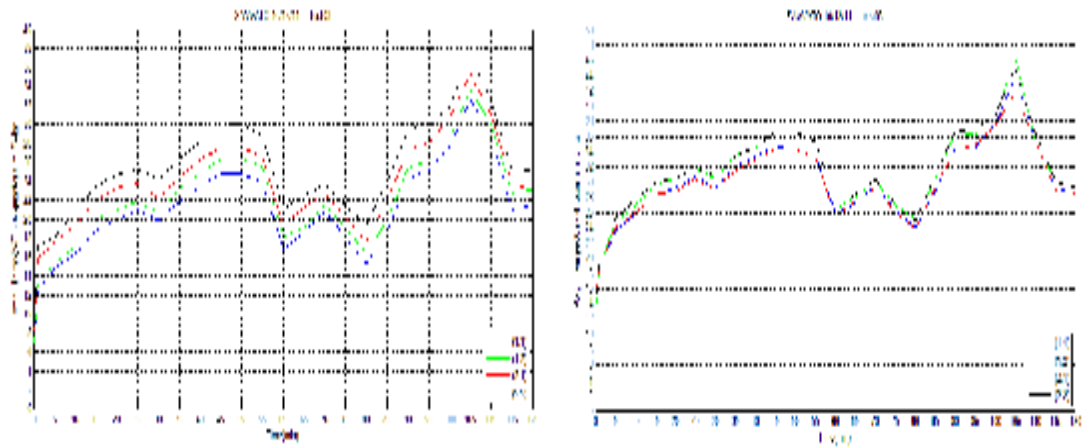


Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό στο αριστερό διάγραμμα παρατηρούμε μία συνεχόμενη μεγάλη αυξομείωση του ρεύματος, το οποίο συνέβαινε λόγω διαφορετικών καιρικών συνθηκών ενώ στο δεξιό διάγραμμα μερικά peak αλλά σε γενικές γραμμές μία σταθερή πορεία. Αυτά τα peak είναι η μεγαλύτερη ηλιακή ενέργεια κατά την ώρα αυτών των μετρήσεων ενώ η μικρή αυξομείωση οφείλεται και αυτή στην μη σταθερή πηγή ενέργειας όπως είναι ο ήλιος.

Η μείωση που βλέπουμε στο δεξί διάγραμμα στο τέλος οφείλεται ότι όσο παρρνάει η ώρα μειώνεται η ένταση του ηλίου οπότε όπως είναι λογικό και η ένταση του ρεύματος.

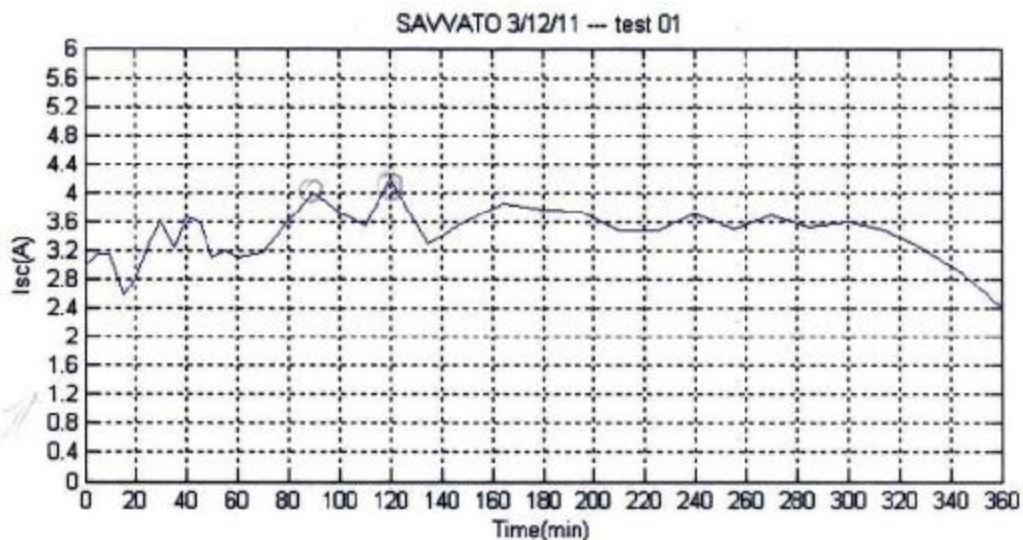
3. Η τρίτη μας παρατήρηση βγαίνει από τα διαγράμματα της μέσης θερμοκρασίας. Αν παρατηρήσουμε το διάγραμμα μέσης θερμοκρασίας όλου του πάνελ αλλά και εκείνο των μέσω θερμοκρασιών ανά τεταρτημόριο θα διαπιστώσουμε ότι και στα δύο διαγράμματα έχουμε την ίδια κατανομή. Παρατηρείται δηλαδή ότι οι μεταβολές που διακρίνονται στο ένα διάγραμμα εμφανίζονται στον ίδιο χρόνο, στην ίδια κλίμακα και στο άλλο διάγραμμα. Ενδεικτικά ακολουθούν τα διαγράμματα της τρίτης μέρας όπου βλέπουμε στα αριστερά πάνω-κάτω και στα δεξιά πάνω-κάτω την αντιστοιχία. Το ίδιο συμβαίνει και μπορούμε πολύ εύκολα να το παρατηρήσουμε στα διαγράμματα 6.6 με 6.7 , 6.14 με 6.15, 6.22 με 6.24 και 6.23 με 6.25(που είναι και τα παρακάτω διαγράμματα), 6.32 με 6.34 και 6.33 με 6.35 και τέλος στα 6.42 με 6.43.

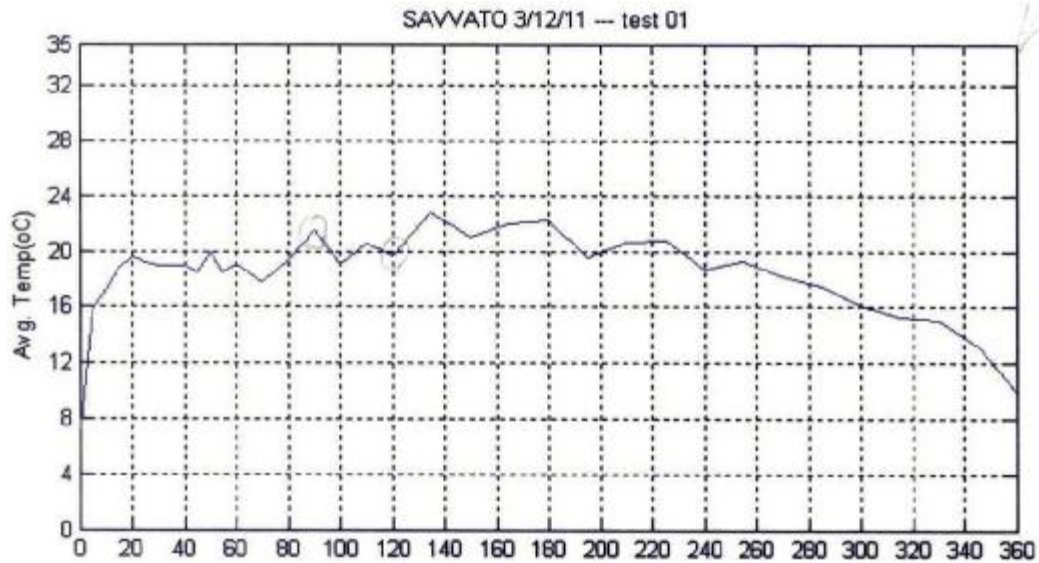




4. Ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα που βγήκε από της μετρήσεις είναι η σχέση της έντασης του ρεύματος με την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο πάνελ. Αν παρατηρήσουμε τα διαγράμματα ρεύματος ως προς το χρόνο και τα αντίστοιχα της μέσης θερμοκρασίας ως προς το χρόνο τότε θα βγάλουμε το εξής συμπέρασμα.

Η κυματομορφές ρεύματος και θερμοκρασίας μοιάζουν να έχουν παρόμοια μορφή. Δηλαδή παρατηρούμε ότι οι 2 κυματομορφές δείχνουν να έχουν τον ίδιο ρυθμό μεταβολής. Ωστόσο με μία πιο προσεκτική ματιά γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει πάντα. Σε αρκετές περιπτώσεις όταν ρεύμα αυξάνεται με ένα ρυθμό παρατηρείται ότι η θερμοκρασία δεν ακολουθεί τον ίδιο αλλά έχει αρνητικό ρυθμό μεταβολής με συνέπεια να μειώνεται. Ας το αναλύσουμε όμως λίγο περισσότερο αυτό και να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι σχολιάζοντας και τα 5 σερ διαγραμμάτων ξεχωριστά. Ας δούμε αρχικά λοιπόν το πρώτο σερ των 2 διαγραμμάτων.



