

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ “ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ”



**ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΞΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ “ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΑΙΓΑΙΟ”**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. ΒΑΣΙΛΗΣ ΖΕΡΒΑΚΗΣ

ΤΟΥ ΑΝΔΡΕΑ Δ. ΖΑΠΑΝΤΗ 1930504

ΜΥΤΙΛΗΝΗ 2008

2.4.3.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ (T.C.)	34
2.4.3.5 ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ	35
2.5 ΓΕΦΥΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE	36
2.5.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	36
2.5.2 ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE	37
2.6 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	38
2.6.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ – ΣΧΕΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	38
2.6.2 ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΤΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	39
2.6.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΥ ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	43
2.6.4 ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΔΥΟ Η ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	43
2.6.5 Η ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΟ ΜΕΓΕΘΩΝ	44
2.6.6 ΤΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΔΥΟ Η ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	44
2.6.7 ΤΟ ΠΗΛΙΚΟ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΜΕΓΕΘΩΝ	45
2.6.9 ΚΛΑΣΕΙΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ	46
2.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ	47
2.7.1 Ο ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ THERMISTOR	47
2.7.2 Ο ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ THERMOPILE	48
2.7.3 Ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ	49
2.8 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ	51
2.8.1 PYRHELIOMETER	51
2.8.2 ALBEDOMETER	52
2.8.3 PYRGEOMETER	52
2.8.4 PYRANOMETER	54
2.8.5 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΙΔΙΚΩΝ PYRANOMETER UVB-1 ΚΑΙ UVA-1	54
2.8.6 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	55
2.8.7 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ	57
2.8.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ PYRANOMETER	57
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	59
3.1 Η ΙΔΕΑ	59
3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	59
3.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΜΕ ΤΟΝ DATALOGGER ΜΕΣΩ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	61
3.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	63
3.5 Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ AANDERAA 2770	64
3.6 Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	65
3.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ	66
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	66
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	70
6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	72
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	85

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας είναι η βελτίωση των μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο και προσπίπτει στη γη άμεσα, διάχυτα ή ανακλώμενα.

Περιλαμβάνει την υπεριώδη ακτινοβολία, την ορατή ακτινοβολία και την υπέρυθη ακτινοβολία.

Μεγάλη σημασία έχει για το κλιματικό σύστημα του πλανήτη μας αφού αναγκάζει τον αέρα να κινείται, να σχηματίζονται νέφη και τα χημικά στοιχεία της ατμόσφαιρα να αντιδρούν.

Παράλληλα, η ηλιακή ακτινοβολία συνδέεται με την πρωτογενή και τη δευτερογενή παραγωγή οργανικής ύλης μέσω της φωτοσύνθεσης, που μετατρέπει τη φωτεινή ενέργεια του ήλιου σε χημική.

Τέλος η αποδοτικότερη μετατροπή και αξιοποίηση της σε ηλεκτρική ενέργεια θα μειώσει και θα αντιστρέψει την ρύπανση από κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

Η σπουδαιότητα, η πολυμορφία, η πολυπλοκότητα εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας αναγκάζουν τις μετρήσεις της να γίνονται λεπτομερείς, ακριβείς και σύνθετες με διάφορους τύπους οργάνων τα τελευταία χρόνια, καθότι αν και στην αρχαιότητα ο ήλιος σε όλους τους πολιτισμούς λατρεύονταν ως θεότητα, τις τελευταίες δύο εκατονταετίες επιστημονικά παρατηρείται και αναλύεται το μέγεθος της ακτινοβολίας του.

Στα πλαίσια αυτά κατασκευάστηκε ιδιοσυσκευή που περιορίζει τον παράγοντα ρύπανσης και κλίσης του αισθητήριου οργάνου.

Τοποθετήθηκε επί του Ω/Κ πλοίου Αιγαίου και παρατηρήθηκε για διάρκεια ενός μηνός.

Οι μετρήσεις αναλύθηκαν με το λογιστικό πρόγραμμα Excel και το στατιστικό πρόγραμμα Spss.13.

Τέλος αποδίδονται τα συμπεράσματα προς κρίση και αξιοποίηση.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η ανάπτυξη μίας τεχνικής για την βελτίωση της μέτρησης της ποσότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της θάλασσας, έτσι ώστε να προσδιορίζεται η μέγιστη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία με μεγαλύτερη ακρίβεια.

- Να εξαλείφεται το σφάλμα γωνίας (κλίση) του οργάνου λόγω διατοιχισμού του πλοίου ή του σημαντήρα με την γυροσκοπική έδραση έτσι ώστε ο αισθητήρας να παραμένει πάντα κατακόρυφος.
- Να περιοριστεί η ρύπανση από αλάτι, σκόνη και ακαθαρσίες πουλιών των θόλων των ηλιακών αισθητήρων που είναι εγκατεστημένοι σε θαλάσσιο περιβάλλον και δη σε πλοίο ή σημαντήρα.
- Να συνεχίζεται η μέτρηση (μέσω διάφανου καλύμματος) κατά την κάλυψη και προστασία του αισθητήρα, για να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου και διόρθωση τιμών (μέσω της περιοδικής αποκάλυψης).
- Να μη χρειάζεται θερμική αντιστάθμιση ο αισθητήρας αφού είναι ηλιακά εκτεθειμένος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και όχι σκιαζόμενος .
- Να είναι ανεξάρτητη η λειτουργία της συσκευής, από το μετεωρολογικό δίκτυο για να μην επηρεάζονται άλλα όργανα, καταγραφείς, συσκευές και να δέχεται άλλους παρόμοιους ή παρεμφερείς αισθητήρες για μελλοντική ή εκτεταμένη χρήση.
- Τέλος να μπορεί να συνεργαστεί παράλληλα και οικονομικά με άλλες παρόμοιες συσκευές (αδιάφανος θόλος) στο ίδιο πεδίο για πλήθος εφαρμογών.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέταση του θέματος απαιτεί την παρουσίαση, ανάλυση αρκετών εξωτερικών φυσικών μηχανισμών, του τρόπου εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας στον πλανήτη μας και πως συμπεριφέρεται η γη ή η ατμόσφαιρα, την κατανομή της στην επιφάνεια, την σπουδαιότητα των αποτελεσμάτων της.

Αναφορά στοιχειωδών θεωρητικών γνώσεων για το μέγεθος της ακτινοβολία, του φάσματος της, τον υπολογισμό της απόστασης που διανύει και του τρόπου που προσπίπτει.

Περιγραφή απαραίτητων τεχνολογιών, για τις αρχές λειτουργίας των οργάνων, τις κατηγορίες και τα είδη των, την εξέλιξη των, τον τρόπο που τα χρησιμοποιούμε στο πεδίο, τα σφάλματα μετρήσεων που προκύπτουν και πως αποφεύγονται, έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η μεθοδολογία μετρήσεων.

Εξετάζεται συγχρόνως ο παράγοντας της επί μέρους βελτίωσης ώστε το θέμα να θεωρείται όσο το δυνατό πλήρες.

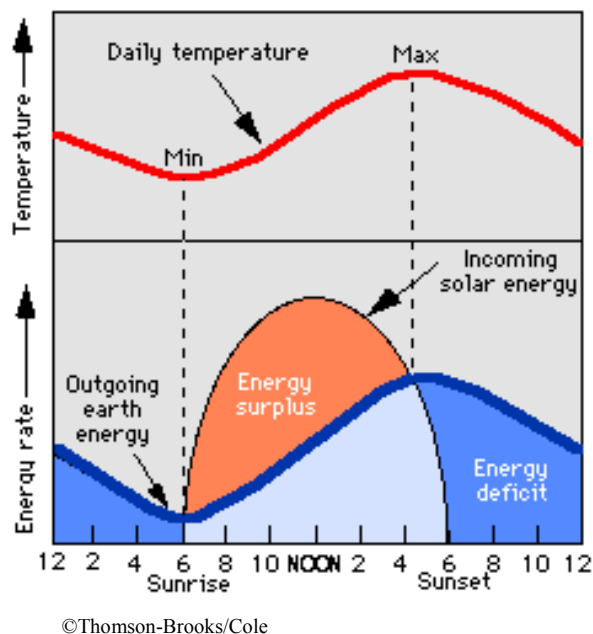
2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

2.1.1 ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Εξετάζοντας την ενεργειακή ισορροπία από την άποψη των καθημερινών μεταβολών θερμοκρασίας η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια είναι μέγιστη όταν ο ήλιος είναι στο υψηλότερο σημείο του ουρανού. Η επιφάνεια της γης θερμαίνεται συνεχώς από την ανατολή μέχρι την δύση του, η γη ακτινοβολεί το μέγιστο ποσό της εισερχόμενης ενέργειας στο ηλιοβασίλεμα και αποδεδεμεύει το λιγότερο ποσό ενέργειας νωρίς το πρωί, πριν από την ανατολή του.

Η καθαρή ενέργεια στην επιφάνεια είναι επομένως η διαφορά της εισερχόμενης ακτινοβολίας (μικρών κυμάτων) από τον ήλιο και της εξερχόμενης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη γη (μακρών κυμάτων) (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 : Ημερήσια μεταβολή θερμοκρασίας

Το διάγραμμα δείχνει στη περιοχή του ενεργειακού πλεονάσματος, ότι περισσότερη ενέργεια εισέρχεται στη γη από αυτήν που εξέρχεται. Στη περιοχή ελλείμματος είναι ακριβώς το αντίθετο, περισσότερη ενέργεια εξέρχεται από τη γη από ότι εισέρχεται (λόγω της απουσίας φωτός του ήλιου). Το συνολικό ποσό καθαρής ενέργειας είναι μηδέν, δηλ υπάρχει μια ενεργειακή ισορροπία.

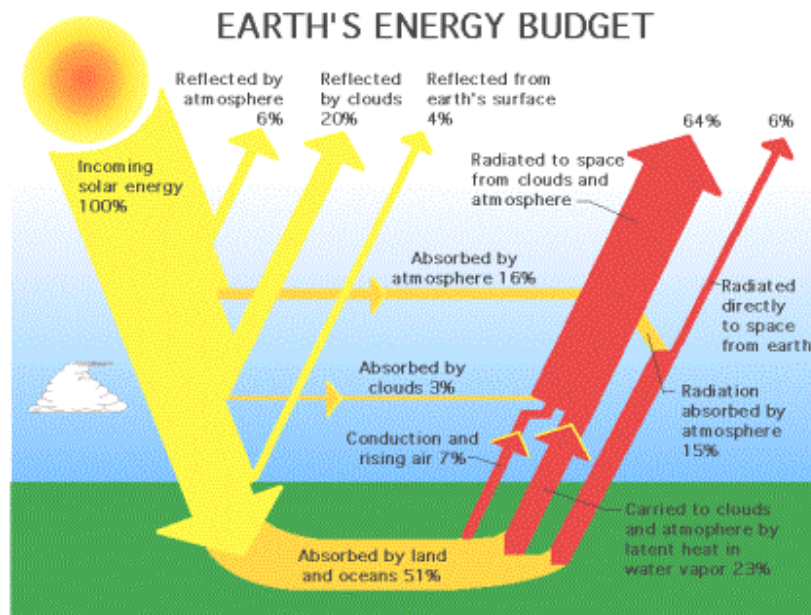
Η περιοχή πλεονάσματος στο διάγραμμα παρουσιάζει καθημερινή είσοδο ενέργειας στο σύστημα γη-ατμόσφαιρα απαραίτητο για να διατηρηθεί η ισορροπία. Ένα σημαντικό στοιχείο που παρατηρείται είναι ότι η μέγιστη γήινη εκπομπή της θερμότητας είναι κατά το ηλιοβασίλεμα όταν η εισερχόμενη ενέργεια ελαττώνεται.

Μια άλλη βασική παρατήρηση είναι ότι η γη εκπέμπει και απορροφά την ακτινοβολία αποτελεσματικότερα από την ατμόσφαιρα ως μέσον μεταφοράς. Γι' αυτό αργά το απόγευμα είναι συχνά πολύ θερμότερος ο αέρας λόγω έναρξης εκπομπής ακτινοβολίας (μεγάλου μήκους κύματος) απ' ό,τι το μεσημέρι, όταν η εισερχόμενη

ακτινοβολία (μικρού κύματος) είναι μέγιστη, στην αρχή του πρωινού δε, είναι η πιο δροσερή περίοδος της ημέρας.

Η ατμόσφαιρα θερμαίνεται και ψύχεται αργά, αλλά το έδαφος θερμαίνεται και ψύχεται γρηγορότερα λόγω μάζας και μεγάλου μεγέθους θερμοχωρητικότητας.