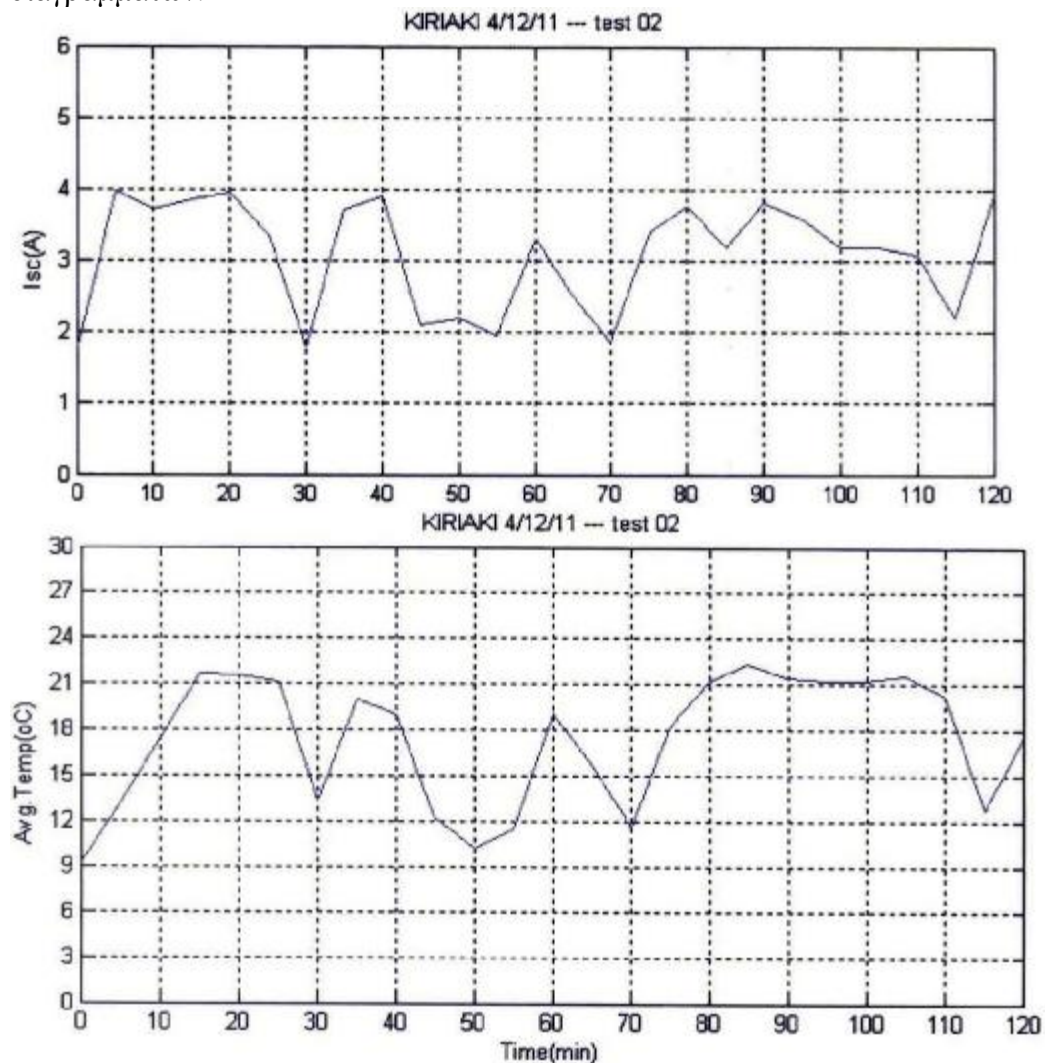


Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-20	Μείωση	Αύξηση
20-40	Αύξηση	Σταθ. (μικρή μείωση)
40-60	Μείωση μέχρι 50' και σταθερή μετά	Σταθ. (μικρό peak στα 50')
60-80	Αύξηση	Μείωση ως 70' και αύξηση ως 80'
80-100	Αύξηση ως 90' – μείωση ως 100'	Αύξηση ως 90' – μείωση ως 100'
100-120	Μικρή μείωση ως 110' – αύξηση μετά	Μικρή αύξηση ως 110' – μικρή μείωση ως 120'
120-140	Μείωση	Αύξηση
140-160	Αύξηση	Σταθ. (μικρή μείωση – μικρή αύξηση)
160-180	Σταθ. (μικρή μείωση)	Σταθ. (μικρή αύξηση)
180-200	Σταθερή	Μείωση
200-220	Μικρή μείωση	Μικρή αύξηση
220-240	Μικρή αύξηση	Μείωση
240-260	Μικρή μείωση	Σταθ. (μικρή αύξηση)
260-280	Σταθ. (αυξ. Ως 270' και μείωση ως 280')	Μείωση
280-300	Σταθερή (θετικού ρυθμού)	Μείωση
300-320	Μικρή μείωση	Μικρή μείωση
320-340	Μείωση	Μείωση
340-360	Μείωση	Μείωση

Από τον παραπάνω πίνακα λοιπόν παρατηρούμε ότι στο μεγαλύτερο διάστημα ο ρυθμός μεταβολής των δύο μεγεθών είναι αντιστρόφως ανάλογος ενώ με κόκκινο

πλαίσιο τονίζονται οι ταυτίσεις και με κίτρινο πλαίσιο οι ταυτίσεις σε ένα κομμάτι του διαστήματος.

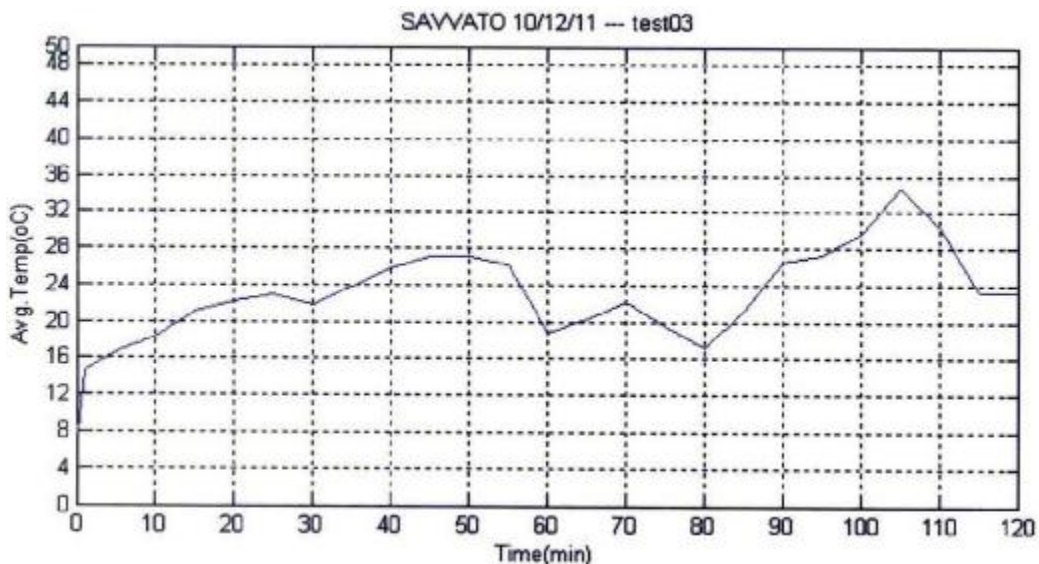
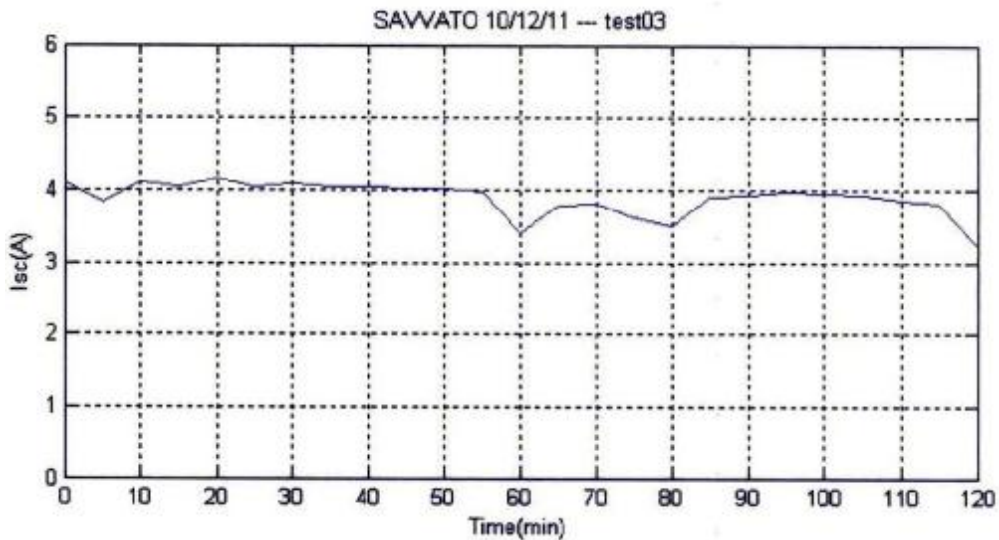
Ας δούμε λοιπόν και εμείς παρακάτω τον αντίστοιχο πίνακα για το δεύτερο σετ διαγραμμάτων.



Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-10	Αύξηση ως 5' μετά μικρή μείωση	Αύξηση
10-20	Μικρή αύξηση	Αύξηση ως 15' μετά σταθερή
20-30	Μείωση	Σταθ. Ως 25' μετά μείωση
30-40	Αύξηση	Αύξηση ως 35' μετά μείωση
40-50	Μείωση	Μείωση
50-60	Αύξηση	Αύξηση
60-70	Μείωση	Μείωση
70-80	Αύξηση	Αύξηση
80-90	Μικρή μείωση + μικρή αύξηση	Μικρή αύξηση + μικρή μείωση
90-100	Μείωση	Σταθερή
100-110	Σταθερή (ελαχ. Μείωση)	Σταθερή + ελαχ. μείωση
110-120	Μείωση ως 115' μετά αύξηση	Μείωση ως 115' μετά αύξηση

Από αυτόν τον πίνακα βγάζουμε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα αλλά οι συνθήκες των δύο πειραμάτων ήταν τελείως διαφορετικές. Σε αυτό το πείραμα είχαμε να κάνουμε με συνεχόμενες μεταβολές του καιρού (ηλιοφάνεια, νεφοκάλυψη κλπ) που είχε ως αποτέλεσμα μεγάλες μεταπτώσεις στην απόδοση του φωτοβολταϊκού και άρα στην ένταση του ρεύματος αλλά και προφανώς στη θερμοκρασία που αναπτυσσόταν αφού υπήρχαν στιγμές που τα σύννεφα έκρυβαν τον ήλιο. Άρα ίσως έτσι εξηγείται η κοινή πορεία των δύο μεγεθών σε αυτές τις μετρήσεις.

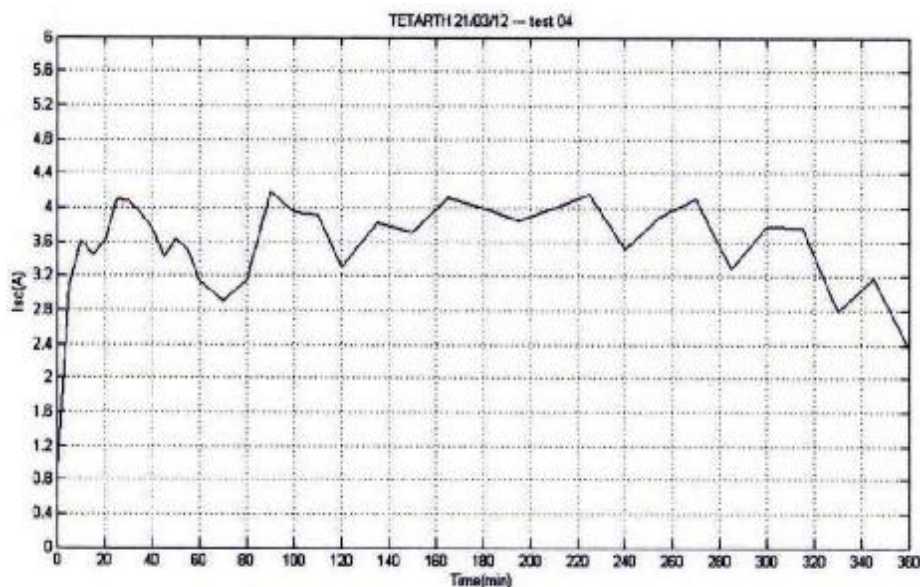
Παρακάτω θα αναλύσουμε και τα υπόλοιπα σετ διαγραμμάτων για να έρθουμε σε ένα τελικό συμπέρασμα σχετικά με την κοινή ή μη πορεία τους.

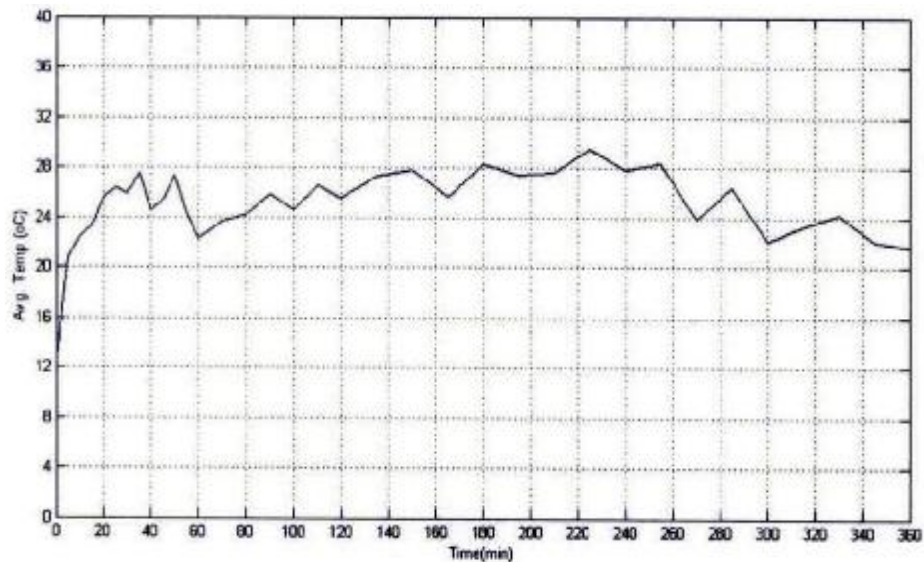


Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-10	Σταθερό	Αύξηση
10-20	Σταθερό	Αύξηση
20-30	Σταθερό	Σταθερή
30-40	Σταθερό	Αύξηση
40-50	Σταθερό	Μικρή αύξηση + Σταθερή
50-60	Σταθερό ως 55' μετά μείωση	Ελαχ. Μείωση ως 55' μετά μείωση
60-70	Αύξηση	Αύξηση
70-80	Μείωση	Μείωση
80-90	Αύξηση ως 85' + σταθ.(ελαχ. Αύξηση)	Αύξηση
90-100	Σταθερό	Αύξηση
100-110	Σταθερό ως 105' + ελαχ. μείωση	Αύξηση ως 105 + Μείωση
110-120	Σταθ. (ελαχ. μείωση) + μείωση	Μείωση + Σταθερή

Στο τρίτο σετ μετρήσεων και διαγραμμάτων από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε δύο διαφορετικές συμπεριφορές. Στις μισές περιοχές ταυτίζεται ο ρυθμός μεταβολής ενώ στις άλλες είτε υπάρχει ταύτιση για μικρό χρονικό διάστημα είτε είναι τελείως αντίθετος. Και εδώ όμως είχαμε διαφοροποιήσεις στον καιρό κυρίως μετά τα πρώτα 50 λεπτά και μέχρι τα 100 λεπτά όπου άρχισαν να πυκνώνουν τα σύννεφα. Έτσι και σε αυτό το σετ παρατηρούμε ότι εκεί που ταυτίζονται περισσότερο τα δύο μεγέθη είναι στο διάστημα όπου υπάρχουν μεταβολές του καιρού.

Ακολουθεί η ανάλυση και επεξεργασία των διαγραμμάτων του τέταρτου σετ μετρήσεων..

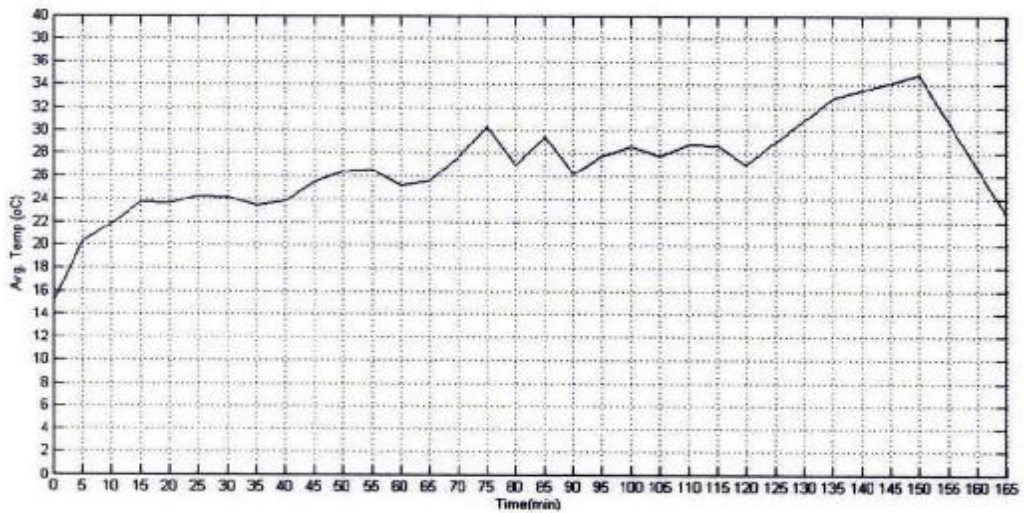
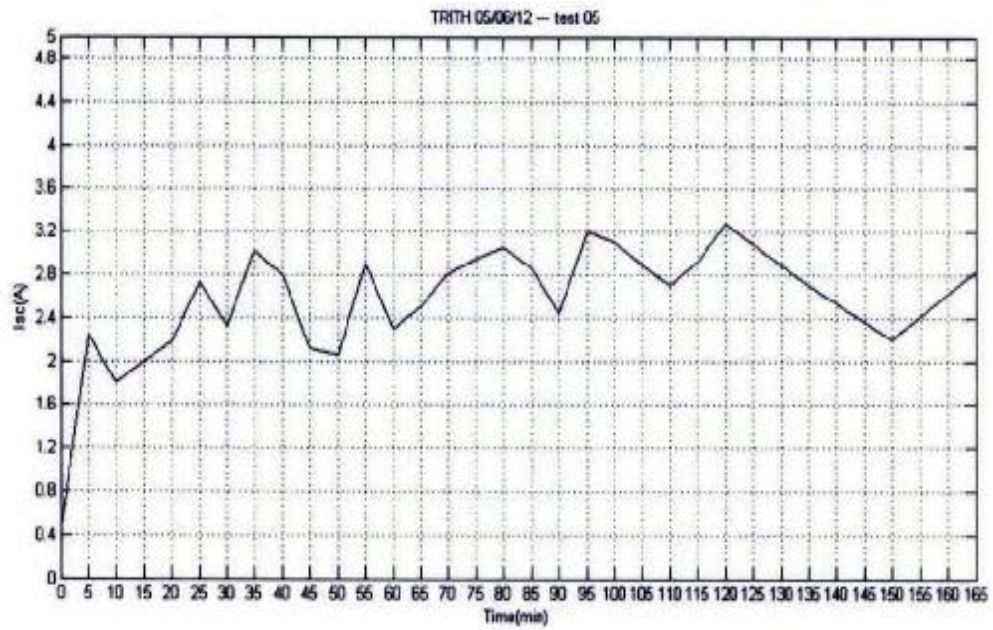




Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-20	Αύξηση ως 10' + μείωση ως 15' + Αύξηση	Αύξηση
20-40	Αύξηση ως 24' + μείωση	Σταθ (αυξομείωση) ως 30' + αύξηση ως 35' + μείωση
40-60	Μείωση ως 45' + αύξηση ως 50' + μείωση	Αύξηση ως 50' + Μείωση
60-80	Μείωση + Αύξηση	Αύξηση
80-100	Αύξηση + μικρότερη μείωση	Αύξηση + Μείωση
100-120	Σταθ(μικρή μείωση) + μείωση	Αύξηση + Μείωση
120-140	Αύξηση	Αύξηση
140-160	Μικρή μείωση + αύξηση	Μικρή αύξηση + μείωση
160-180	Μικρή αύξηση ως 165' + μείωση	Μείωση + Αύξηση
180-200	Μείωση ως 195' + μικρή αύξηση	Μείωση
200-220	Αύξηση	Σταθερή + αύξηση
220-240	Αύξηση ως 245' + μείωση	Αύξηση ως 245' + μείωση
240-260	Αύξηση	Αύξηση
260-280	Αύξηση και μείωση	Μείωση + αύξηση
280-300	Μείωση ως 285' + αύξηση	Αύξηση ως 285 + μείωση
300-320	Σταθ ως 315' + μείωση	Αύξηση
320-340	Μείωση + Αύξηση	Αύξηση + μείωση
340-360	Αύξηση ως 345' + μείωση	Μικρή μείωση

Και από αυτά τα διαγράμματα διαπιστώνουμε μία μικτή συμπεριφορά. Σε μερικές χρονικές περιόδους υπάρχει πλήρης ταύτιση, και σε μερικές μερική ταύτιση για μικρό διάστημα αλλά στο μεγαλύτερο μέρος παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει καμία ταύτιση και υπάρχει μία αντιστρόφως ανάλογη σχέση.

Ας δούμε όμως πρώτα και τον τελευταίο πίνακα που βγαίνει από τα διαγράμματα μας.



Διάστημα	Ρεύμα (μεταβολή)	Θερμοκρασία (μεταβολή)
0-5	Αύξηση	Αύξηση
5-10	Μείωση	Αύξηση
10-15	Αύξηση	Αύξηση
15-20	Αύξηση	Σταθερή
20-25	αύξηση	Μικρή αύξηση
25-30	Μείωση	Σταθερή
30-35	Αύξηση	Μείωση
35-40	Μείωση	Αύξηση
40-45	Μείωση	Αύξηση
45-50	Μικρή μείωση	Αύξηση
50-55	Αύξηση	Αύξηση
55-60	Μείωση	Μείωση

60-65	Αύξηση	Μικρή αύξηση
65-70	Αύξηση	Αύξηση
70-75	Αύξηση	Αύξηση
75-80	Αύξηση	Μείωση
80-85	Μείωση	Αύξηση
85-90	Μείωση	Μείωση
90-95	Αύξηση	Αύξηση
95-100	Μείωση	Αύξηση
100-105	Μείωση	Μείωση
105-110	Μείωση	Αύξηση
110-115	Αύξηση	Σταθερή
115-120	Αύξηση	Μείωση
120-150	Μείωση	Αύξηση
150-165	Αύξηση	Μείωση

Και στο τελευταίο σετ μετρήσεων τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι μικτά. Αλλά υπερτερεί ο διαφορετικός ρυθμός μεταβολής των δύο μεγεθών. Δηλαδή της μέσης θερμοκρασίας και του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Ωστόσο και εδώ υπάρχουν χρονικές περιοχές που η πορεία των δύο διαγραμμάτων ταυτίζεται αλλά και πάλι όπως και στα προηγούμενα πειράματα έτσι και σε αυτό τις στιγμές που συμβαίνει αυτό δεν υπάρχουν σταθερές καιρικές συνθήκες. Δηλαδή πάλι περίπου από τα 45-50 λεπτά μέχρι και τα 80 είχαμε μεταβαλλόμενες συνθήκες με συννεφιά άλλοτε ελάχιστη άλλοτε πολύ.

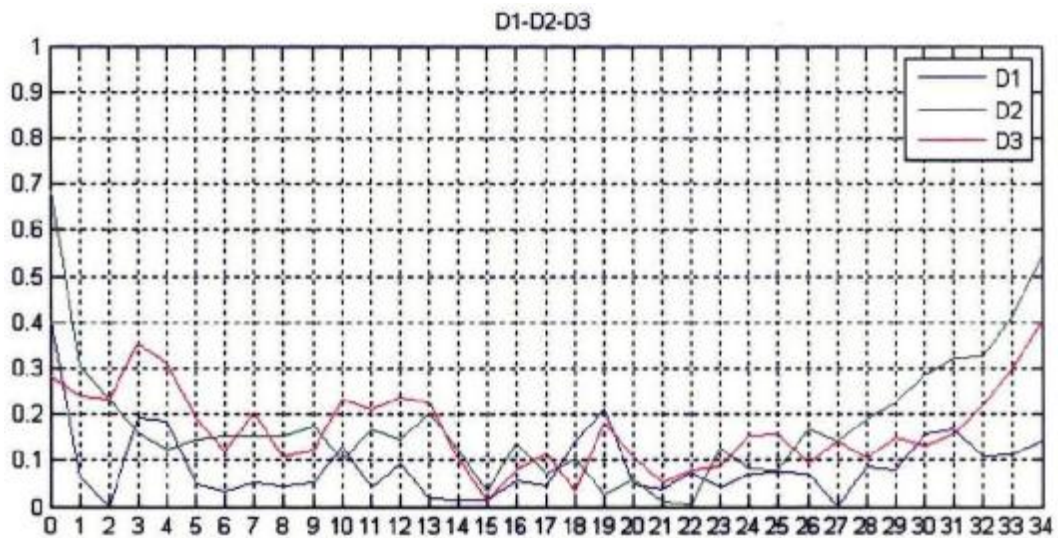
Εν κατακλείδι λοιπόν θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα γύρω από την συμπεριφορά και την σχέση ρεύματος-θερμοκρασίας.