2.1.2 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ-ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/radiation_facts.html

Εικόνα 2.2 : Σχηματική αναπαράσταση εισερχόμενης - εξερχόμενης ροής ακτινοβολίας

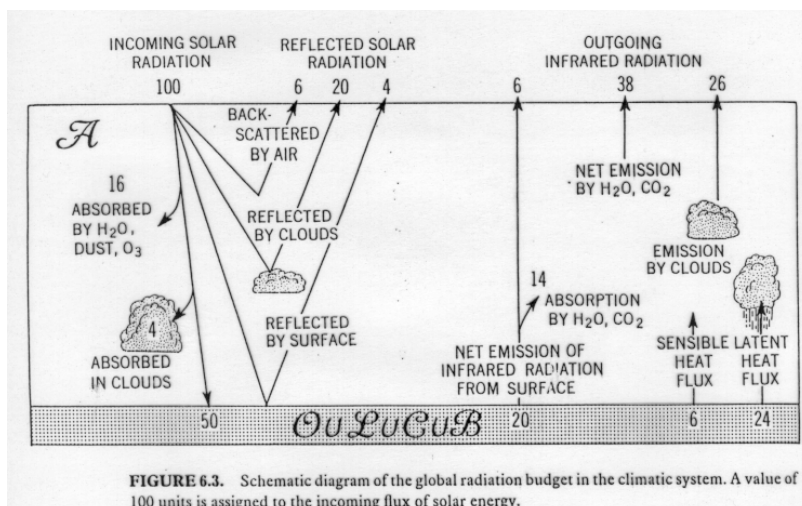


FIGURE 6.3. Schematic diagram of the global radiation budget in the climatic system. A value of 100 units is assigned to the incoming flux of solar energy.

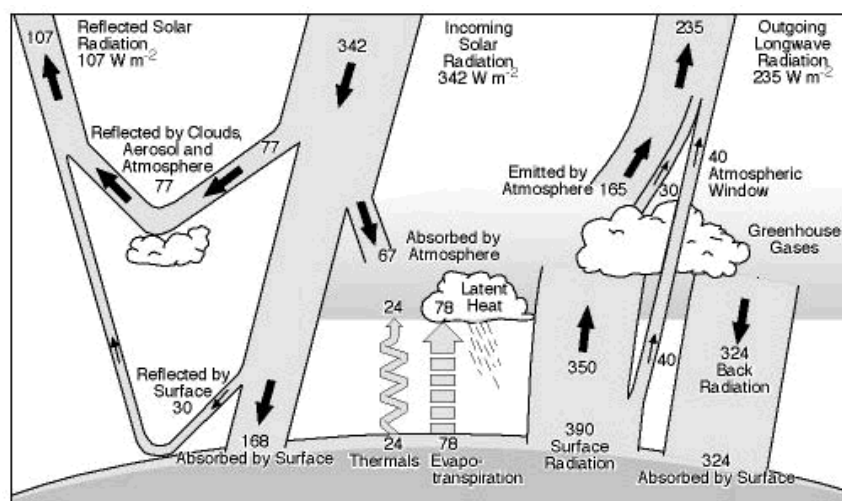
www.geology.iastate.edu/gccourse/hydro/aspect

Εικόνα 2.3 : Σχηματική αναπαράσταση εισερχόμενης- εξερχόμενης ροής ακτινοβολίας κατά το μελέτη κατανομής Peixoto and Ort (1992)

Σύμφωνα με το Atmospheric science data center της NASA, η επιφάνεια της γης απορροφά το 51% της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας (Εικόνα 2.1) ή το 50% κατά τη μελέτη κατανομής Peixoto and Ort (1992) (Εικόνα 2.3).

Το ενδιαφέρον μας εστιάζεται σε αυτές τις 50 εισερχόμενες ή στις 50 εξερχόμενες μονάδες ροής ενέργειας. Αναλυτικότερα, κατά τη μελέτη (Kiehl and Trenberth 1997) η γη λαμβάνει το πόσο των 342 watts ανά m^2 μέσης ηλιακής ενέργειας, από αυτές οι 168 w/m^2 απορροφώνται από την επιφάνεια της, οι 107 w/m^2 ανακλώνται προς το διάστημα ενώ 67 w/m^2 απορροφώνται από την ατμόσφαιρα (εισαγωγή μικρών κυμάτων).

Η εκπομπή 390 w/m^2 από την επιφάνεια της, 24 w/m^2 ως αισθητή θερμότητα και 78 w/m^2 ως λανθάνουσα θερμότητα γίνεται με την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. (εξαγωγή μακρών κυμάτων) (Εικόνα 2.4).



www.marathon.uwc.edu/geography/100/RADBUD.HTM

Εικόνα 2.4 : Σχηματική κατανομή σύμφωνα με Kiehl and Trenberth (1997)

2.1.3 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται διασχίζοντας τα ατμοσφαιρικά στρώματα, που εμποδίζουν ένα σημαντικό κομμάτι από αυτή να φθάσει στην επιφάνεια της γης.

Η μείωση αυτή οφείλεται στα φαινόμενα της απορρόφησης και σκέδασης.

Τα φαινόμενα της απορρόφησης και σκέδασης πραγματοποιούνται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα) και από το μικρού πάχους στρώμα του όζοντος.

Το στρώμα του στρατοσφαιρικού όζοντος έχει μια ισχυρή δράση στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας με μήκος κύματος UV.

Η απορρόφηση είναι πιο αποτελεσματική για τα μικρά μήκη κύματος της ακτινοβολίας (μέγιστη απορρόφηση ακτινοβολίας με μήκος κύματος μέχρι 250 nm, ελάχιστη απορρόφηση ακτινοβολίας με μήκος κύματος πάνω από 350 nm).

Έτσι, οι βιολογικά επιβλαβείς ακτινοβολίες κάτω από 280 nm (UV-E και UV-C) είναι πλήρως απορροφόμενες από το στρώμα του όζοντος και μόνο ένα μέρος από τα φάσματα των UV-B και UV-A μπορούν να φθάσουν στο έδαφος.

Η λέπτυνση ή αραίωση του προστατευτικού στρώματος του όζοντος από ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους (φθοριουδρογονάνθρακες και οξειδία του αζώτου) που υπερβαίνουν το κρίσιμο επίπεδο συγκέντρωσης και αλληλεπιδρούν με το όζον φωτοχημικά, θα προωθήσουν την άκρως βιολογικά βλαβερή UV ακτινοβολία μέσα από την τροπόσφαιρα μέχρι την επιφάνεια της γης. (Hinnawi και Hashmi 1982).

Στην κατώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα) η ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται και διαχέεται κυρίως από τα σύννεφα (που περιέχουν υγρασία και σωματίδια πάγου) και τα αιωρούμενα σωματίδια (σκόνη, καπνός, θολότητα, από το φωτοχημικό νέφος) που δημιουργούν την τροποσφαιρική σκέδαση. Μια σημαντική διεργασία που καθορίζεται από το μέγεθος των μορίων και σωματιδίων και είναι γνωστή με τους όρους επιλεκτική σκέδαση και μη-επιλεκτική σκέδαση.

Επιλεκτική σκέδαση προκαλείται από τα μόρια που έχουν το ίδιο μέγεθος, ή μικρότερο, από το μέγεθος μήκους κύματος ακτινοβολίας.

Στην επιλεκτική σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας οφείλεται το χρώμα που παίρνει ο ουρανός, (το μεσημέρι, ο ουρανός εμφανίζεται λευκός γιατί μικρή σκέδαση προκύπτει από την ελάχιστη ατμοσφαιρική διαδρομή. Στην ανατολή και δύση του ήλιου, όμως, το ηλιακό φως φαίνεται κόκκινο λόγω της αυξημένης ατμοσφαιρικής διαδρομή που συνοδεύεται με σκέδαση φωτός μπλε μήκους κύματος και σχετικά μικρή διασπορά της κόκκινης συνιστώσας).

Η επιλεκτική σκέδαση μπορεί να κυμαίνεται από 10% (νωρίς το πρωί) έως και 20% (αργά το απόγευμα) (McVeigh 1977).

Ο βαθμός σκέδασης της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται με την ακόλουθη σειρά στα φάσματα : UV-B> UV-A> ιώδες > γαλάζιο > πράσινο > κίτρινο > πορτοκαλί > κόκκινο > υπέρυθρο.

Μη-επιλεκτική σκέδαση προκαλείται από σωματίδια σκόνης, ομίχλης, με διάμετρο σωματιδίων πάνω από 10 φορές από το μήκος κύματος της συγκεκριμένης ακτινοβολίας και είναι η ίδια για όλες τις συχνότητες του φάσματος. Εξαιτίας αυτού, εμφανίζονται λευκά σύννεφα.

Επίσης τα σύννεφα ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα, αυτό διαφέρει ανάλογα με το πάχος τους και την albedo. Λεπτό-αραιό σύννεφο μπορεί να ανακλά λιγότερο από το 20% της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ παχύ και πυκνό σύννεφο μπορεί να ανακλά πάνω από το 80%. Η απορρόφησης της ακτινοβολίας από παχύ σύννεφο είναι συνήθως μικρότερη από 10%.

Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων, υδρατμών και αιωρούμενων σωματιδίων που προκαλούν απορρόφηση κυρίως στα μικρά κύματα του φάσματος, ονομάζονται ειδικές ζώνες απορρόφησης σε αντίθεση με τις περιοχές που χαρακτηρίζονται από διείσδυση ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος τα λεγόμενα ατμοσφαιρικά παράθυρα.

Τα όρια των μηκών κυμάτων της ηλιακής ακτινοβολίας, οι ονομασίες και οι επιδράσεις τους από την ατμόσφαιρα αναλυτικά παρουσιάζονται στον πίνακα(2.1).

Πίνακας 2.1: Όρια, ονομασίες φασμάτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και ατμ. επιδράσεις κατά (Brooks and Miller 1963, Michels 1979, WHO 1979).

Spectral band	Wavelength limits (nm) ^a	Atmospheric effects
Gamma rays	<0.03	Absorbed by the upper atmosphere
X-rays	0.03-3	Absorbed by the upper atmosphere
Extreme UV	3-200	Absorbed by the upper atmosphere
UV-C	200-280	Absorbed by the upper atmosphere
UV-B	280-320	Mostly absorbed by oxygen, nitrogen, and ozone in the upper atmosphere
UV-A	320-400	Transmitted with severe atmospheric scattering
Visible	400-700	Transmitted with moderate atmospheric scattering of shorter wavelengths
Reflected IR	700-3 000	Mostly reflected
Thermal IR	3 000-14 000	Absorbed at specific wavelengths by carbon dioxide, ozone, and water vapor, with two atmospheric windows

Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται στο επίπεδο εδάφους αποτελείται από την άμεση και έμμεση ακτινοβολία (σκεδασμένη, διάχυτη, η ανακλώμενη). Το φάσμα της UV δεν υπερβαίνει το 5% της εισερχόμενης ακτινοβολίας με αίθριες ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του εδάφους ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την γεωγραφική θέση, την εποχή, την νεφοκάλυψη, την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, και το ηλιακό υψόμετρο. Η κλίση των 23,5° μοιρών του άξονα της γης επηρεάζει την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της.

Η φασματική κατανομή της ηλιακής ενέργειας είναι περίπου 3% για την UV, 44% για την ορατή και 53% για την υπέρυθη περιοχή, αντίστοιχα.

2.1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΕΣΩ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΜΕΣΩΝ

Η διαβίβαση της ηλιακής ενέργειας μέσω ενός διαφανούς αντικειμένου είναι συνάρτηση του είδους καθώς και του πάχους του, της γωνίας πρόσπτωσης, και του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.

Κανονικά μέσα από ένα κοινό γυαλί μπορεί να μεταδοθεί πάνω από το 90% της ακτινοβολία UV-A και της ορατής περιοχής του φάσματος, εφόσον το συστατικό (Fe_2O_3) που περιέχει είναι λιγότερο από 0,035%, εάν είναι υψηλότερο, η μετάδοση είναι μειωμένη, καθώς και το μεγαλύτερο πάχος γυαλιού μειώνει την μετάδοση.

Η μετάδοση της ακτινοβολίας είναι καλή σε υψηλό ποσοστό για γωνίες πρόσπτωσης που κυμαίνονται από 0 έως 40° μοίρες από την κατακόρυφο και μικραίνει για μεγαλύτερες (μέγιστη γωνία 90°).

Διαφανή πλαστικά υλικά, όπως ο Lucite, το Plexiglas και το Perspex acrylic είναι καλοί μεταδότες για το φάσμα των UV και το ορατό φάσμα της ακτινοβολίας, με διαπερατότητα πάνω από 92% (Dietz 1963).

Ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου δείχνει την μείωση της ταχύτητας του φωτός σε σχέση με την ταχύτητα που έχει στο κενό το φως. Π.χ ένα γυαλί με δείκτη διάθλασης 1,5 μας δείχνει ότι το φως περνάει από μέσα του με μείωση της ταχύτητας του $1/1,5 = 0,67$ φορές λιγότερο από ότι στο κενό.

Δύο βασικές ιδιότητες των διάφανων υλικών σχετίζονται με τον δείκτη διάθλασης.

- οι ακτίνες του φωτός αλλάζουν διεύθυνση όταν προσπίπτουν στην διεπιφάνεια αέρα- μέσου.
- το φως ανακλάται διαφορετικά από επιφάνειες που έχουν διαφορετικό δείκτη διάθλασης μεταξύ τους.