Από τη θεωρία γνωρίζουμε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι ανάλογο της ηλιακής έντασης. Επίσης η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών έχει άμεση σχέση όχι μόνο με την θερμοκρασίας περιβάλλοντος αλλά και με την μεταβολή της ηλιακής έντασης. Η σχέση θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού και της ηλιακής έντασης είναι ανάλογη. Δηλαδή αύξηση της ηλιακής έντασης συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού. Από αυτές τις δύο αναλογίες μπορεί να προκύψει ότι και η ένταση του ρεύματος είναι ανάλογη της έντασης θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού.

Παρόλα αυτά, από την ανάλυση των διαγραμμάτων που προέκυψαν με βάση τις μετρήσεις μας και την επεξεργασία των θερμικών εικόνων, δεν βγαίνει το θεωρητικό αναμενόμενο αποτέλεσμα. Σε πολλές περιπτώσεις το ρεύμα και η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού δεν ακολουθούν κοινή πορεία ειδικά αν μιλάμε για σταθερές καιρικές συνθήκες. Στις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες ίσως επειδή η διαφορά της ηλιακής έντασης στο πάνελ είναι μεγαλύτερη και πιο αισθητή, υπάρχει αυτή η κοινή πορεία των δύο μεγεθών.

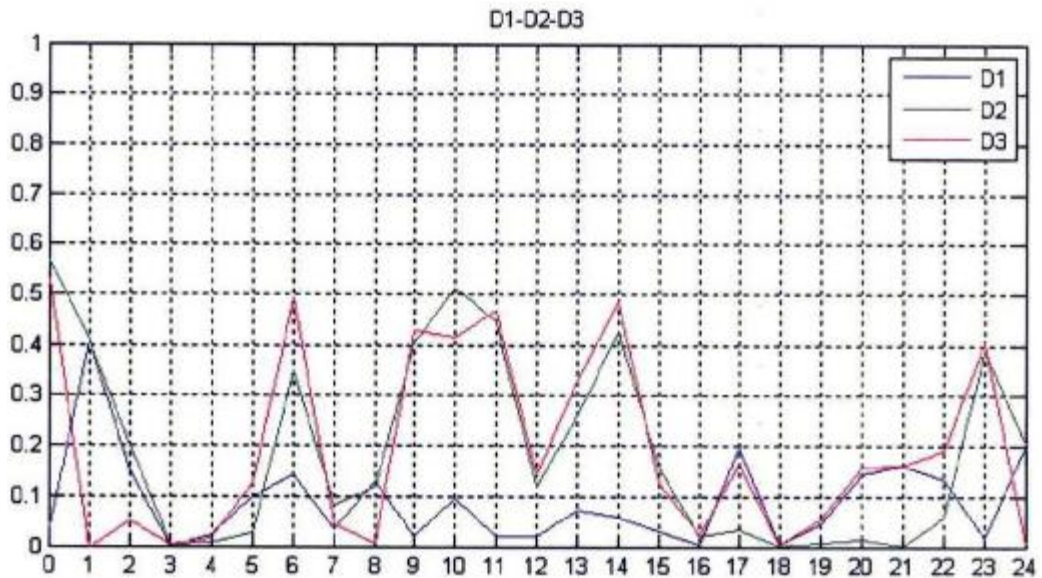
Επίσης η διαφορά αυτή της θεωρίας και των πρακτικών αποτελεσμάτων μπορεί να οφείλεται και σε εξωγενείς παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού.

5. Ολοκληρώνοντας λοιπόν με την ανάλυση των διαγραμμάτων των μεγεθών περνάμε στο τελευταίο σκέλος της επεξεργασίας μας και των αποτελεσμάτων μας. Από τα κεφάλαια 4.1 και 4.2 εξηγήσαμε ότι πραγματοποιήθηκε ακόμα μία εργασία. Αυτή της συσχέτισης των 3 μεγεθών που ασχοληθήκαμε παραπάνω. Δηλαδή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, του ρεύματος βραχυκυκλώματος καθώς και της μέσης θερμοκρασίας. Έτσι για κάθε σετ μετρήσεων είχαν προκύψει 3 συντελεστές. Ο D1 που είναι η συσχέτιση ρεύματος και θερμοκρασίας πάνελ, ο D2 που είναι η συσχέτιση της τάσης με την θερμοκρασία και ο τρίτος και τελευταίος D3 που είναι η συσχέτιση τάσης και ρεύματος. Σύμφωνα με τη θεωρία αλλά και αποτελέσματα που βλέπαμε από τα διαγράμματα περιμένουμε ο D1 να κινείται σε χαμηλότερες τιμές. Αφού το ρεύμα και η θερμοκρασία είναι ανάλογα και από τα διαγράμματα έδειχναν να έχουν την ίδια μορφή αν και αυτό μετά την ανάλυση της προηγούμενης παραγράφου δεν φάνηκε τελικώς να ισχύει στις μετρήσεις μας. Πάμε ωστόσο να τα δούμε πάλι και να αναλύσουμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε. Όσο πιο χαμηλή η τιμή και όσο πιο σταθερή είναι στο χρόνο τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση των μεγεθών.

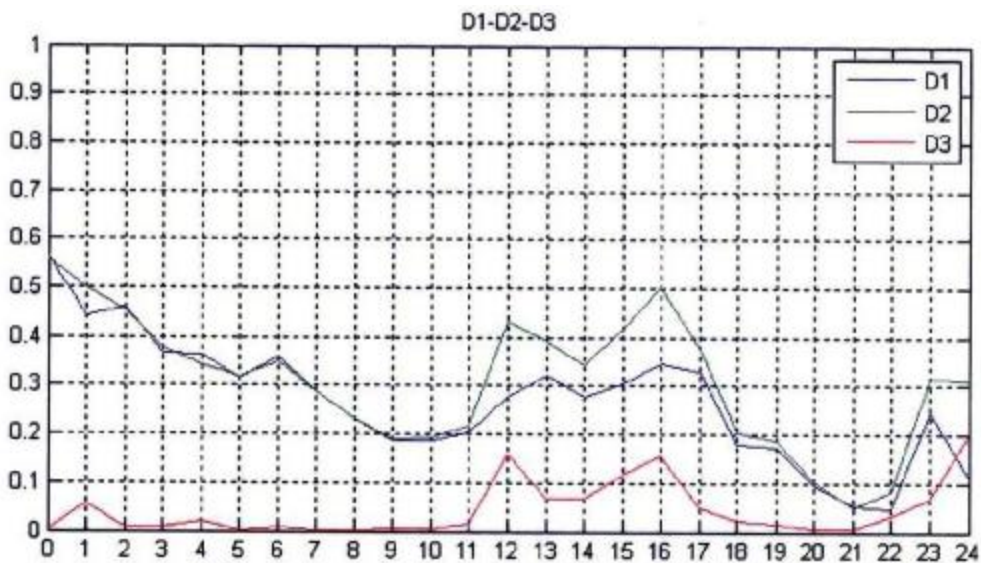


Στο πρώτο σετ μετρήσεων θα παρατηρήσουμε ότι από το κοινό διάγραμμα των συσχετίσεων(6.11) παρατηρούμε ότι το D1(σκούρο μπλέ) έχει πιο χαμηλές τιμές από τα άλλα 2 και μία γενικά πιο σταθερή πορεία. Όπως ήταν αναμενόμενο και από τη θεωρία μας το ρεύμα έχει ανάλογη πορεία με τη θερμοκρασία και άσχετα αν τελικά από την ανάλυση των διαγραμμάτων τους όπου αυτό δεν φάνηκε, εδώ με αυτόν το συντελεστή παίρνουμε το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Ωστόσο χαμηλοί παρουσιάζονται και οι άλλοι 2 συντελεστές μην έχοντας όμως τόσο μεγάλη σταθερότητα παρουσιάζοντας αρκετές μεταβολές.

Ας δούμε τώρα παρακάτω τους συντελεστές του δεύτερου σετ.



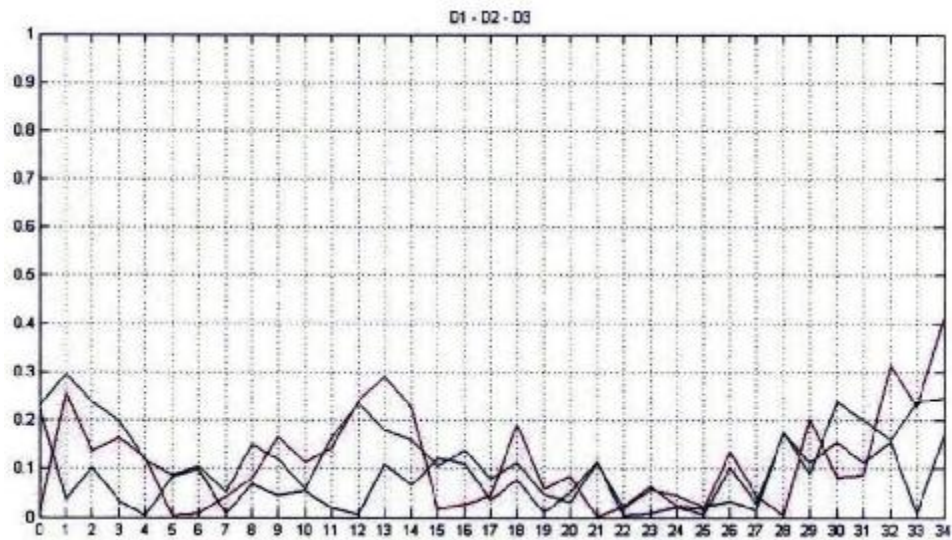
Σε αυτό το διάγραμμα(6.19) γίνεται ακόμα πιο αισθητή η σχέση ρεύματος και θερμοκρασίας. Το D1 εδώ κινείται σε πολύ πιο χαμηλές τιμές από τα υπόλοιπα δύο ενώ παραμένει και σταθερό σχετικά κάτω από 0,1 τον περισσότερο χρόνο. Δείγμα σαφές ότι ρεύμα και θερμοκρασία έχουν άμεση σχέση και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό το ένα από το άλλο. Θα δούμε παρακάτω αν και στα υπόλοιπα τρία διαγράμματα έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα.



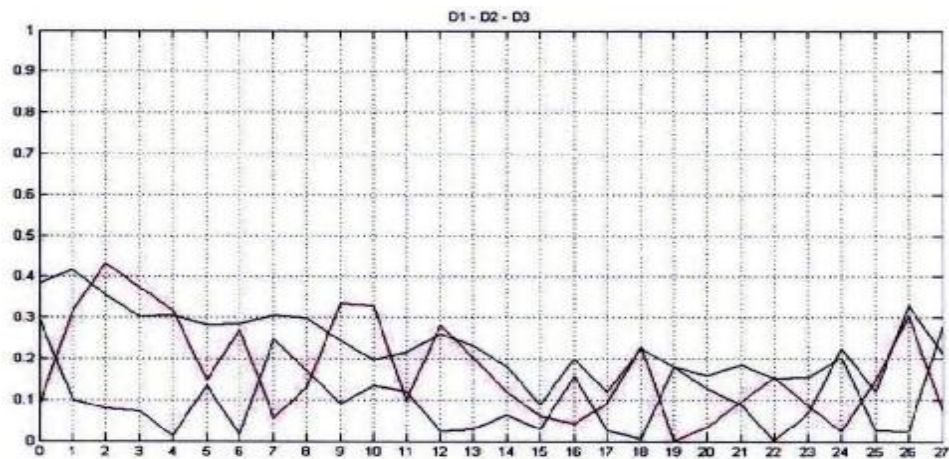
Στο τρίτο διάγραμμα(6.29) παρατηρούμε μία αλλαγή των συντελεστών. Δηλαδή αυτή τη φορά ο D3 που είναι η συσχέτιση τάσης και ρεύματος είναι πολύ χαμηλός και σταθερός ενώ D1, D2 έχουν πολύ πιο ψηλές τιμές αλλά και ασταθή πορεία στο χρόνο.