2.1.5 ALBEDO (ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ)

Είναι το μέτρο για την ικανότητα που έχει ένα υλικό να ανακλά το φως του ήλιου (συμπεριλαμβανόμενων των φασμάτων της ορατής, υπέρυθρης και υπεριώδης ακτινοβολίας) σε μια κλίμακα από 0 έως 1. Μια λευκαύγεια με τιμή 0,0 δηλώνει ότι απορροφά όλη η επιφάνεια την ηλιακή ακτινοβολία, και με τιμή 1,0 αντιπροσωπεύει συνολική ανακλαστικότητα.

Οι τιμές μπορούν να εκφράζονται και σε ποσοστό (%). Το σύνολο των Albedo πολλών ειδών επιφάνειας της γης είναι σπουδαίο για το προσδιορισμό του θερμικού (ενεργειακού) ισοζυγίου της.

Χαρακτηριστικές τιμές επιφανειών παρουσιάζονται στον πίνακα (2.2).

Πίνακας 2.2 :Τιμές Albedo χαρακτηριστικών επιφανειών

Είδος επιφάνειας	Albedo (%)
χιόνι	79-95
Πάγος	30-40
Πυκνή νέφωση	60-90
Αραιή νέφωση	30-50
Βρεγμένη άμμος	20-30
Στεγνή άμμος	35-45
Πέτρα	17-27
Άσφαλτος	5-10

www.eoearth.org/article/Albedo - 21 , www.geograffrlaget.dk/course/ENGLISH/basicvejrstat.html

2.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Με κριτήριο την πηγή ενέργειας, οι οργανισμοί κατατάσσονται σε φωτοσυνθετικούς και χημικοσυνθετικούς.

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί παίρνουν την απαιτούμενη ενέργεια από το ηλιακό φως, με τη διεργασία της φωτοσύνθεσης.

2.2.1 Η ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Κατά τη φωτοσύνθεση η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική, με τη διέγερση των ηλεκτρονίων της χλωροφύλλης από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας. Ταυτόχρονα, τα φωτόνια προκαλούν ένα δεύτερο φαινόμενο, τη φωτόλυση του νερού και πάλι δια μέσου της χλωροφύλλης. Η διάσπαση του H₂O δίνει οξυγόνο το οποίο απελευθερώνεται στο περιβάλλον, ενώ το υδρογόνο χρησιμοποιείται για τη σύνθεση οργανικών ενώσεων.

Οι αντιδράσεις της πρώτης φάσης της φωτοσύνθεσης καταλήγουν στην παρασκευή γλυκόζης, σύμφωνα με το γενικό σχήμα:



Στη συνέχεια, τα μόρια της γλυκόζης ενώνονται με άζωτο και άλλες ουσίες και έτσι προκύπτουν σύνθετες οργανικές ενώσεις.

Η ταχύτητα φωτοσύνθεσης εξαρτάται από την ένταση του ηλιακού φωτός.

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί (φυτικοί) στο θαλάσσιο οικοσύστημα είναι το φυτοπλαγκτόν (Διάτομα, Δινομαστιγωτά), τα μικροσκοπικά φύκη που αιωρούνται στη μάζα του νερού και τα βενθικά φύκη που είναι εδραιωμένα στον πυθμένα. Αύξηση Διατόμων ακολουθεί αύξηση ζωοπλαγκτόν σε σχέση και με την εποχή άνοιξη - καλοκαίρι (Russell & Hunter 1970).

2.2.2 Η ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Κάθε ζωντανός οργανισμός αλληλεπιδρά πολλαπλώς με το περιβάλλον του. Τα διάφορα χαρακτηριστικά μεγέθη που υπεισέρχονται στη μελέτη αλληλεπίδρασης ονομάζονται παράγοντες του περιβάλλοντος και διακρίνονται σε φυσικούς, όπως οι ακτινοβολίες, ο άνεμος, η θερμοκρασία του αέρα ή του νερού, σε χημικούς όπως η συγκέντρωση O_2 , CO_2 , θρεπτικών αλάτων και σε έμβιους, όπως η παρουσία οργανισμών του ίδιου ή διαφορετικού είδους.

Οι φυσικοί και χημικοί παράγοντες διαμορφώνουν το αβιοτικό, ενώ οι έμβιοι παράγοντες το βιοτικό περιβάλλον. Στα υδατικά οικοσυστήματα οι σημαντικότεροι φυσικοί παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των οργανισμών είναι η θερμοκρασία και η ακτινοβολία.

Η θερμοκρασία είναι ο πιο μετρημένος παράγοντας του φυσικού περιβάλλοντος και αποτελεί κύριο ρυθμιστικό παράγοντα της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ περιβάλλοντος και οργανισμού.

Σχετικά με την ανταπόκριση των οργανισμών στη θερμοκρασία, παρατηρούνται τα ακόλουθα.

Για κάθε οργανισμό υπάρχει ένα διάστημα θερμοκρασίας μέσα στο οποίο μπορεί να ζήσει.

Για τα περισσότερα φυτά ένα συνηθισμένο μέγιστο είναι οι $45^{\circ}C$ και ένα συνηθισμένο ελάχιστο οι $10^{\circ}C$. Η ταχύτητα φωτοσύνθεσης γενικά αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι ένα όριο, μετά από το οποίο μειώνεται.

Η απορρόφηση μέρους του ηλιακού φωτός από τα φυτά και τα άλγη οδηγεί στο φαινόμενο της φωτοσύνθεσης, που αποτελεί το σημαντικότερο αποτέλεσμα της δράσης της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στους οργανισμούς.

Το ίδιο συμβαίνει στα φωτοαυτότροφα αερόβια και αναερόβια βακτήρια που φωτοσυνθέτουν με μικρότερο μήκος κύματος φως.

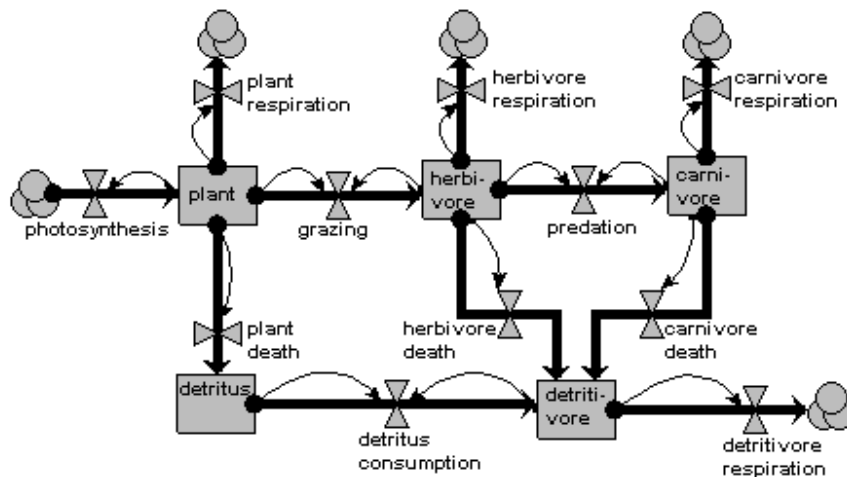
Η ηλιακή ακτινοβολία κατά ένα μέρος ανακλάται από την επιφάνεια του, το υπόλοιπο μέρος εισχωρεί στο νερό, αλλά σταδιακά απορροφάται από τα μόρια του, τους υδρόβιους οργανισμούς και τις διαλυμένες και αιωρούμενες ουσίες, με αποτέλεσμα η έντασή της να ελαττώνεται εκθετικά με το βάθος.

2.2.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.2.4 Η ΡΟΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑ

Η ροή ενέργειας είναι βασική οικολογική έννοια με ενοποιητικό ρόλο ανάμεσα στις επιμέρους βιολογικές μελέτες φυτών, ζώων, μικροοργανισμών κ.λ.π. Βασίζεται στις

τροφικές σχέσεις μεταξύ των διαφόρων οργανισμών και αποτελεί την "κινητήρια δύναμη" για τη λειτουργία του κάθε οικοσυστήματος. Η ροή ενέργειας στα οικοσυστήματα δεν είναι κυκλική (Εικόνα 2.4), αλλά έχει πάντα μία μόνο κατεύθυνση, που ορίζεται από τη μετατροπή διαφόρων μορφών ενέργειας (ηλιακή, χημική κ.λ.π.) σε υποβαθμισμένη μορφή ενέργειας (θερμότητα). Η διακοπή της ροής ενέργειας σ' ένα οικοσύστημα συνεπάγεται την άμεση κατάρρευση της οργάνωσής του και την σταδιακή μετατροπή του σε ανόργανη ύλη.



www.simulistics.com/examples/energy/energy.htm

Εικόνα 2.4: Ροή ενέργειας και ύλης

Μόνη πηγή ενέργειας για τη Βιόσφαιρα, εκτός από ελάχιστα οικοσυστήματα που προμηθεύονται ενέργεια από χημικές ενώσεις χωρίς την ύπαρξη φωτός, είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η δέσμευση και εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται από τα φυτά, τα άλγη, και ορισμένα βακτήρια, με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Στην επιφάνεια της Γης φθάνει ηλιακή ενέργεια που κυμαίνεται, γενικά, από 0-1,2 cal/min/cm². Υπολογίζεται ότι περίπου το 1-2% από την συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω στη Γη δεσμεύεται από τη Βιόσφαιρα.

2.2.5 Η ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ

Κάθε παράγων που τείνει να μειώσει τη δυνατότητα αύξησης της βιομάζας σ' ένα οικοσύστημα λέγεται περιοριστικός παράγων. Η περιοριστική του δυνατότητα μπορεί να έχει σχέση με την ενέργεια, τα θρεπτικά υλικά, τις αβιοτικές συνθήκες ή τη βιοκοινότητα. Η ιδέα ότι οι οργανισμοί μπορεί να ελέγχονται από τον πιο αδύνατο κρίκο της αλυσίδας των αναγκών τους οφείλεται στον Justus von Liebig (1840) και είναι γνωστή ως «νόμος του ελαχίστου». Σύμφωνα με αυτόν η ποσότητα ζωντανής ύλης σε δεδομένο περιβάλλον περιορίζεται από εκείνο τον παράγοντα που

χαρακτηρίζεται από την μικρότερη, αναλογικά διαθεσιμότητα, υπό την προϋπόθεση ότι δεν παρεμβαίνουν άλλοι αρνητικοί παράγοντες. Έτσι ο περιοριστικός παράγοντας σε μια έρημο, αλλά και σε πολλά χερσαία οικοσυστήματα είναι το νερό.

Η πρωτογενής παραγωγή σε πολλά λιμνοθαλάσσια οικοσυστήματα εξαρτάται από την ηλιακή ενέργεια, π.χ στη λιμνοθάλασσα της Βενετίας η πρωτογενής παραγωγή περιορίζεται από την θερμοκρασία.

Γενικώς, ο περιοριστικός παράγοντας είναι μόνο ένας σε κάθε τμήμα και φάση του οικοσυστήματος και μπορεί να αντικατασταθεί από άλλον, αν οι συνθήκες αλλάξουν.

Η ενδεχόμενη απουσία περιοριστικού παράγοντα σε κάποια χρονική στιγμή θα οδηγούσε το αντίστοιχο τμήμα του οικοσυστήματος σε κατάσταση εκθετικής αύξησης.

Η απόδοση των παραγωγικών οργανισμών σε υδατικά οικοσυστήματα, δηλαδή η πρωτογενής παραγωγικότητα, εξαρτάται από τους εξής παράγοντες, ένας από τους οποίους μπορεί, κατά περίπτωση, να γίνει ο περιοριστικός παράγοντας :

- Η ένταση του φωτός, που είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους, του κλίματος, του ανάγλυφου, του προσανατολισμού, του βάθους και της διαφάνειας του νερού κλπ. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα άλγη και τα υδρόβια φυτά δεν επιζούν σε βάθος μεγαλύτερο από 200 μέτρα, διότι το φως δε μπορεί να εισχωρήσει εκεί και η φωτοσύνθεση είναι αδύνατη.
- Η θερμοκρασία.
- Η συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων ή ιχνοστοιχείων στο νερό.
- Οι δυσμενείς επιδράσεις από τα παράσιτα, τη ρύπανση ή άλλες ανθρωπογενείς επεμβάσεις.

Σε χερσαία οικοσυστήματα σημαντικοί παράγοντες είναι επίσης:

- Η υγρασία.
- Η ποιότητα του εδάφους και η παρουσία θρεπτικών αλάτων ή ιχνοστοιχείων.

Η συνολική ηλιακή ενέργεια που μετατρέπεται σε χημική ενέργεια με τη φωτοσύνθεση, δηλαδή η ακαθάριστη πρωτογενής παραγωγή για ολόκληρη τη Βιόσφαιρα, είναι της τάξεως των 10^{18} Kcal/έτος. Με αφαίρεση της αναπνοής, προκύπτει η συνολική καθαρή πρωτογενής παραγωγή, ίση περίπου με τα 70% της προηγούμενης, οφείλεται περίπου κατά τα 2/3 στα χερσαία και κατά το 1/3 στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η καθαρή πρωτογενής παραγωγή είναι η διαθέσιμη ενέργεια για τις τροφικές αλυσίδες της Βιόσφαιρας.

Γενικά, τα παραγωγικότερα χερσαία οικοσυστήματα βρίσκονται στις περιοχές του Ισημερινού, όπου η ηλιοφάνεια και η υγρασία είναι αυξημένες. Αντίθετα, τα παραγωγικότερα θαλάσσια οικοσυστήματα βρίσκονται μακριά από τον Ισημερινό, σε σημεία όπου συναντιούνται θαλάσσια ρεύματα και γενικότερα όπου υπάρχουν ανοδικές κινήσεις του νερού που φέρνουν τα θρεπτικά άλατα από το βυθό στην επιφάνεια.

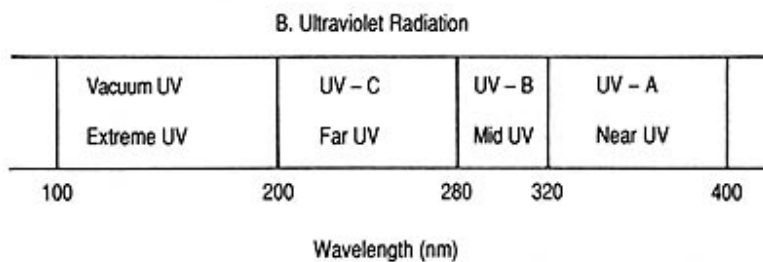
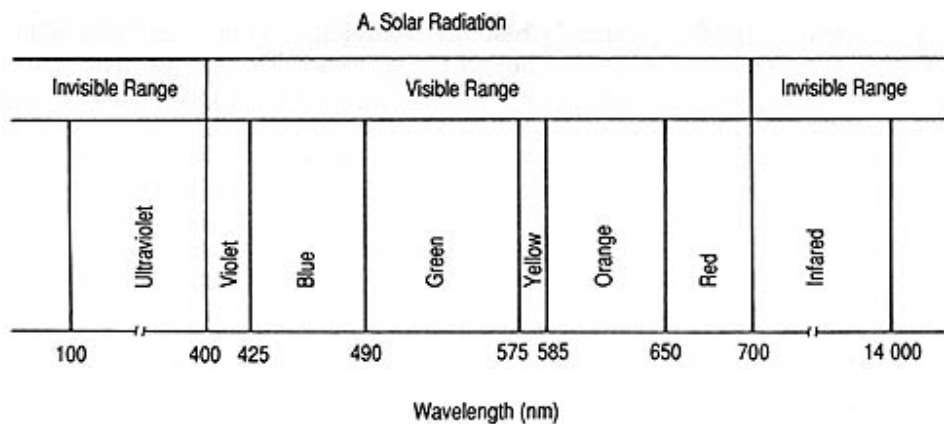
2.3 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.3.1 ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο έχει ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Θα μπορούσε να χωριστεί σε δυο μεγάλες περιοχές σε σχέση με την ικανότητα των ατόμων, σε ιονίζουσα ακτινοβολία (ακτίνες X και γάμα) και μη ιονίζουσα ακτινοβολία (UVR, το ορατό φως και υπέρυθρη ακτινοβολία).

Η ηλιακή ακτινοβολία χωρίζεται σε διάφορες περιοχές ή ζώνες με βάση το μήκος κύματος (Πίνακας 2.3)

Πίνακας 2.3 : Φάσμα μη ιονίζουσας (nonionizing) ηλιακής ακτινοβολίας (A) και της υπεριώδους ακτινοβολίας (B) δείχνονται κύριες ζώνες ακτινοβολίας, ονοματολογία και το μήκος κύματος με σχετικά όρια. (WHO 1979, Parmeggiani 1983, Harvey et al. 1984).



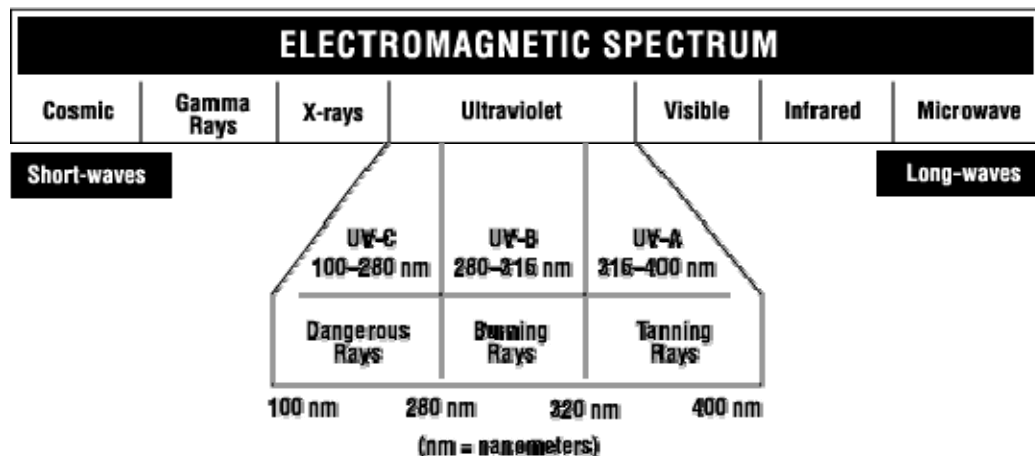
2.3.2 ΦΑΣΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα μήκη κύματος μετριοούνται στις μονάδες των νανομέτρων ή μικρομέτρων, λόγω της μικρής απόστασης μεταξύ των αντίστοιχων κορυφών κυμάτων. Ο ήλιος εκπέμπει την ακτινοβολία σε πολλά μήκη κύματος, αλλά η υψηλότερη ένταση ενέργειάς της ακτινοβολίας του εκπέμπεται στα μήκη κύματος από 0,4 έως 0,7 μικρόμετρα, αυτό είναι η ζώνη που ξέρουμε ως ορατή ακτινοβολία ή φως.

Η ενέργεια από τα μήκη κύματος μικρότερα από 0,4 μικρόμετρα είναι γνωστή ως υπεριώδη ακτινοβολία, ή UV ακτινοβολία (Εικόνα 2.5).

Η ενέργεια με τα μήκη κύματος μεγαλύτερα από 0,7 μικρόμετρα είναι γνωστή ως υπέρυθρη, ή IR ακτινοβολία. Οι άνθρωποι δεν μπορούν να δουν ούτε την UV ούτε την ακτινοβολία IR. Εντούτοις, την ακτινοβολία την αισθανόμαστε δεδομένου ότι η θερμότητα είναι ακτινοβολία IR.

Επειδή ο ήλιος είναι πολύ θερμός (περίπου 6000 Kelvin, 10000°F), εκπέμπει την ακτινοβολία στα πολύ βραχεία μήκη κύματος, (το μεγαλύτερο μέρος, σε λιγότερο από 2 μικρόμετρα). Αντίθετα, η γη έχει μια μέση θερμοκρασία περίπου 25 βαθμών C (288 K, 77°F). Επομένως, η γη εκπέμπει την ακτινοβολία των πολύ πιο μακρών μηκών κύματος, γενικά μεταξύ 5 και 25 μικρομέτρων.



http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ultravioletradiation.html

Εικόνα 2.5 : Φάσμα UV ακτινοβολίας.

2.3.3 ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ

Αυτό που αποκαλούμε "τρέχουσα ηλιακή ακτινοβολία" είναι γνωστή με τον όρο Παγκόσμια Ηλιακή Ακτινοβολία, ένα μετρό της έντασης της ακτινοβολίας του ήλιου σε μια οριζόντια επιφάνεια. Αυτό το στοιχείο (irradiance) περιλαμβάνει τόσο την άμεση δέσμη από τον ήλιο αλλά και την διάχυτη δέσμη που αντικατοπτρίζεται από το υπόλοιπο του ουρανού.

Η μέση ροή ενέργειας που δέχεται η γη από τον ήλιο με την μορφή ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο ονομάζεται ηλιακή σταθερά και είναι :

$$S = 1376 \text{ W/m}^2$$

Η μέση ενέργεια δε, που λαμβάνει η γη στη μονάδα επιφάνειας και χρόνου είναι :

$$S/4 = 344 \text{ W/m}^2$$

Το πόσο της συσσωρευμένης ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια χρονική περίοδο για μια ορισμένη επιφάνεια μετρείται σε Langleys.

$$1 \text{ Langley} = 11,622 \text{ Wattώρες ανά τετραγωνικό μέτρο (wh/m}^2)$$

$$= 3,687 \text{ BTUs ανά τετραγωνικό πόδι (BTU/ft}^2)$$

$$= 41,84 \text{ kilojoules ανά τετραγωνικό μέτρο (KJ/ m}^2)$$

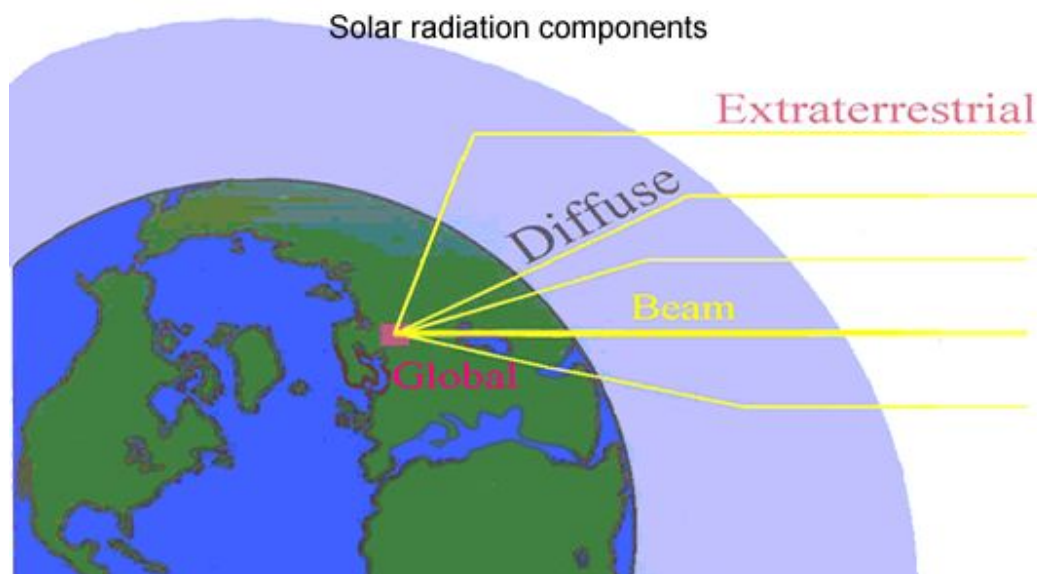
2.3.4 ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΥΤΗ ΔΕΣΜΗ

Η ακτινοβολία, που προέρχεται από την κατεύθυνση του ήλιου, ονομάζεται **άμεση ή δέσμη (direct normal irradiance or beam irradiance)**.

Μερικό από το διάχυτο ηλιακό φως διαχέεται πίσω στο διάστημα και το υπόλοιπο από αυτό φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Η διάσπαρτη ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης ονομάζεται **διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation)**.

Η συνολική ή συναφής ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια ονομάζεται **πλανητική (global irradiance)** και είναι το άθροισμα των ποσών της διάχυτης ακτινοβολίας συν της κανονικής άμεσης αφού προβληθούν επί της οριζοντίου επιφανείας (Εικόνα 2.6).



Duffie, J. A. and Beckman, W. A. 1991.

Εικόνα 2.6: Συνολική, άμεση και διάχυτη ακτινοβολία που προσπίπτει σ'ένα τόπο.

2.3.5 ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (Direct Solar Radiation)

Η ένταση της άμεσης ακτινοβολίας (I_{DN}) σε μια επιφάνεια υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{DN} = A/e^{B/mB}$$

όπου A = φαινόμενη ηλιακή ακτινοβολία λίγο έξω από την ατμόσφαιρα, σε W/m^2

B = συντελεστής ατμοσφαιρικής εξάλειψης

Η ένταση της άμεσης ακτινοβολίας (I_D) σε μια επιφάνεια, στο επίπεδο της θάλασσας είναι:

$$I_D = F_c \cdot I_{DN} \cdot \cos\theta$$

όπου F_c = συντελεστής καθαρότητας αέρα

θ = κλίση γωνία της επιφάνειας

2.3.6 ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (Diffuse Solar Radiation)

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το τμήμα εκείνο της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διάσπαρτο κάτω από τα μόρια της ατμόσφαιρας. Κατά τη διάρκεια μιας καθαρής ημέρας, το μέγεθος της διάχυτης ακτινοβολίας είναι περίπου 10 έως 14% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Μόνο η διάχυτη ακτινοβολία μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας εξαιρετικά συννεφιασμένης ημέρας. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας από διάχυση που προσπίπτει σε οποιαδήποτε επιφάνεια δίνεται από τον τύπο:

$$I_d = C \cdot I_{DN} \cdot (1 + C \cos\varphi)$$

όπου C = συντελεστής διάχυσης ακτινοβολίας

φ = κλίση γωνία της επιφάνειας

2.3.7 ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (Reflected Radiation)

Όταν η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μια επιφάνεια που είναι αδιαφανή, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται και το υπόλοιπο τμήμα αντικατοπτρίζεται σε ακτινοβολία διάχυσης και ακτινοβολία ανάκλασης ανάλογα με την τραχύτητα της επιφάνειας. Η ανακλώμενη ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, I_{ref} , υπολογίζεται από τον τύπο :

$$I_{ref} = \rho_{ref} \cdot F_{r-s} \cdot (I_D + I_d)$$

όπου : ρ_{ref} = επιφάνεια ανάκλασης.