Αυτό βέβαια είναι λογικό και εύκολα αντιληπτό αν εξετάσει κανείς εποπτικά τα διαγράμματα τάσης, ρεύματος και θερμοκρασίας(6.20, 6.21, 6.22) της τρίτης ημέρας όπου θα δει τάση και ρεύμα να είναι σταθερά στο χρόνο σε αντίθεση με τη θερμοκρασία που συνεχώς αυξομειώνεται.

Παρακάτω λοιπόν θα δούμε τι πήραμε από το τέταρτο πείραμα.



Και εδώ λοιπόν στο διάγραμμα 6.39 το D1 είναι πιο χαμηλό και σταθερό σε σχέση με τα D2 και D3. Και εδώ λοιπόν επιβεβαιώνεται η σχέση ρεύματος και θερμοκρασίας του πάνελ. Ως τώρα με εξαίρεση το προηγούμενο διάγραμμα και στα τρία υπόλοιπα το D1 είναι ο χαμηλότερος και πιο σταθερός συντελεστής και μας δείχνει την ανάλογη σχέση που έχουν ρεύμα και θερμοκρασία. Τέλος ας δούμε και το τελευταίο διάγραμμα (6.47) και να βγάλουμε το τελικό αποτέλεσμα.



Όπως και στα 3 από τα 4 έτσι και πάλι εδώ φαίνεται ότι ο συντελεστής D1 λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές και έχει και την πιο σταθερή πορεία στο χρόνο.

Κατά συνέπεια των παραπάνω μπορούμε να πούμε με αρκετή στατιστική ασφάλεια που οφείλεται στα 4/5 των δειγμάτων (80%) ότι το ρεύμα και η θερμοκρασία είναι ανάλογα μεγέθη. Έτσι παρόλο που στην παράγραφο 4 δεν βλέπαμε ακριβώς αυτή την συμπεριφορά, μετά από αυτή την επεξεργασία καταλήξαμε στο παραπάνω αποτέλεσμα που είναι και κάτι που αναμέναμε από την θεωρία της λειτουργίας και συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

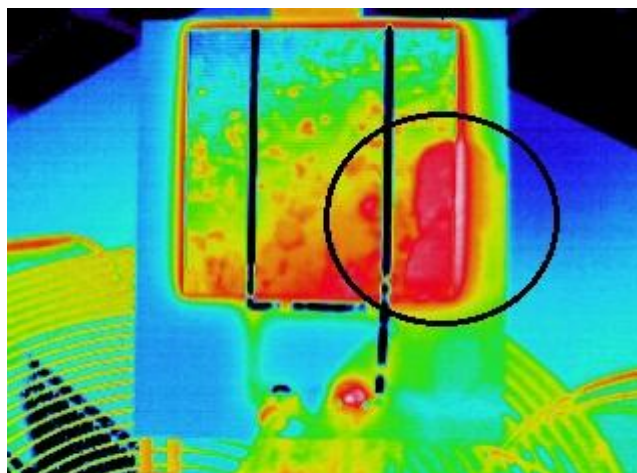
4.5 : Διαπιστώσεις κατά την διαδικασία – Σφάλματα

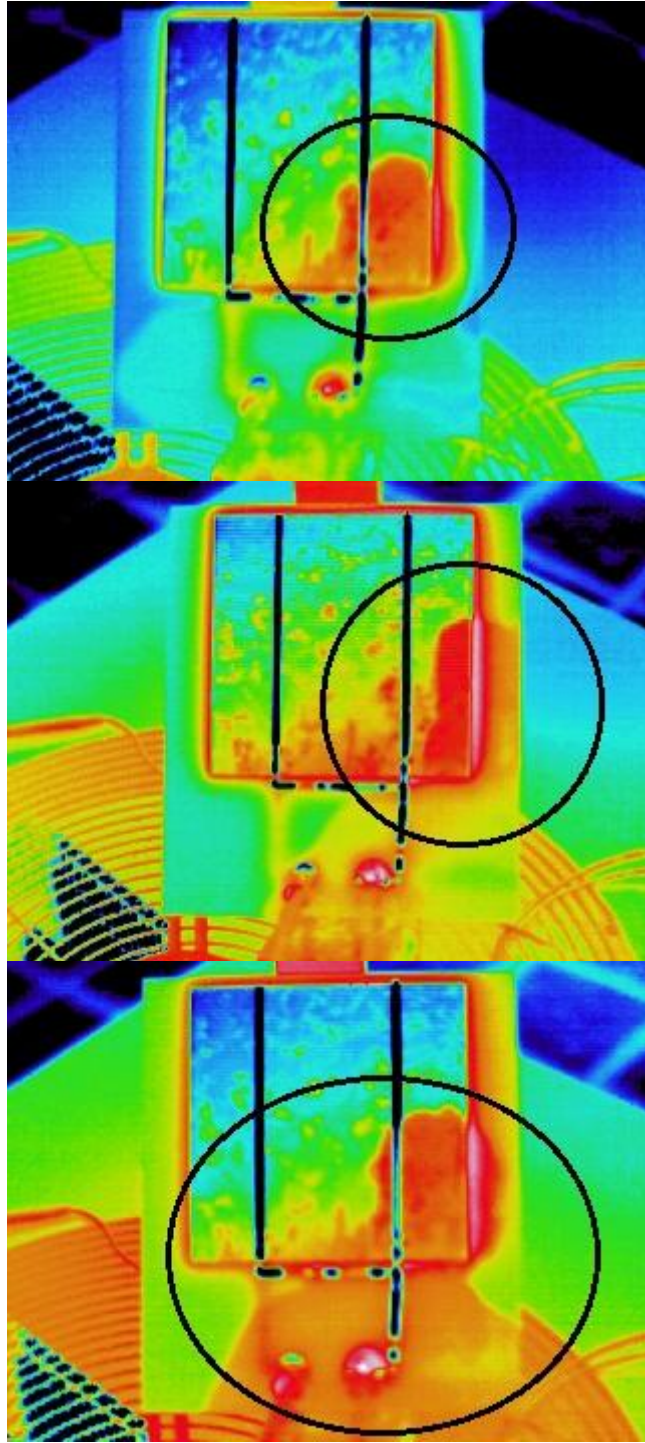
Αρχικά θα αναφερθούμε σε σφάλματα που παρατηρήθηκαν κατά τη διαδικασία και υπάρχει πιθανότητα να μας κατευθύνουν προς τα λάθος συμπεράσματα και αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα κάνουμε και μία αναφορά σε παρατηρήσεις γενικά από τις εικόνες και γενικότερα καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας και της πτυχιακής.

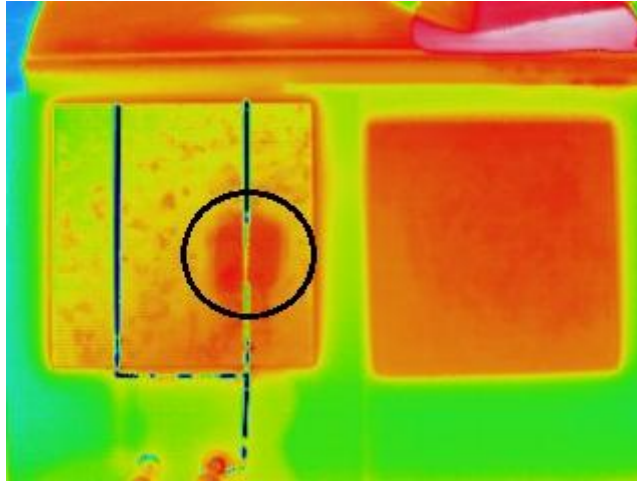
- Στο δεύτερο μέρος του τέταρτου κεφαλαίου λοιπόν θα αναφέρουμε μερικές διαπιστώσεις που έγιναν κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων καθώς και η επιβεβαίωση αυτών από την παρατήρηση στη συνέχεια των θερμικών εικόνων.

Το πρώτο και ίσως πιο βασικό σφάλμα που ίσως επηρέασε τις μετρήσεις μας αλλά κατά βάση τις εικόνες που πήραμε και κατά συνέπεια την επεξεργασία των εικόνων οφείλεται στον παρατηρητή-πειραματιστή. Όπως είναι γνωστό όλα τα αντικείμενα στον κόσμο ακόμα και τα πιο ψυχρά εκπέμπουν ακτινοβολία, η οποία επηρεάζει το περιβάλλον που τα περικλείει. Έτσι λοιπόν και το ανθρώπινο σώμα εκπέμπει μία τέτοια ακτινοβολία με τη μορφή θερμότητας.

Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι σε μερικές εικόνες ο παρατηρητής επηρέαζε το πάνελ με την θερμότητα του σώματος του και κατά συνέπεια επηρέαζε και την θερμική εικόνα αφού φανερά διακρίνεται το σχήμα του κεφαλιού σε μερικές από αυτές. Αυτό σημαίνει ότι προφανώς η επεξεργασία των εικόνων και η εξαγωγή της μέσης θερμοκρασίας εμπεριέχει ορισμένα σφάλματα και άρα τα αποτελέσματα έχουν πιθανότητα εσφαλμένων καταλήξεων. Σε μερικές περιπτώσεις ακόμα και η θερμική κάμερα σαν αντικείμενο επηρέαζε τις εικόνες. Ευτυχώς όμως σε αυτή την περίπτωση το φαινόμενο δεν ήταν τόσο έντονο και σίγουρα το σφάλμα είναι μικρότερο. Ενδεικτικά παραθέτουμε παρακάτω φωτογραφίες με τα παραπάνω σφάλματα κυκλωμένα. Στις πρώτες τέσσερις φαίνεται ευδιάκριτα η μορφή ενός ανθρώπου ενώ στην τελευταία ένα τετράγωνο στίγμα όπου είναι η θερμική κάμερα. Όλα παρατηρήθηκαν μετά τη λήψη των εικόνων μιας και ενώ εμφανίζονται στην εικόνα και την επηρεάζουν, ούτε η κάμερα αλλά ούτε και ο παρατηρητής σκίαζαν το πάνελ σε κανένα χρονικό σημείο.