F_{r-s} = παράγοντας εξαρτώμενος από την επιφάνεια ανάκλασης και επιφάνειας πρόσπτωσης.

I_D = άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

I_d = διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

2.3.8 ΣΥΝΟΛΟ ΕΝΤΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Το σύνολο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, είναι το άθροισμα της άμεσης ακτινοβολίας I_D , διάχυτης ακτινοβολίας I_d και ανακλώμενης I_{ref} ακτινοβολίας.

$$I_t = I_D + I_d + I_{ref}$$

2.3.9 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η Ηλιακή ακτινοβολία είναι άνισα κατανεμημένη σε ολόκληρο τον κόσμο λόγω των διάφορων μεταβλητών, όπως το ηλιακό υψόμετρο, το οποίο συσχετίζεται με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή, και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζονται από την νεφοκάλυψη και το βαθμό της ρύπανσης. Οι παράμετροι αυτές και το ποσό της άμεσης δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια περιοχή μπορούν να βοηθήσουν ώστε να καθοριστούν γεωγραφικές περιοχές ηλιακής ενέργειας για το Βόρειο Ημισφαίριο.

Ίδιοι όροι ισχύουν και για το Νότιο Ημισφαίριο (Acra et al. 1984).

-Η πιο ευνοϊκή ζώνη (15-35° Β) περιλαμβάνει πολλά από τα αναπτυσσόμενα έθνη στη βόρεια Αφρική και νότια τμήματα της Ασίας.

Έχει πάνω από 3000 h/έτος ηλιοφάνεια και περιορισμένη κάλυψη νεφών. Περισσότερο από το 90% της ηλιακής ακτινοβολίας έρχεται ως άμεση ακτινοβολία.

-Η μετρίως ευνοϊκή ζώνη (0-15° Β), η Ισημερινή ζώνη, έχει υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία και θολότητα που τείνουν να αυξήσουν το ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σχεδόν ομοιόμορφη σε όλη τη διάρκεια του έτους με ελαφρές εποχιακές διακυμάνσεις. Η Ηλιοφάνεια, εκτιμάται σε 2500 h/έτος.

-Στην λιγότερο ευνοϊκή ζώνη (35-45 ° Β), η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικά αυξημένη λόγω των υψηλότερου γεωγραφικού πλάτους και χαμηλότερου ηλιακού υψόμετρου.

Επιπλέον, οι σκιές και η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι σημαντικοί παράγοντες που τείνουν να μειώσουν κατακόρυφα την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ωστόσο, περιοχές πέρα από τις περιφέρειες των 45° N έχουν λιγότερο ευνοϊκή προϋπόθεση για την άμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σχεδόν το μισό πόσο της ηλιακής ακτινοβολίας είναι με τη μορφή της σκεδασμένης ακτινοβολίας, η οποία είναι πιο δύσκολο να αξιοποιηθεί για χρήση.

Συμπερασματικά από τα μέχρι τώρα αναφερθέντα, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας επηρεάζεται από :

- Την θολότητα του ουρανού.
- Την ώρα της ημέρας.
- Τη γεωγραφική τοποθεσία.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια σημαντική επίδραση στο ρυθμό:

- ανταλλαγής ορμής μεταξύ ατμόσφαιρας θάλασσας.
- ανταλλαγής μαζών στον υδρολογικό κύκλο.
- ανταλλαγής θερμότητας στο θερμικό ισοζύγιο της θάλασσας.
- επιφανειακές ανταλλαγές πυκνότητας στη θάλασσα – θερμόαλη κυκλοφορία.
- Φωτοσύνθεσης από τους φυτικούς οργανισμούς -βιομάζα-
- των χημικών αντιδράσεων που παράγουν φωτοχημικό νέφος στην ατμόσφαιρα.

Τέλος παρατίθεται πίνακας (Πιν2.4) που αφορά μέσες μηνιαίες τιμές kWh/m² για κάποια ελλ. διαμερίσματα ανά μήνα το έτος 2004 από την Ε.Μ.Υ.

Πίνακας 2.4: Μέσων μηνιαίων τιμών ηλιακής ακτινοβολίας.

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m ²]	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m ²]
Ιανουάριος	91.99	85.160	92.59	91.53
Φεβρουάριος	103.74	94.492	107.72	105.99
Μάρτιος	138.94	128.34	146.85	144.58
Απρίλιος	156.97	144.38	171.17	168.03
Μάιος	179.01	166.69	197.67	194.27
Ιούνιος	176.60	166.03	195.51	192.45
Ιούλιος	184.75	176.44	200.81	198.52
Αύγουστος	184.19	176.86	195.57	193.84
Σεπτέμβριος	166.22	157.38	173.61	171.81
Οκτώβριος	139.06	131.02	141.68	140.32
Νοέμβριος	107.64	95.92	111.38	109.30
Δεκέμβριος	88.51	80.42	89.71	88.40
Μέση ετήσια	143.13	133.59	152.02	149.92

2.3.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΠΟΥ ΔΙΑΝΥΕΙ ΓΙΑ ΝΑ ΦΤΑΣΕΙ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ

Κατά μέσο όρο, η ηλιακή ακτινοβολία έξω από τα όρια της ατμόσφαιρας είναι 1376 Watts/meter² (W / m²). Αυτή η τιμή κυμαίνεται ± 3%, λόγω τροχιάς γης - ήλιου. Η μικρότερη απόσταση γης-ήλιου παρουσιάζεται την 4 Ιανουαρίου και η μεγαλύτερη την 5 Ιουλίου. Η ακριβής τιμή της ακτινοβολίας υπολογίζεται σε αυτή την περίπτωση από την σχέση :

$$I_0 = 1376 \cdot (R_{av}/R)^2 \text{ W/m}^2$$

όπου R_{av} είναι η μέση απόσταση ήλιου-γης και R είναι η πραγματική απόσταση ήλιου-γης ανάλογα με την ημέρα του έτους.

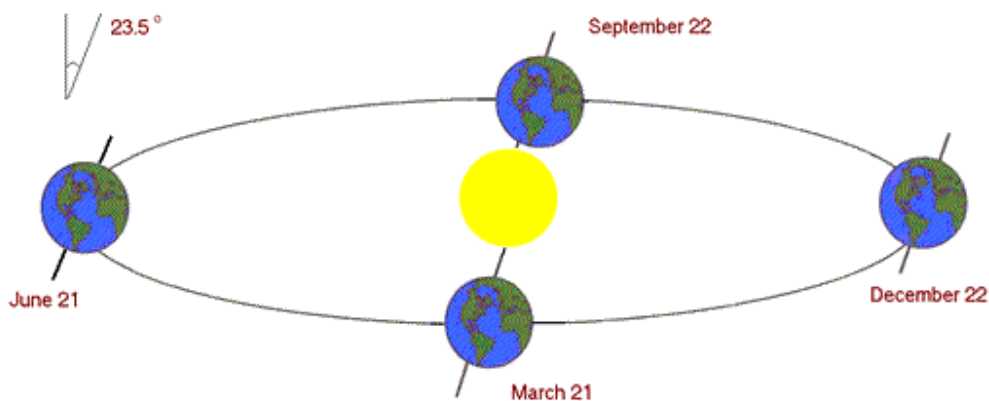
Μια προσέγγιση της εξίσωσης απόστασης γης-ήλιου είναι:

$$(R_{av} / R)^2 = 1,00011 + 0,034221 \cdot \cos(\beta) + 0,001280 \cdot \sin(\beta) + 0,000719 \cdot \cos(2\beta) + 0,000077 \cdot \sin(2\beta)$$

όπου $\beta = 2\pi n / 365$ ακτίνια και n είναι η ημέρα του έτους. Παράδειγμα, 15 Ιανουαρίου ημέρα 15 και 15 Φεβρουαρίου ημέρα 46. υπάρχουν 365 η 366 ημέρες σε ένα χρόνο ανάλογα με το αν το έτος είναι δίσεκτο.

Σημείωση.

Ο άξονας της γης έχει κλίση περίπου 23,45° σε σχέση με τη τροχιά της γύρω από τον ήλιο και καθορίζεται όπως προβάλλεται στο χώρο (Εικόνα 2.7).



Partridge, G. W. and Platt, C. M. R. 1976.

Εικόνα 2.7 : Σχηματική παράσταση της κλίσης της θέσης και της τροχιάς της γης.

Τον Ιούνιο, ο άξονας έχει τέτοιο προσανατολισμό που το βόρειο ημισφαίριο είναι στραμμένο προς τον ήλιο.

Τον Δεκέμβριο, η γη είναι από την άλλη πλευρά του ήλιου και ο άξονας της προσανατολίζει το βόρειο ημισφαίριο να είναι μακριά από τον ήλιο.

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, ο άξονας είναι κάθετος προς μια φανταστική γραμμή μεταξύ της γης και του ήλιου.

Όπως προβάλλεται ο ήλιος είναι υψηλότερα στον ουρανό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και χαμηλότερα στον ουρανό καθώς πλησιάζει ο χειμώνας. (Σημείωση όταν είναι καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο έχει χειμώνα στο νότιο ημισφαίριο και αντίστροφα.) Η κλίση του ήλιου (**declination of the sun**) είναι η γωνία μεταξύ ενός επιπέδου κάθετου προς τη γραμμή μεταξύ της γης και του ήλιου και του άξονα της γης. Ο τύπος υπολογισμού για την κλίση του ήλιου είναι :

$$\delta=23,45\pi/180*\sin(2\pi*(284+n)/365)$$

2.4 ΕΙΔΗ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

2.4.1 ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ

2.4.1.1 ΘΕΩΡΕΙΑ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Το 1821, ο Thomas Seebeck, ανακάλυψε ότι ένα μικρό ηλεκτρικό ρεύμα θα ρέει σε ένα κλειστό κύκλωμα που αποτελείται από δύο ανόμοιους μεταλλικούς αγωγούς όταν οι συνδέσεις των άκρων τους είναι σε διαφορετική θερμοκρασία. Αυτή η επίδραση καλείται θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή επίδραση Seebeck.

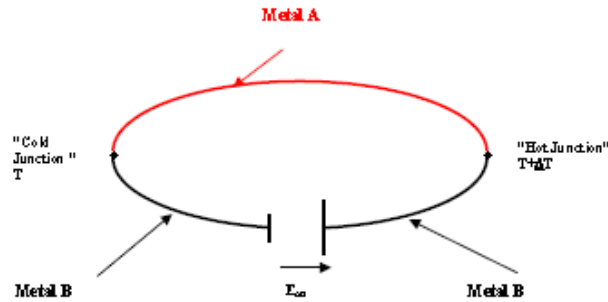
Οποιοδήποτε φαινόμενο που περιλαμβάνει μια εσωτερική μετατροπή της θερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να οριστεί ως ένα θερμοηλεκτρικό αποτέλεσμα.

Τα δύο ανόμοια μέταλλα που συνδέονται παράλληλα αποτελούν ένα θερμοηλεκτρικό ζεύγος (Εικόνα 2.8). Η ηλεκτρεγερτική δύναμη emf (V), που εμφανίζεται στο ανοικτό κύκλωμα είναι για να εμποδίσει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που δημιουργείται λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας των άκρων του.

Εάν το κύκλωμα είναι ανοικτό η emf που δημιουργείται καλείται E_{AB} , ή τάση Seebeck και είναι ανάλογη προς τη διαφορική θερμοκρασία ΔT (K) μεταξύ των δύο συνδέσεων.

$$E_{AB} = S_{AB} \cdot \Delta T \quad (2-1)$$

όπου το S_{AB} (V/K) καλείται συντελεστή Seebeck.



s.weckmann 1997

Εικόνα 2.8 : Θερμοηλεκτρικό ζεύγος.

Τα θερμοστοιχεία (αγωγοί) A B, δημιουργούν το κύκλωμα που διαμορφώνει το θερμοηλεκτρικό ζεύγος. Το θερμοστοιχείο A είναι θετικός αγωγός όσον αφορά το B, εάν το ρεύμα ρέει από το A προς στο B στην ψυχρή σύνδεση.

Με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, ένα θερμοστοιχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας θερμότητας για να μετρήσει μία θερμική ακτινοβολία και λέγεται Thermopile.

Η Thermopile αποτελείται από πολλά θερμοηλεκτρικά ζεύγη που συνδέονται ηλεκτρικά στη σειρά (για να αυξηθεί η E_{AB}).

Η απορρόφηση της θερμικής ακτινοβολίας από μια από τις συνδέσεις των θερμοηλεκτρικών ζευγών, που λέγεται ενεργός σύνδεση, αυξάνει τη θερμοκρασία της, η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ της ενεργού σύνδεσης και μιας σύνδεσης αναφοράς (που είναι σε σταθερή θερμοκρασία) παράγει μια ηλεκτρεγερτική δύναμη ανάλογη προς τη διαφορική θερμοκρασία που δημιουργήθηκε.