- Το δεύτερο σφάλμα αποτελείται από δύο σημεία και είναι το σφάλμα μέτρησης. Αυτό είναι το σφάλμα που προκύπτει από τα όργανα όπως είναι το πολύμετρο που χρησιμοποιήσαμε και δεύτερο είναι το σφάλμα του παρατηρητή. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι οι μετρήσεις που έχουμε πάρει να μην είναι 100% ακριβείς και σωστές. Το ίδιο συμβαίνει και στην επεξεργασία των εικόνων καθώς οι εικόνες περιέχουν και πληροφορία από τον περιβάλλοντα χώρο και έτσι έπρεπε να γίνει αποκοπή των φωτογραφιών για να απομονωθεί το πάνελ και να βγει η μέση θερμοκρασία. Διαδικασία που μόνο εύκολη δεν είναι και η πιθανότητα να μην γίνει σωστά σε ολόκληρη την εικόνα και να μείνουν περιοχές μέσα όπου να επηρεάσουν το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο και λογικό. Ορισμένες σκέψεις, προτάσεις και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα σχετικά με το αντικείμενο αυτό παρατίθενται στο τελευταίο κεφάλαιο. Το ίδιο συμβαίνει και με την τμηματοποίηση/κατάτμηση του πάνελ σε τεταρτημόρια καθώς πάλι μπορεί να μην είναι πάντα όλες οι περιοχές ίδιου (απολύτως) εμβαδού. Οπότε και εδώ εισέρχεται άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μας και των τελικών συμπερασμάτων.
- Τρίτο και τελευταίο σφάλμα έχει να κάνει με το ρυθμό δειγματοληψίας, την ικανότητα ταυτόχρονης μέτρησης-λήψης εικόνας και σταθερής θέσης κατά την λήψη. Παρατηρήσαμε λοιπόν ότι το πάνελ είχε άμεση απόκριση σε οποιαδήποτε μεταβολή ενέργειας. Η απόκριση αυτή ήταν της τάξεως των 1-2 δευτερολέπτων. Αυτό είχε ως συνέπεια ότι ένα δείγμα κάθε 5 λεπτά ίσως να μην είναι άκρως αντιπροσωπευτικό και ικανό να μας δώσει περισσότερες πληροφορίες γύρω από την συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

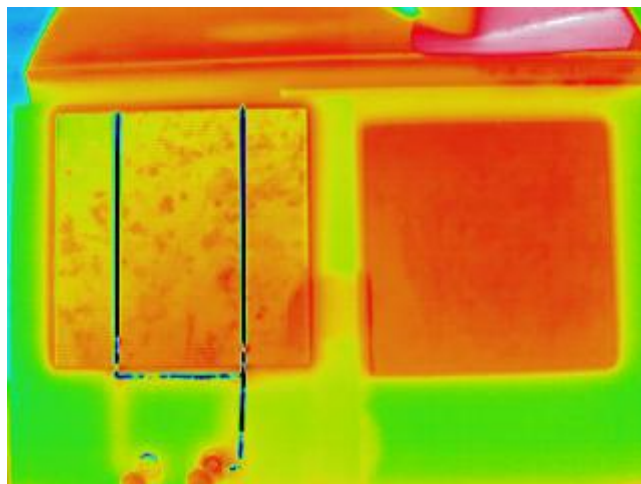
- Επιπρόσθετα έρχεται η ανικανότητα ταυτόχρονης λήψης εικόνας και καταγραφής μετρήσεων της τάσης και του ρεύματος. Αυτό σημαίνει ότι πρώτα γινόταν η λήψη της φωτογραφίας και στη συνέχεια η καταγραφή του ρεύματος και στη συνέχεια η καταγραφή της τάσης. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η εικόνα και οι μετρήσεις δεν αντιστοιχούν ακριβώς στην ίδια χρονική στιγμή. Πιθανώς να έχουν μια χρονική διαφορά της τάξης των 5-10 δευτερόλεπτων. Σε συνεργασία λοιπόν με την άμεση απόκριση του πάνελ σε οποιαδήποτε αλλαγή της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει οι μετρήσεις σε πολλά σημεία δεν αντιπροσωπεύουν την εικόνα μας και αντίστροφα.

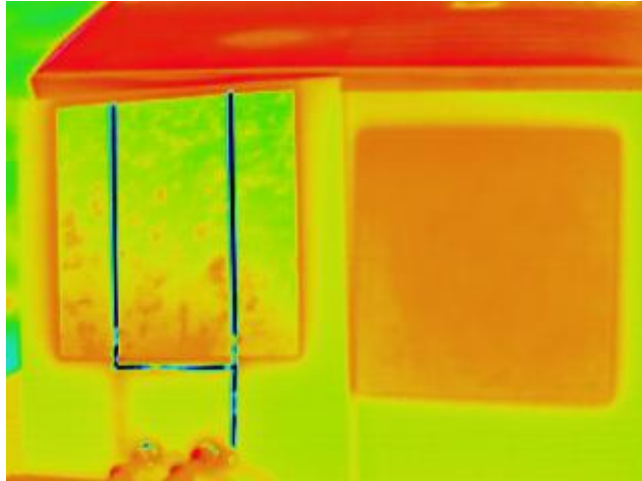
Αυτό φυσικά είναι αρκετά μεγάλο σφάλμα αλλά δυστυχώς τα εργαλεία που είχαμε στη διάθεση μας, φορητή θερμική κάμερα χειροκίνητης χρήσης και φορητό πολύμετρο, δεν μας επέτρεπαν διαφορετικού είδους προσέγγιση.

Φυσικά δεν ξέρουμε κατά πόσο θα είχαμε διαφορετικές εικόνες και πληροφορίες αν γινόταν να κρατήσουμε σταθερή τη θέση λήψης αφού αν κοιτάξει κάποιος της φωτογραφίες θα δει με ευκολία ότι αλλάζει τόσο η γωνία όσο και το ύψος από όπου έχει τραβηχτεί η εικόνα.

Ως παρατηρήσεις τώρα έχουμε να κάνουμε δύο αν και με αυτές δεν ασχοληθήκαμε κατά την ανάλυση και επεξεργασία.

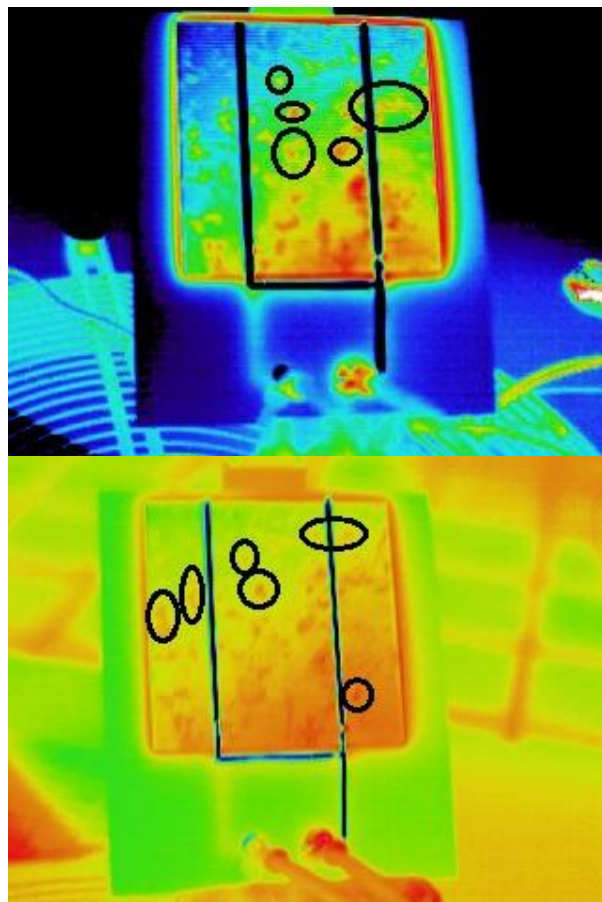
- Η πρώτη είναι ότι στα σετ μετρήσεων που διήρκεσαν 6 ώρες με αποτέλεσμα η γωνία του ηλίου να αλλάζει σημαντικά ως προς το πάνελ παρατηρήθηκε η σταδιακή μετατόπιση των θερμότερων περιοχών από δεξιά προς τα αριστερά ή η σταδιακή μεγαλύτερη θέρμανση της πιο ψυχρής πλευράς φτάνοντας στα επίπεδα της μέχρι εκείνης της στιγμής θερμότερης. Ακολουθούν ενδεικτικά μερικές θερμικές εικόνες ενώ όλες τους είναι διαθέσιμες στο κεφάλαιο 4.2 προς παρατήρηση.





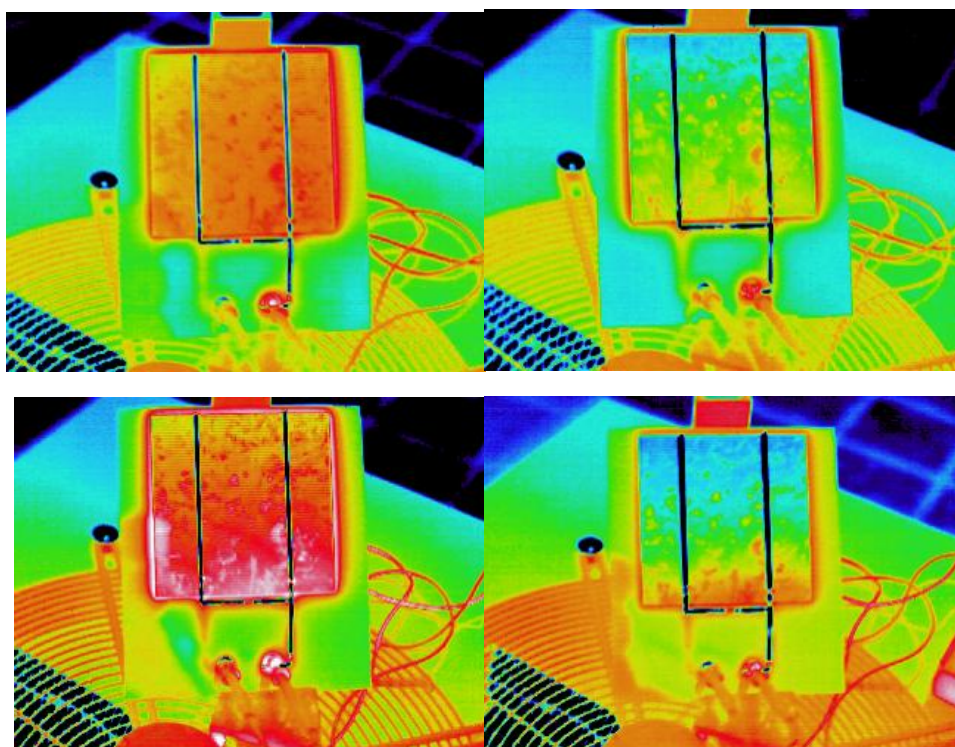
Στην πρώτη βλέπου το δεξιό τμήμα πιο θερμό ενώ στην δεύτερη που λήφθηκε πιο αργά την ίδια ημέρα να παρουσιάζεται θερμότερη η αριστερή πλευρά.

- Η δεύτερη παρατήρηση προκύπτει από τα διάφορα hot spots που εμφανίζονται στις εικόνες. Αυτά είναι κάποια σημεία ή περιοχές οι οποίες είναι ελαττωματικές και έχουν να κάνουν με την κατασκευή του πάνελ. Τα λεγόμενα defected areas (ελαττωματικές περιοχές) αποτελούν έναν ξεχωριστό και μεγάλο κλάδο επεξεργασίας εικόνων ακόμα και κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας για την κατασκευή πάνελ με όσο το δυνατόν λιγότερες ελαττωματικές περιοχές. Σημεία για μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.



- Τέλος μέσα από την εποπτική επεξεργασία των θερμικών εικόνων καταλήξαμε σε συμπεράσματα σχετικά με δύο ερωτήματα που είχαν τεθεί κατά την έναρξη των εργασιών της πτυχιακής εργασίας. Πως θερμαίνεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και αν η παραγωγή της ενέργειας είναι ομοιόμορφη στο στοιχείο.

Στο πρώτο ερώτημα παρατηρήθηκε ότι το στοιχείο (πολυκρυσταλλικό) ήταν πιο θερμό στο κάτω μέρος και πιο ψυχρό στο επάνω. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα τόσο από τις εικόνες αλλά και από την επεξεργασία αυτών και την εξαγωγή της μέσης θερμοκρασίας κάθε τεταρτημορίου του στοιχείου, όπου τα επάνω τεταρτημόρια έχουν στο σύνολο των μετρήσεων μικρότερες τιμές από τα 2 κάτω. Ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω μερικές εικόνες, ενώ όλες είναι διαθέσιμες στο κεφάλαιο 4.2(σελ. 24-50) που έγινε η παρουσίαση όλων των εικόνων αλλά και των πινάκων των μετρήσεων και της επεξεργασίας των εικόνων.



Αυτό σίγουρα έχει να κάνει με την γωνία έκθεσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου στον ήλιο καθώς πιο πάνω στο ίδιο κεφάλαιο εξηγήσαμε ότι είναι επίσης εμφανή η σταδιακή μετατόπιση των θερμών περιοχών από δεξιά στα αριστερά όσο περνούσε η ώρα και άλλαζε η γωνία του ήλιο ως προς το στοιχείο.

Αντιθέτως στο στοιχείο άμορφου πυριτίου δεν παρατηρήθηκε η ίδια συμπεριφορά αλλά η θέρμανση του φαίνεται να είναι σε γενικές γραμμές ομοιόμορφη χωρίς μεγάλες διαφορές από τεταρτημόριο σε τεταρτημόριο.

Όσο για την παραγωγή ενέργειας στο στοιχείο δεν έχουμε αρκετά στοιχεία για να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα αλλά αν θεωρήσουμε ότι μία θερμότερη περιοχή σημαίνει και μεγαλύτερη ένταση του ρεύματος στην περιοχή αυτή τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι και η παραγωγή ενέργειας στο στοιχείο ακολουθεί την ίδια κατανομή με την θερμοκρασία.

Κεφάλαιο 5: Μελλοντικές περιπτώσεις στην ανάλυση των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Φτάνοντας στο τέλος της πτυχιακής θα ήθελα να αναφέρω κάποιες προτάσεις για μελλοντική επεξεργασία πάνω σε εικόνες από φωτοβολταϊκά παίρνοντας αφορμή από την τελευταία παρατήρηση που κάναμε στην τελευταία παράγραφο του προηγούμενου κεφαλαίου.

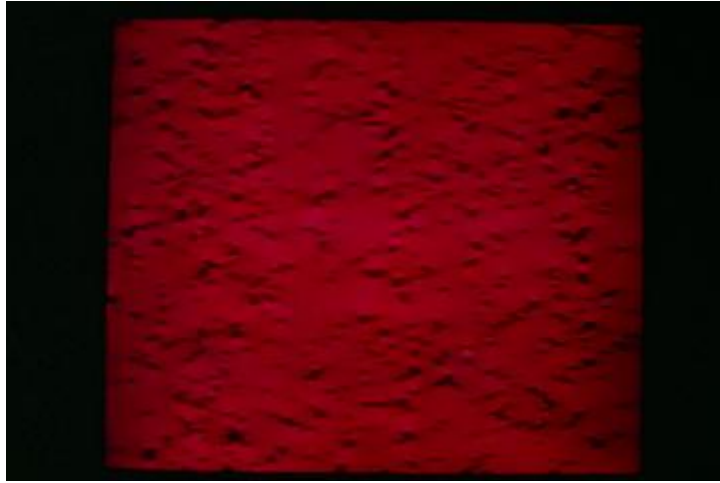
Μία σημαντική πρόταση είναι κάτι που γίνεται παγκόσμια στην παραγωγική διαδικασία των φωτοβολταϊκών με διάφορους τρόπους. Ένας από αυτούς είναι η επεξεργασία εικόνων φωτισμένες με υπέρυθρη ακτινοβολία με σκοπό την αναγνώριση των ελαττωματικών σημείων και περιοχών. Είτε αυτό εκφραστεί σε καταμέτρηση των pixels της εικόνας που είναι μαύρα είτε σε ποσοστιαία κλίμακα επί του συνόλου της εικόνας.

Αυτό για να γίνει θα μπορούσε να γίνει με δύο τρόπους. Είτε τμηματοποίηση της εικόνας όπως έχει αυτή ληφθεί με φωτισμό υπέρυθρης είτε με την ίδια διαδικασία αλλά σε αλλαγμένη εικόνα σε ασπρόμαυρη κλίμακα(greyscale).

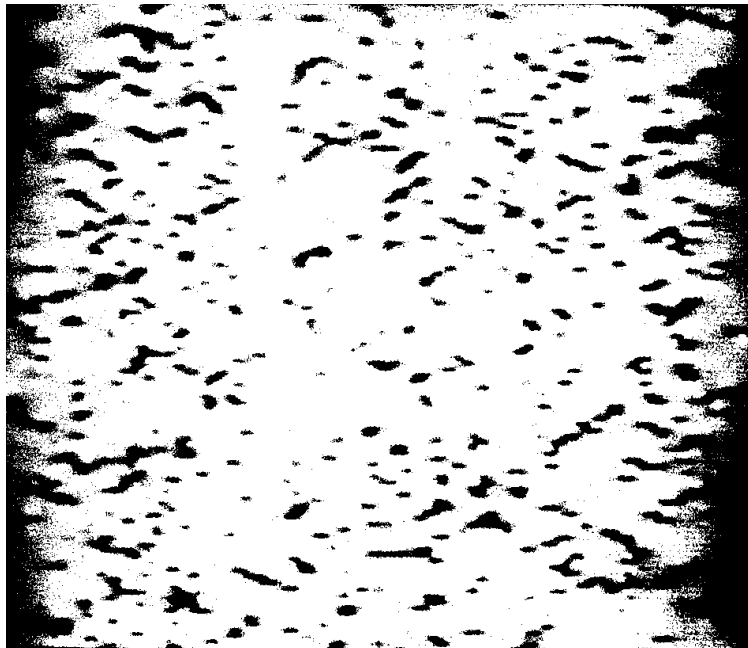
Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί με τη βοήθεια του Matlab ή άλλων προγραμμάτων επεξεργασίας εικόνας και ειδικού αλγορίθμου που θα επεξεργαζόταν την εικόνα. Αρχικά μεταφέροντας την σε άλλο χρωματικό χώρο όμως το greyscale ή τον L^*a^*b για να βρεθούν οι διαφορές ανάμεσα στα pixels. Στη συνέχεια θα χρειαζόταν η ομαδοποίηση των περιοχών της εικόνας για τον διαχωρισμό των διαφόρων τμημάτων που διαφέρουν αρκετά το ένα με το άλλο. Φιλτράρισμα της εικόνας για την απομάκρυνση του θορύβου και απομονωμένων pixels. Έτσι έχει γίνει η τμηματοποίηση της εικόνας με αποτέλεσμα να έχουμε μία εικόνα στην οποία πλέον έχουμε την απεικόνιση των ελαττωματικών περιοχών απομονώνοντας όποια άλλα σημεία και κάνοντας εφικτή την καταμέτρηση τους, τη εύρεση του μεγέθους τους και την μετάφραση αυτών σε αριθμό pixels ή σε ποσοστό. Ενδεικτικά θα δούμε κάποιες φωτογραφίες από μία τέτοια μέθοδο.



Αρχική εικόνα



Μεταφερμένη στον L^*a^*b χρωματικό χώρο



Μετά την ομαδοποίηση



Μετά το φιλτράρισμα



Τελική εικόνα

Από την τελική εικόνα όπως αναφέρθηκε μπορούμε πλέον να βρούμε σε το ποσοστό των ελαττωματικών περιοχών και την ποσότητα τους σε pixels. Για την συγκεκριμένη το ποσοστό βγαίνει στο 20,33% με 632.786 ελαττωματικά pixels.

5. Επίλογος :

Στόχος της πτυχιακής μας ήταν να αναλύσουμε, κατανοήσουμε τη συμπεριφορά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με τη χρήση και στοιχείων που έχουμε διδαχτεί κατά τη διάρκεια της φοίτησης μας στη σχολή. Χρησιμοποιήσαμε θερμική κάμερα και επεξεργαστήκαμε τις εικόνες και τις μετρήσεις που πήραμε. Έγινε προσπάθεια να πραγματοποιηθούν πειράματα σε διάφορες χρονικές περιόδους για την ανακάλυψη πιθανής αλλαγής της συμπεριφοράς ανά εποχή. Πιστεύω ότι αυτό επιτεύχθηκε στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό.

Αναλύσαμε σε βάθος όλα τα αποτελέσματα που πήραμε από την επεξεργασία και καταλήξαμε σε αρκετά συμπεράσματα και διαπιστώσεις που άλλα τα περιμέναμε γνωρίζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από τα φωτοβολταϊκά και άλλα ήρθαν σε αντίθεση μερική ή πλήρη. Ακόμα και τα αποτελέσματα μας μερικές φορές το ένα αντέκρουε το άλλο ωστόσο έγινε η μέγιστη δυνατή προσπάθεια για την εξαγωγή των σωστών συμπερασμάτων.

Αναφερθήκαμε σε σφάλματα που έπρεπε να έχουν αποφευχθεί και προσπαθήσαμε να δώσουμε την σημαντικότητα αυτών έτσι ώστε να μην γίνουν στο μέλλον σε πιθανά παρόμοια πειράματα και έρευνες.

Τέλος έγιναν προτάσεις για πιθανές μελλοντικές έρευνες πάνω στα φωτοβολταϊκά με την βοήθεια εικόνων ενώ έγινε και αναφορά σε ήδη υπάρχουσες έρευνες και τεχνογνωσίες που χρησιμοποιούνται για την ποιοτικότερη κατασκευή και την βελτίωση απόδοσης των Φ/Β στοιχείων.

Βιβλιογραφία:

- 1) <http://el.wikipedia.org>.
- 2) Σημειώσεις Φωτοβολταϊκών Συστημάτων από Ηλίας Σταθάτος
- 3) Φωτοβολταϊκά Συστήματα από Στέφανος Δ. Γαζέας
- 4) <http://www.suncoenergy.gr>
- 5) 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και φυσικής της ατμόσφαιρας – Διάρκεια των ωρών της ηλιοφάνειας στον ελληνικό χώρο από Α. Ματζαράκης Β. Κατσούλης
- 6) <http://www.flir.com>
- 7) <http://lumasenseinc.com>
- 8) Organic solar cells characterized by dark lock-in thermography by Jonas Bachmann, ClaudiaBuerhop-Lutz, CarstenDeibel, IngoRiedel, HaraldHoppe, Christoph J.Brabec, VladimirDyakonov

Παραρτήματα 1

X Non-contact thermometry best done with thermal imagers

impac[®]

Mikron Group

IVN 770-P

**Saving of costs and time
by early detection of failures**



**Portable thermal imager with unique cost/performance ratio
for non-contact temperature measurement between -20 and 250°C**

76800 pixels
4 times higher resolution than other
cameras of same price class!

- ◆ 320 x 240 pixels
- ◆ Fully radiometric array
- ◆ Precise measurement, temperature resolution of 0,1°C
- ◆ Flip-up 3.5" LC display
- ◆ Video OUT (PAL/NTSC, S-Video)
- ◆ Large memory capacity (400 images)
- ◆ Incl. 1 licence of analysis and reporting software
- ◆ USB interface
- ◆ Export license free



The **IVN 770-P** is a portable high resolution thermal imager, which precisely measures temperatures between -20°C and 250°C with a small measurement uncertainty and a temperature resolution of 0.1°C.