2.4.1.2 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

Εξετάζουμε το κύκλωμα στην (Εικόνα 2.8), όπου η ψυχρή σύνδεση διατηρείται σε θερμοκρασία T και η θερμή σύνδεση σε θερμοκρασία T+ΔT. Εάν η emf που παράγεται σε αυτό το κύκλωμα είναι E_{AB} (V), η θερμοηλεκτρική δύναμη ορίζεται ως η αλλαγή emf ανά βαθμό Kelvin, dE_{AB}/dT (V/K), έτσι ώστε η ηλεκτρική τάση δίνεται από

$$E_{AB} = (dE_{AB} / dT) \cdot \Delta T \quad (2-2)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και η dE_{AB} / dT καλείται θερμοηλεκτρική ισχύ οι μονάδες της δεν είναι ισχύος (W) αλλά βολτ ανά Kelvin (V/K).

Εάν λάβει κάποιος υπόψη του τη διατήρηση ενέργειας στο σύστημα που θεωρήθηκε ως αναστρέψιμη μηχανή, τη θερμότητα που απορροφήθηκε ή που ελευθερώθηκε στις συνδέσεις και τη θερμότητα που απορροφήθηκε ή ελευθερώθηκε μέσα στους αγωγούς, κατά την οποία ένα ρεύμα I (A) κυκλοφορεί, μπορεί η εξίσωση να γραφτεί ως :

$$(dE_{AB}/dT) \cdot \Delta T I = P_{AB}(T+\Delta T) \cdot I - P_{AB}(T) + (\sigma_B - \sigma_A) \cdot \Delta T \cdot I \quad (2-3)$$

όπου $P_{AB}(T + \Delta T)I$ (W) είναι η θερμότητα που απορροφάται στην θερμή σύνδεση
 $P_{AB}(T)I$ (W) είναι η θερμότητα που ελευθερώνεται στην ψυχρή σύνδεση,
 $\sigma_B \Delta T I$ (W) είναι η θερμότητα που απορροφάται στον αγωγό B
και $\sigma_A \Delta T I$ (W) η θερμότητα που ελευθερώνεται στον αγωγό A.
Εάν απλοποιήσουμε την παραπάνω εξίσωση με το να διαιρέσουμε με το I και ΔT
παίρνουμε το θεμελιώδες θεώρημα του θερμοηλεκτρισμού.

$$\frac{dE_{AB}}{dT} = \frac{dP_{AB}}{dT} + (\sigma_B - \sigma_A) \quad (2-4)$$

(V/K) (V/K) (V/K)

Αυτή η εξίσωση, που είναι ομοιογενής σε V/K, δίνει το ηλεκτρικό αποτέλεσμα Seebeck.

Πραγματοποιώντας τους αναγκαίους μετασχηματισμούς και διαφοροποίηση στην παραπάνω εξίσωση και ολοκλήρωση, παίρνουμε για τα κλειστά θερμοηλεκτρικά κυκλώματα:

$$\frac{dE_{AB}}{dT} = S_A - S_B = S_{AB}$$

(2-5)

Η εξίσωση (2,5) δείχνει ότι η θερμοηλεκτρική ισχύ ενός θερμοηλεκτρικού ζεύγους μπορεί να εκφραστεί από την άποψη των συντελεστών Seebeck των μερών της.

Όπου S_A, S_B είναι οι απόλυτοι συντελεστές Seebeck (S_{sc}) κάθε ενός από τα υλικά των θερμοηλεκτρικών ζευγών ή των θερμοστοιχείων, του A και του B.

Μετά από μια δεύτερη ολοκλήρωση πάνω για ένα κλειστό θερμοηλεκτρικό κύκλωμα, η εξίσωση γίνεται:

$$E_{AB} = \int S_A dT - \int S_B dT = \int S_{AB} dT \quad (2-6)$$

Από την εξίσωση 2,6 τρεις νόμοι των θερμοηλεκτρικών κυκλωμάτων μπορούν να προκύψουν:

- (1) ο νόμος των ομοιογενών αγωγών,
- (2) ο νόμος των ενδιάμεσων αγωγών και
- (3) ο νόμος των διαδοχικών θερμοκρασιών.

Ο νόμος των ομοιογενών αγωγών δηλώνει ότι ένα θερμοηλεκτρικό ρεύμα δεν μπορεί να διατηρηθεί απλώς από την εφαρμογή θερμότητας σε έναν ομοιογενή αγωγό, ανεξάρτητα από διατομικές παραλλαγές. Εάν ένα θερμοηλεκτρικό κύκλωμα διαμορφώνεται από δύο αγωγούς του ίδιου ομοιογενούς υλικού ($S_A = S_B$) καμία emf δεν υπάρχει σε αυτό το κύκλωμα.

Ο νόμος των ενδιάμεσων αγωγών δηλώνει ότι το ποσό των απόλυτων συντελεστών Seebeck των ανόμοιων αγωγών είναι μηδέν όταν καμία διαφορά θερμοκρασίας δεν υπάρξει μεταξύ των συνδέσεων. Καμία emf δεν θα παραχθεί σε ένα κύκλωμα φτιαγμένο από ενδιάμεσα υλικά εάν καμία διαφορά θερμοκρασίας δεν υπάρξει μεταξύ των δύο ακρών των υλικών. Αυτός ο νόμος δείχνει ότι η προσθήκη ενός τρίτου θερμοστοιχείου C σε ένα ζευγάρι των θερμοστοιχείων A και B δεν έχει έννοια εάν οι συνδέσεις A-C και C-B είναι στην ίδια θερμοκρασία.

Ο νόμος των διαδοχικών θερμοκρασιών δηλώνει ότι η emf ενός θερμοηλεκτρικού ζεύγους μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα των emf των διαδοχικών διαστημάτων της θερμοκρασίας. Δηλ.

$$E_{AB} = \int_{T_0}^{T_1} (S_A - S_B) dT + \int_{T_1}^{T_2} (S_A - S_B) dT + \int_{T_2}^{T_3} (S_A - S_B) dT = \int_{T_0}^{T_3} (S_A - S_B) dT .$$

(2-7)

2.4.1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΣΤΗΛΗΣ

Η λειτουργία των θερμοηλεκτρικών ζευγών είναι βασισμένη στο φαινόμενο Seebeck κατά συνέπεια, το ποσό του ηλεκτρικού δυναμικού που παράγεται μπορεί να προσομοιωθεί ως μέτρο της διαφοράς θερμοκρασίας, έτσι το θερμοηλεκτρικό ζεύγος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανιχνευτής της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε ανοικτή λειτουργία η emf που παράγεται είναι χαμηλή, της τάξεως του ενός δεκάτου του micro volt ανά βαθμό Κελσίου διαφοράς θερμοκρασίας. Αυτό εξαρτάται από το είδος του μετάλλου των θερμοστοιχείων που χρησιμοποιείται, μερικά δίνουν μια τάση Seebeck ανάλογη και σχεδόν γραμμική με τη θερμοκρασία.

Προκειμένου να αυξηθεί η τάση παραγωγής, η ζευγάρια συνδέσεων μπορούν να συνδεθούν στη σειρά. Η απόκριση αυξάνεται από το αριθμό n των ζευγαριών σύνδεσης των θερμοηλεκτρικών ζευγών δηλαδή :

$$\Delta V = nS \cdot \Delta T \quad (2-8)$$

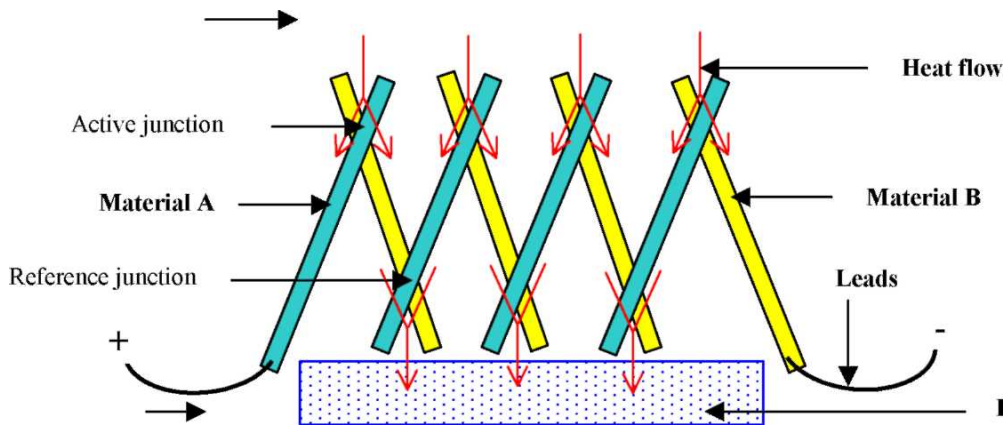
Όπου S σε (T)

Με τη διατήρηση μιας από τις συνδέσεις σε μια γνωστή σταθερή θερμοκρασία, η άλλη σύνδεση χρησιμοποιείται ως σύνδεση μέτρησης και εκτίθεται σε θερμοκρασία που θέλουμε να υπολογίσουμε. Η σύνδεση που διατηρείται σε γνωστή θερμοκρασία καλείται σύνδεση αναφοράς ενώ η άλλη καλείται ενεργός σύνδεση.

Μια τέτοια συσκευή καλείται θερμοστήλη (thermopile). Όπως φαίνεται στη εικόνα (2.9), τα στοιχεία μιας σειράς θερμοηλεκτρικών ζευγών (εναλλασσόμενων υλικών Α και Β) τοποθετούνται μεταξύ μιας πηγής θερμότητας και ενός απαγωγέα θερμότητας.

Η θερμή σύνδεση μπαίνει σε περιβάλλον υψηλής θερμοκρασίας παράγοντας μια emf στους ακροδέκτες.

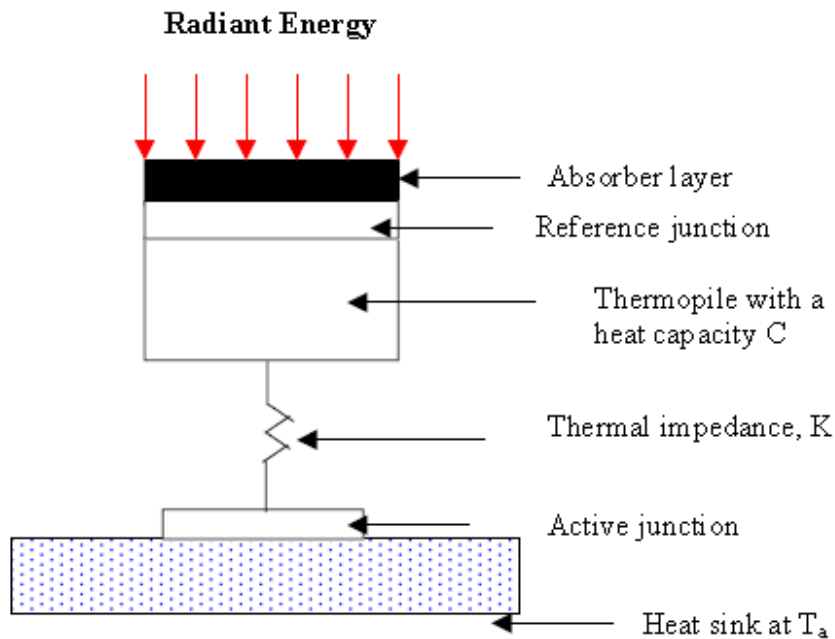
Η ενέργεια που απορροφάται στην θερμή σύνδεση (ενεργός) αποβάλλεται στο απαγωγέα θερμότητας στην ψυχρή σύνδεση (αναφοράς).



s.Weckmann 1997

Εικόνα 2.9 : Σχηματική αναπαράσταση μίας thermopile

Τα δύο σημαντικότερα μέρη όλων των θεομικών ανιχνευτών ακτινοβολίας είναι ο ργό και



ΗΣ
οχή
δεν
ρίας
στή
η²),
: 30

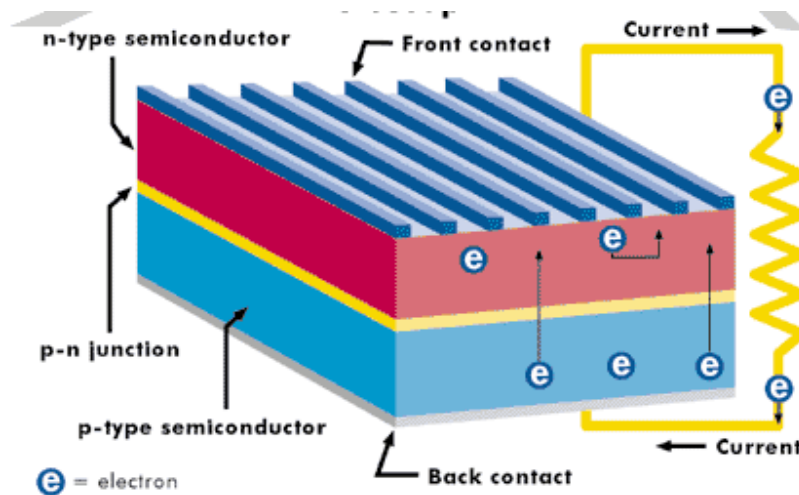
2.4.2 ΗΛΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ

2.4.2.1 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών και η καρδιά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική

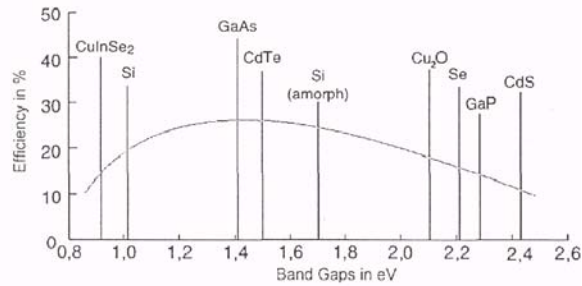
ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες.

Αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου, που καθώς δέχονται στην επιφάνεια τους την ηλιακή ακτινοβολία, εκδηλώνεται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη τους (Εικόνα 2.10). Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την ένταση ακτινοβολίας που δέχονται, ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει μέχρι 0.5-1.0 Volt και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40mA ανά cm^2 της επιφανείας του. Το είδος του ημιαγωγού που επιλέγεται ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθορίζεται με κυριότερο κριτήριο όπως θα δούμε, από την τιμή του ενεργειακού διακένου του η οποία καθορίζει και την απόδοση του στοιχείου. Ως συντελεστής απόδοσης ή απλούστερα ως απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του. Στην εικόνα (2.11) βλέπουμε ότι οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου 25% και μπορούν να πραγματοποιηθούν με φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1.5eV.



http://ucsusa.wsm.ga3.org/clean_energy/renewable_energy_basics/how-solar-energy-works.html

Εικόνα 2.10: Σχηματική αναπαράσταση ηλιακού κύτταρου κρυσταλλικού πυριτίου.



Εικόνα 2.11: Θεωρητικά μέγιστα επίπεδα της απόδοσης διαφόρων ηλιακών κυττάρων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένα σε κανονικές συνθήκες.

Το πυρίτιο αποτελεί το βασικότερο υλικό για την κατασκευή ηλιακών κυττάρων μια και αποτελεί το κυρίαρχο υλικό στην κατασκευή ημιαγωγών. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία από πυρίτιο κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας είτε μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά *wafers*, είτε λεπτές μεμβράνες πυριτίου (άμορφο).

2.4.2 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΤΥΠΟΥ P-N

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κατασκευάζονται από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δεν διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι υποβαθμισμένος ενεργειακά.

Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομα του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά σθένους απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια $h\nu$ μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ($E_g > h\nu$), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ($E_g < h\nu$), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να το διεγείρει προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

2.4.2.3 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά.

Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Επίσης ένας παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων.

Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της τάσης και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Για σταθερές όμως συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας δεν συμβαίνει αυτό.

Διαφορετικά από τις thermopiles, τα ηλιακά κύτταρα είναι φασματικά ευαίσθητα. Τα φωτόνια με μήκη κύματος μεγαλύτερα από 1050 nm δεν απορροφώνται καθόλου από τα κύτταρα πυριτίου. Καθώς επίσης είναι ευαίσθητα και στις αλλαγές συγκέντρωσης υδρατμών.

2.4.3 ΟΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ (thermistors)

Η θερμοκρασία επηρεάζει άμεσα την μεταβολή της ειδικής αντίστασης των ημιαγωγών καθώς και την αγωγιμότητά τους. Έτσι, όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία η ειδική αντίσταση ελαττώνεται, ενώ αυξάνει η αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Στα περισσότερα μέταλλα γίνεται το αντίθετο. Δηλαδή, με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε και αύξηση της ειδικής αντιστάσεως.

Η ειδική αγωγιμότητα των ημιαγωγών μπορεί επίσης να αυξηθεί με την πρόσπτωση φωτεινής ενέργειας πάνω σ' αυτούς. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ενέργειες των φωτονίων του οπτικού φάσματος, από το ερυθρό μέχρι και το ιώδες, κυμαίνονται περίπου από 1.6eV μέχρι και 3.3 eV αντίστοιχα.

Επομένως και τα ασθενέστερα από τα φωτόνια μπορούν εύκολα να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από τους δεσμούς ενός καθαρού ημιαγωγού με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν οπές και ακόμα, φορείς οπών και ηλεκτρονίων από τις προσμίξεις.

Έτσι, η αύξηση των φορέων αυτών οδηγεί στην αύξηση της ειδικής αγωγιμότητας.

Τις ιδιότητες αυτές εκμεταλλευόμαστε στην ηλεκτρονική τεχνολογία για την κατασκευή ειδικών αντιστάσεων, όπως είναι τα θερμίστορ και οι φωτοαντιστάσεις.

Οι αντιστάσεις αυτές ανήκουν στην κατηγορία των μη γραμμικών αντιστάσεων και είναι ειδικές αντιστάσεις που δεν υπακούν στο νόμο του ΟΗΜ, αλλά μεταβάλλουν την αντίστασή τους σε συνάρτηση με τη μεταβολή διαφόρων μεγεθών, όπως είναι η θερμοκρασία, το φως και η τάση.

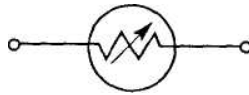
Οι αντιστάσεις που μεταβάλλουν την αντίστασή τους με την θερμοκρασία είναι γνωστές σαν αντιστάσεις θερμίστορ (Thermistor), αυτές που μεταβάλλουν την τιμή τους με το φως σαν φωτοαντιστάσεις (Light Dependent Resistor, LDR) και οι αντιστάσεις, που μεταβάλλουν την αντίστασή τους με την τάση είναι οι γνωστές βαρίστορ (Voltage Dependent Resistance VDR).

2.4.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Οι αντιστάσεις θερμίστορ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Στις αντιστάσεις που μικραίνει η αντίσταση τους με την αύξηση της θερμοκρασίας, γνωστές ως NTC με αρνητικό θερμικό συντελεστή (negative temperature coefficient) και στις PTC θετικού θερμικού συντελεστή (positive temperature coefficient) που αυξάνει η αντίσταση τους με την αύξηση της θερμοκρασίας.

NTC θερμίστορ

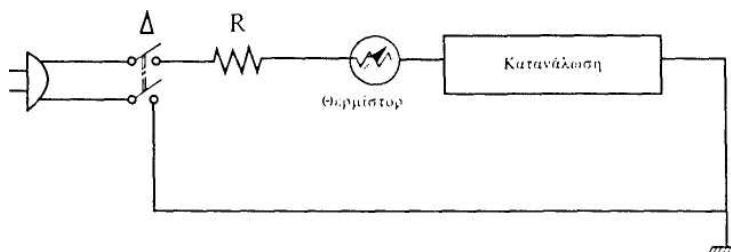
Τα NTC θερμίστορ (Negative Temperature Coefficient Thermistors) είναι αντιστάσεις με αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας. Ο συμβολισμός ενός NTC θερμίστορ φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (2.12).



Εικόνα 2.12: Συμβολισμός θερμίστορ.

Η αρχή λειτουργίας των NTC καθώς και των PTC θερμίστορ, βασίζεται στις ιδιότητες των ημιαγωγών. Το ρεύμα στους κρυστάλλους παράγεται λόγω θερμικής αναταραχής στον ημιαγωγό. Έτσι, μπορούμε να κατασκευάσουμε έναν ημιαγωγό, που η αντίσταση του να ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Τα NTC θερμίστορ κατασκευάζονται από υλικά συντήξεως οξειδίων του μαγνησίου, νικελίου, κοβαλτίου, τιτανίου, χαλκού, σιδήρου και ουρανίου.

Τα NTC θερμίστορ χρησιμοποιούνται ως προστατευτικές αντιστάσεις σε διάφορα κυκλώματα για την εξομάλυνση ανωμαλιών που προέρχονται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Τα συναντούμε στους δέκτες TV, στα ηλεκτρονικά κυκλώματα αυτοκινήτων, σε σειρά με διάφορα κυκλώματα τα οποία θέλουμε να προστατεύσουμε από ισχυρά ρεύματα που αναπτύσσονται από τις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας, κ.α. Ένα τυπικό κύκλωμα συνδεσμολογίας για την προστασία μιας κατανάλωσης φαίνεται στην (Εικόνα 2.13).



Εικόνα 2.13 Τρόπος σύνδεσης θερμίστορ NTC σε σειρά με κύκλωμα.

Άλλες εφαρμογές των θερμίστορ μπορούμε να βρούμε στα πυρόμετρα, στους ανιχνευτές διαφυγής αερίων, σε διάφορες συσκευές θερμικής προστασίας, σε κυκλώματα αγγελίας έναρξης πυρκαγιάς, σε διάφορους αυτόματους θερμικούς διακόπτες, σε πολλά όργανα ελέγχου στάθμης και ροής υγρών κ.ά.

Οποιαδήποτε βλάβη των θερμίστορ οδηγεί σε μόνιμη αύξηση της αντίστασης τους και επομένως σε αντικατάστασή τους. Ο έλεγχος με ωμόμετρο γίνεται με δύο ωμομετρήσεις σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες.

Τα θερμίστορ έχουν μικρό μέγεθος και βάρος και μπορούν να εργάζονται τόσο σε κυκλώματα εναλλασσομένου όσο και συνεχούς ρεύματος.

PTC θερμίστορ

Τα PTC θερμίστορ (Positive Temperature Coefficient) είναι αντιστάσεις με θετικό θερμικό συντελεστή. Διαφέρουν από τα NTC στο ότι ο συντελεστής θερμοκρασίας τους είναι θετικός και μάλιστα μόνο στην περιοχή ορισμένων θερμοκρασιών, διότι σε άλλες γίνεται μηδέν ή αρνητικός. Κατασκευάζονται με ανάλογο τρόπο με τα NTC θερμίστορ από μίγματα του ανθρακικού βαρίου ή του οξειδίου του στροντίου και τιτανίου με άλλα υλικά.

Η χρήση των PTC είναι πάλι ανάλογη με τη χρήση των NTC με τη διαφορά ότι δίνουν αντίθετα αποτελέσματα.

2.4.3.2 Η ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η εξίσωση Steinhart-Hart δίνει την απόλυτη θερμοκρασία ως συνάρτηση της αντίστασης ενός θερμίστορ.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση Steinhart-Hart, μπορούμε να υπολογίσουμε τη θερμοκρασία του θερμίστορ από τη μετρούμενη αντίσταση.

2.4.3.3 Η ΕΞΙΣΩΣΗ STEINHART-HART

Η εξίσωση Steinhart-Hart είναι:

$$1/T = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3 \quad R \text{ σε } \Omega, T \text{ σε } ^\circ\text{K}$$

Οι σταθερές A, B και C μπορεί να προσδιοριστούν από πειραματικές μετρήσεις, ή μπορεί να υπολογίζονται από πίνακα δεδομένων.

Π.Χ Ένα τυπικό θερμίστορ της Omega Engineering έχει 5kΩ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και τα ακόλουθα δεδομένα.

T (^o C)	R (Ω)
0	16.330
25	5000
50	1801

Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές, έχουμε τρεις εξισώσεις σε A, B και C.

$$(1 / 273) = A+B \cdot \ln(16330)+C \cdot (\ln(16330))^3$$

$$(1 / 298) = A+B \cdot \ln(5000)+C \cdot (\ln(5000))^3$$

$$(1 / 323) = A+B \cdot \ln(1801)+C \cdot (\ln(1801))^3$$

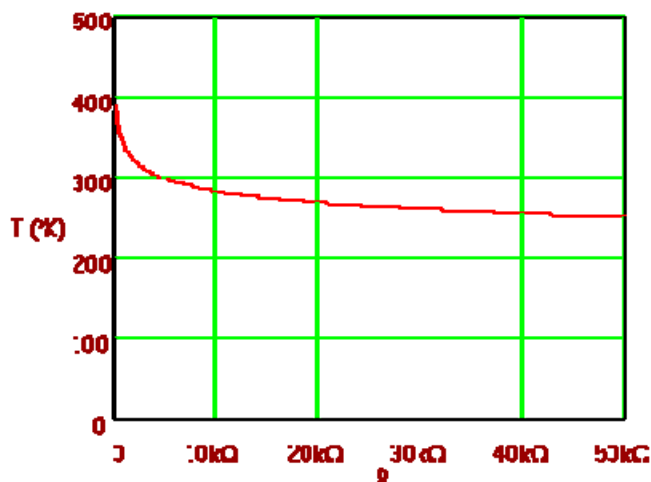
Το σύνολο αυτό των ταυτόχρονων γραμμικών εξισώσεων μπορούν να επιλυθούν για το A, B και C.

$$A = 0,001284$$

$$B = 2.364 \times 10^{-4}$$

$$C = 9.304 \times 10^{-8}$$

Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές για τις A, B και C, στην εξίσωση Steinhart-Hart θα χαράξουμε ένα διάγραμμα της αντίστασης ως προς θερμοκρασία Kelvin (σημείωση: 0°C = 273,15K) (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.14: Το διάγραμμα της αντίστασης ως προς θερμοκρασία Kelvin

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ

Αν έχουμε μια αντίσταση γνωστής τιμής, μπορούμε στη συνέχεια να λύσουμε ως προς τη θερμοκρασία. Χρησιμοποιούμε το αντίστροφο της παραπάνω εξίσωσης, και θα πάρουμε:

$$T = 1/[A+B \cdot \ln(R)+C \cdot (\ln(R))^3] \quad R \text{ σε } \Omega, T \text{ σε } ^\circ K$$

Ειδικότερα, χρησιμοποιώντας την απεικόνιση του φυσικού λογαρίθμου της αντίστασης, $\ln(R)$ ως προς την $(1/T)$ για ένα πολυώνυμο στο $\ln(R)$, αναπτύσσεται μια εξίσωση της ακόλουθης μορφής:

$$1/T = A_0 + A_1(\ln(R)) + \dots + A_N(\ln(R))^N$$

(όπου το T είναι η θερμοκρασία στον Kelvin, και A₀... A_N είναι πολυωνυμικοί συντελεστές που είναι μαθηματικές σταθερές).