Its lightweight (1.2 kg) compact design makes the IVN 770-P ideally suited for mobile applications. The thermal images have a high optical resolution of 76800 (320 x 240) measurement points. The

fully radiometric detector identifies the exact temperature of every single pixel.

The IVN 770-P is easy to hold and can be controlled by one hand. The integral laser targeting light helps to aim the camera at the target and the thermal image can then be stored in the internal flash memory (400 images). The images can also be displayed and examined immediately on the 3.5" LC display.

For fast data transfer to the PC the camera features a USB2.0 interface. Using special software the images can be displayed, analysed and documented on the PC.

Typical application:

- ◆ Building diagnostics
- ◆ Predictive maintenance
- ◆ Veterinary medicine

IMPAC – Competence in Infrared

Specification

Measurement data	Temperature ranges:	Range 1: -20°C ... 100°C, Range 2: 0°C ... 250°C, switchable range (automatic or manual)
	Temperature display:	°C or °F
	Measurement uncertainty :	+/-2°C or +/-2% of reading
Detector	Type:	Fully radiometric, uncooled focal plane array (UFPA)
	Spectral range:	8 to 14 µm
	Pixel H x W:	320 x 240
Camera settings	Temperature resolution (NETD):	0.1°C (30 °C, range 1)
	Emissivity control:	0.10 to 1.00 in steps of 0.01
	Focus:	Manual
Optic	Laserpointer:	Class 2 (1mW/635nm red)
	Field of view:	27° x 20°
	Measuring distance:	Min. 280 mm
Presentation	Measurable object size:	Min. 1.26 x 1.23 mm
	Spatial resolution (IFOV):	1.5 mrad
	Display:	Flip-up 3.5" LC display
	Video Out:	Transfer of images from camera to an external display by PAL/NTSC or S-Video Output (using optional adapter)
	Picture mode:	Run / freeze
	Image update rate:	8.5 frames per second
	Data display:	Point temperature (movable point), emissivity, battery monitor, temperature span, colour palette, time, date
	Display colour:	Colour/monochrome, positive/negative (different scales)
	Colour palette:	Rainbow, brightness, shine, hot-iron, medical, fine
	Image Storage	Memory:
File format:		.sit
Interface:		USB data transfer to PC
System software:		Viewer software (freeware), Option: analysis and reporting software
Operation system:		Windows 2000, Windows XP
Environment	Operating temperature:	-10 ... 45°C, humidity: max. 90%
	Storage temperature:	-40 ... 70°C, humidity: max. 90%
	Power supply	Mains operation:
Battery operation:		Rechargeable battery (operation: 2.5h)
Power saving:		Stand-by, auto-shutdown
Further data	Dimensions:	102 mm x 217 mm x 205 mm
	Weight:	1.2 kg (including battery)
	Protection:	IP 54 (IEC 60259)
	Mounting:	1/4"
	Shock:	30G (IEC 60068-2-27)
	Vibration:	3G (IEC 60068-2-6)
	Warranty:	12 months (Option: extension to 24 months)

Reference numbers

3 830 300 Thermal imager IVN 770-P including:
Carrying case, AC charger for 2 batteries,
AC adaptor, USB interface cable,
Viewer software (Freeware), Analysis and
reporting software (1 licence), Wrist strap,
Lens cap, Works certificate,
Operation manual (German, English)



Robust carrying case



Works certificate with test results

Accessories, Service

3 830 760 Licence: analysis and reporting software
3 829 900 S-Video adapter (external display)
3 829 910 RCA adapter (external display)
3 829 920 Additional battery for IVN 770-P
3 829 960 13° x 10° Telephoto lens
3 829 970 54° x 40° Wide angle lens
3 830 940 Camera inspection
3 830 950 Camera inspection, re-calibration (with certificate)



AC adaptor

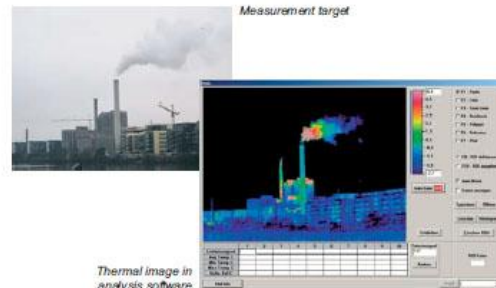


AC charger for batteries incl. 2 rechargeable batteries

Software

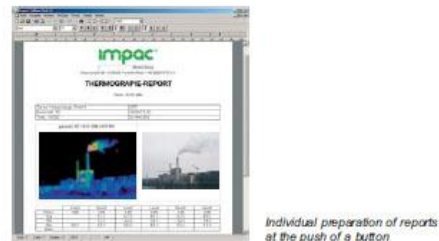
Viewer software

- ◆ Download thermal image from the internal memory to PC via USB
- ◆ Display thermal image thumbnail, thermal image replay, image preview
- ◆ Display of temperature distribution in the thermal image
- ◆ Setup i.e. temperature level and span, sense, colour palette, zoom
- ◆ Saving image in standard format (.bmp or .jpeg)



Option: Analysis and reporting software (1 licence included in the scope of delivery)

- ◆ Thermal image processing and report writing software
- ◆ All functionalities of viewer software
- ◆ Temperature display in specified areas (max, min and average), line profil
- ◆ Temperature difference between 2 points
- ◆ Isothermal display of image
- ◆ Automatic report making with template



Individual preparation of reports at the push of a button

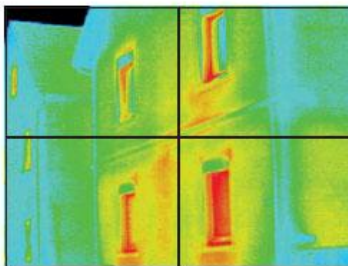
Optics

The IVN 770-P is supplied with a standard lens which is suitable for most applications. For specific applications, different lenses are available (telephoto, wide angle lens).

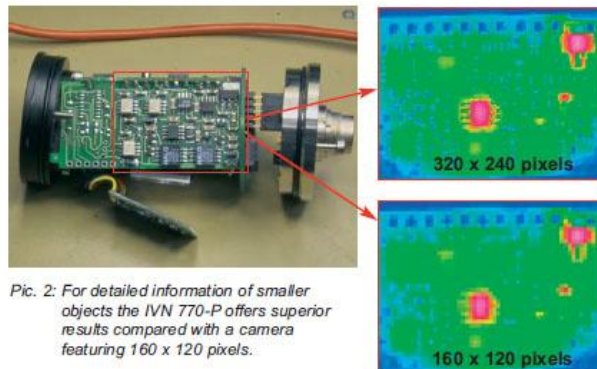
Due to the large amount of measurement data obtained, the camera provides excellent resolution. A high resolution image is of great importance in many applications in order to measure small objects (e.g. in process monitoring) or objects at long distances (e.g. in building inspection).

Distance of object [m]	Measurement field W x H [m]		
	27° x 20°	13° x 10°	54° x 40°
0.50	0.24 x 0.18	–	0.51 x 0.36
0.75	0.36 x 0.26	–	0.76 x 0.55
1.00	0.48 x 0.35	–	1.02 x 0.73
2.50	1.20 x 0.88	0.57 x 0.44	2.55 x 1.82
5.00	2.40 x 1.76	1.14 x 0.87	5.10 x 3.64
10.00	4.80 x 3.53	2.28 x 1.75	10.19 x 7.28

To give an example, the temperature distribution of a building has to be measured. At a distance of 20 m the IVN 770-P covers a measurement area of 10 x 7 m and a measurement point of 30 x 30 mm. If a camera has just half of the resolution (160 x 120 pixels), it results in a loss of measurement data for the area of interest on the building (please see picture below):



Pic. 1: Compared to IVN 770-P you need to take 4 thermal images with a 160 x 120 resolution camera to get the same temperature information in every pixel.



Pic. 2: For detailed information of smaller objects the IVN 770-P offers superior results compared with a camera featuring 160 x 120 pixels.

Distance of object [m]	0.3	2	8	20	50
Meas. field W x H [m]	0.14 x 0.11	1.0 x 0.7	3.8 x 2.8	9.6 x 7.1	24.0 x 17.6
Pixel size W x H [mm]	0.5 x 0.4	3.0 x 2.9	12.0 x 11.8	30.0 x 29.4	75.0 x 73.5
Min. size of object H x W [mm]	1.4 x 1.3	9.0 x 8.8	36.0 x 35.3	90.0 x 29.4	225.1 x 220.4

Application

Building diagnostics

In building thermography there are several applications for the IVN 770-P:

- ◆ Quality check of thermal insulation (energy saving, avoidance of moisture and mould etc.)
- ◆ Reconstruction of building (insulation etc.)
- ◆ Building inspection and final acceptance (remedy of deficiencies)
- ◆ Detection of moisture/ leaks
- ◆ Search for pipes (floor heating etc.)

Predictive maintenance

The IVN 770-P is used in a broad area for predictive maintenance applications:

Thermography of electrical components

- ◆ Detecting potential or existing deficiencies or defects (overheating, fire danger)
- ◆ Identification of faulty components (process safety)
- ◆ Detection of too high operating temperatures, e.g. of engines (extension of physical life)
- ◆ Measurement in fields of low, middle and high voltage (switchboard, clamps, contacts, cable, fuses, transformers, generators, engines etc.)

Thermography of mechanical components

- ◆ Early detection of defects in machines and systems (overheating)
- ◆ Measurement of gears, mills, rotating shafts etc.

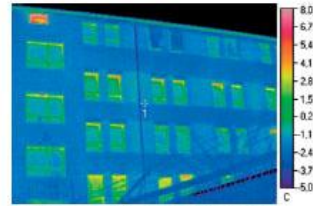
Further application

- ◆ Detection of tank levels, e.g. in chemical industry
- ◆ Measurement of pipe work, tanks, reactor, chimneys, pumps, cooling aggregates

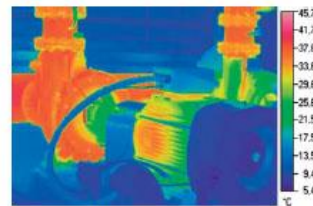
Veterinary medicine

In veterinary medicine there are also applications for the IVN 770-P:

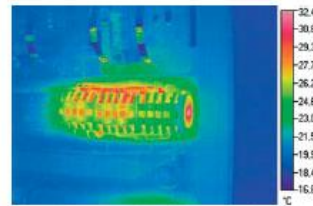
- ◆ Prophylactic examination (early detection of symptoms, prevention of serious injuries)
- ◆ detection of inflammation (muscles, tendons, joints)



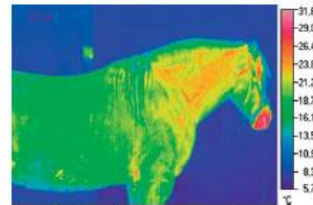
Check of building insulation before reconstruction. Often, there are weak points at roller blinds.



Measurement of temperature distribution of a compressor. By keeping the right operating temperature the life time can be considerably extended.



Search for potential defects of electrical contacts. In worst case this can lead to fire.



Examination of a horse regarding inflammation and other symptoms of disease.

IMPAC Infrared GmbH
Temperature Measurement

Kleyerstraße 90
D-60326 Frankfurt/Main

Phone: +49 (0)69-9 73 73-0
Fax: +49 (0)69-9 73 73-167

E-Mail: info@impacinfrared.com
Internet: www.impacinfrared.com

Specifications are subject to change without notice

IT2H7