Η τάξη του πολυωνύμου που χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει τη σχέση μεταξύ του R και του T εξαρτάται από την ακρίβεια του μοντέλου που απαιτείται και στη μη γραμμικότητα της σχέσης για μια ιδιαίτερη θερμική αντίσταση.

Η παραπάνω εξίσωση χρησιμοποιείται για την εσωτερική βαθμονόμηση ενός θερμίστορ σε κύκλωμα εφαρμογής.

2.4.3.4 ΘΕΡΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ (T.C.)

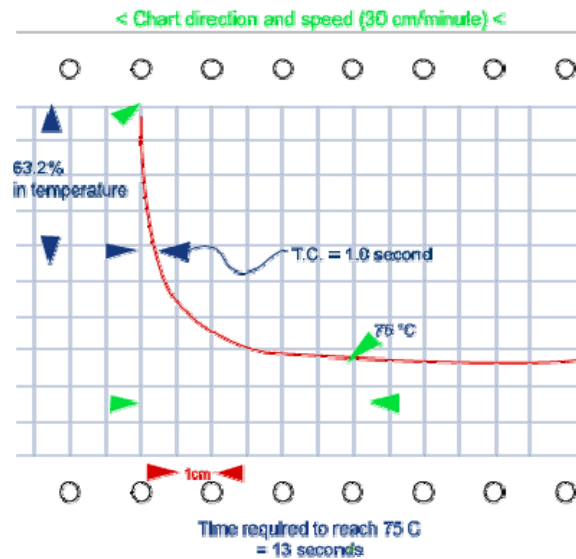
Για να ποσολογηθεί η δυναμική απόκριση, η έννοια μιας θερμικής χρονικής σταθεράς (T.C.) χρησιμοποιείται στη βιομηχανία θερμικών αντιστάσεων και καθορίζεται ως εξής:

Ο σταθερός θερμικός χρόνος για μια θερμική αντίσταση είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αλλάξει τη θερμοκρασία σώματος της κατά 63,2% μιας συγκεκριμένου διαστήματος θερμοκρασίας όταν γίνονται μετρήσεις για R₀ σε θερμικά σταθερό περιβάλλον.

Οι κυρίαρχοι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις για την T.C. μιας θερμικής αντίστασης είναι:

- Η θερμική μάζα της.
- Τοποθετήσεις η διαμορφώσεις ακροδεκτών ελέγχου (probe) ή το μοντάρισμα της σε επιφάνεια πλακέτας.
- Η θερμική αγωγιμότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται για να κολλήσουν τη θερμική αντίσταση στα probe ελέγχου.
- Το περιβάλλον στο οποίο η θερμική αντίσταση θα εκτεθεί και τα χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας του περιβάλλοντος. Χαρακτηριστικά, τα αέρια είναι λιγότερο πυκνά από τα υγρά έτσι ώστε οι θερμικές αντιστάσεις έχουν τις μεγαλύτερες χρονικές σταθερές κατά την έλεγχο της θερμοκρασίας σε ένα αεριώδες μέσο απ'ότι σε ένα υγρό.

Ο καθορισμός της θερμικής χρονικής σταθεράς προκύπτει από την εκθετική φύση του ποσοστού μεταφοράς της θερμότητας μεταξύ της θερμικής αντίστασης και του μέσου που ελέγχει (Εικόνα 2.15).



Εικόνα 2.15 : Γραφική παράσταση χρονικής σταθεράς θερμικής Αντίστασης.

2.4.3.5 ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Χαρακτηριστική ρεύματος - χρόνου (Current-time characteristic)

Είναι η σχέση σε μια ορισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταξύ του ρεύματος που διαρρέει την θερμική αντίσταση και του χρόνου, κατά την εφαρμογή ή τη διακοπή της τάσης στα άκρα της.

Σταθερά σκέδασης (Dissipation constant)

Η σταθερά σκέδασης (milliwatts ανά βαθμό C) για μια ορισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος, είναι η αναλογία αλλαγής ισχύος στην επακόλουθη αλλαγή θερμοκρασίας της.

Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (Maximum operating temperature)

είναι η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία θα λειτουργήσει για μία εκτεταμένη χρονική περίοδο με την αποδεκτή σταθερότητα των χαρακτηριστικών της. Αυτή η θερμοκρασία είναι το αποτέλεσμα της εσωτερικής ή εξωτερικής θέρμανσης, ή και των δύο, και δεν πρέπει να υπερβεί τη μέγιστη τιμή που ορίζεται.

Μέγιστη εκτιμώμενη ισχύς. (Maximum power rating)

είναι η μέγιστη τιμή ισχύος που θα φτάσει η ισχύς για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο με την αποδεκτή σταθερότητα των χαρακτηριστικών της αντίστασης.

Αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας (NTC). Negative temperature coefficient

Η θερμική αντίσταση NTC είναι μια αντίσταση της οποίας η τιμή της μειώνεται σε σχέση με την αρχική, σε μια αύξηση στη θερμοκρασία. Δηλ. $R_1 < R_0$ όταν $T_1 > T_0$

Θετικός συντελεστής θερμοκρασίας (PTC). Positive temperature coefficient
Η θερμική αντίσταση PTC είναι μια αντίσταση της οποίας η τιμή της αυξάνεται σε σχέση με την αρχική, σε μια αύξηση στη θερμοκρασία. Δηλ. $R_1 > R_0$ όταν $T_1 > T_0$

Χαρακτηριστική αναλογία αντίστασης. (Resistance ratio characteristic)
Η χαρακτηριστική αναλογία προσδιορίζει την αναλογία της αρχικής τιμής της που μετρείται σε 25°C σε εκείνη την τιμή που μετρείται σε 125°C.

Χαρακτηριστική αντίστασης-θερμοκρασίας. (Resistance-temperature characteristic) είναι η σχέση μεταξύ της τιμής αντίστασης και της θερμοκρασίας της.

Σταθερότητα (Stability)

είναι η δυνατότητα να διατηρεί τα καθορισμένα χαρακτηριστικά της μετά από εφαρμογή σε δοκιμή κάτω από ορισμένες περιβαλλοντικές ή ηλεκτρικές συνθήκες.

Τυποποιημένη θερμοκρασία αναφοράς. (Standard Reference Temperature)
είναι η θερμοκρασία σώματος (25°C) στην οποία ορίζεται η ονομαστική αντίσταση R_0 .

Χαρακτηριστική θερμοκρασίας – wattage (ισχύος). (Temperature - wattage characteristics)

είναι η σχέση σε μια καθορισμένη θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταξύ της θερμοκρασίας της και της εφαρμοσμένης ισχύος στα άκρα της.

2.5 ΓΕΦΥΡΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ – ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE

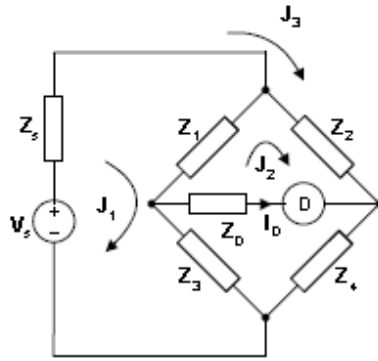
Η συνδεσμολογία των θερμικών αντιστάσεων στους αισθητήρες γίνεται σε συνδεσμολογία γέφυρας Wheatstone ή χορδής, ανάλογα τον αριθμό που ο κατασκευαστής κρίνει απαραίτητο για τον μηχανισμό μέτρησης του.

2.5.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι γέφυρες μετρήσεων χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των παραμέτρων ηλεκτρικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να διευκολύνεται η μέτρηση της επιθυμητής παραμέτρου ή η σύγκριση δύο παραμέτρων. Το κύκλωμα (Εικόνα 2.16) είναι η γενική μορφή μίας γέφυρας μετρήσεων.

Το στοιχείο υπό το σύμβολο D είναι ένα ευαίσθητο όργανο μετρήσεων, ένα γαλβανόμετρο, ένα αμπερόμετρο, ένας παλμογράφος. Η σύνθετη αντίσταση Z_D είναι η εσωτερική σύνθετη αντίσταση του οργάνου D.

Η γέφυρα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, όταν η ένδειξη του οργάνου D είναι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι το όργανο D δεν διαρρέεται από ρεύμα ή ισοδύναμα η τάση στα άκρα του είναι μηδέν. Όταν η γέφυρα ισορροπεί, ανάμεσα στις παραμέτρους των ηλεκτρικών στοιχείων που την απαρτίζουν ισχύει μία εξίσωση, που λέγεται συνθήκη ισορροπίας της γέφυρας.



Εικόνα 2.16 : Κύκλωμα γέφυρας μετρήσεων- wheatstone

Η συνθήκη ισορροπίας προκύπτει από τη σχέση $I_D = 0$.
καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η γέφυρα μετρήσεων ισορροπεί, όταν

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3 \quad \text{ή} \quad R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad (2-1)$$

Η συνθήκη ισορροπίας της γέφυρας μετρήσεων είναι ανεξάρτητη από τις σύνθετες εσωτερικές αντιστάσεις της πηγής Z_s και του οργάνου Z_D .

2.5.2 ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE

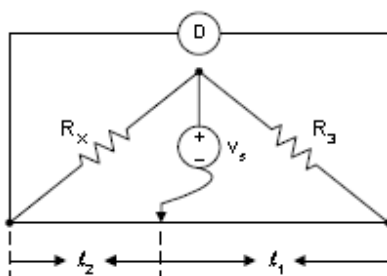
Στη γέφυρα Wheatstone οι σύνθετες αντιστάσεις Z_i είναι οι ωμικές αντιστάσεις R_i . Η γέφυρα Wheatstone χρησιμοποιείται για τη μέτρηση μικρών και μεσαίων αντιστάσεων (0,1-100k Ω) με μεγάλη ακρίβεια.

Στη θέση Z_4 τοποθετείται η άγνωστη αντίσταση R_x . Η αντίσταση R_2 είναι μεταβλητή, ώστε με τη μεταβολή της να επιτυγχάνεται η κατάσταση ισορροπίας. Ο λόγος R_1/R_3 καθορίζει την περιοχή μέτρησης της γέφυρας.

Στη γέφυρα με χορδή (Εικόνα 2.17) η συνθήκη ισορροπίας είναι:

$$R_x = (I_2/I_1) \cdot R_3 \quad (2-2)$$

Ως χορδή χρησιμοποιείται αγωγός με μεγάλη ειδική αντίσταση και μικρό θερμοκρασιακό συντελεστή π.χ. χρωμονικελίνη. Στη θέση της χορδής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ροοστάτης με δρομέα ή δύο κιβώτια αντιστάσεων.



Εικόνα 2.17: Γέφυρα με χορδή wheatstone

2.6 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.6.1 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ – ΣΧΕΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Καμία μέτρηση δεν μπορεί να θεωρηθεί απόλυτα ακριβής, γι αυτό κάθε φορά πρέπει να καθορίζονται τα όρια, μέσα στα οποία πρέπει να περιλαμβάνονται τα σφάλματα των μετρήσεων, πρέπει δηλαδή να καθορίζεται ο βαθμός προσεγγίσεως, που επιδιώκεται.

Απόλυτο σφάλμα της μετρήσεως ενός μεγέθους A ονομάζεται η διαφορά ΔA μεταξύ της τιμής, A_M , που δίνει η μέτρηση και της πραγματικής Τιμής A_P του μεγέθους. Άρα, μπορεί να γραφτεί:

$$\Delta A = A_M - A_P$$

Στην πράξη, ο καθορισμός του απόλυτου σφάλματος ΔA δεν μπορεί ποτέ να γίνει με απόλυτη ακρίβεια. Μπορεί να προσδιορισθεί το ανώτερο όριο, που θα φθάσει, με την κατάλληλη εκτίμηση των αιτίων των σφαλμάτων, με την προσεκτική ανάλυση των διαφόρων μεθόδων μετρήσεων και με την κατάλληλη εκλογή οργάνων, συσκευών, υλικών κλπ. Έτσι, το ανώτερο όριο του απόλυτου σφάλματος μπορεί να καθορισθεί από ένα άθροισμα της μορφής:

$$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n$$

Τα ΔA_1 , ΔA_2 παριστάνουν τα σφάλματα, που συμβάλλουν στο σχηματισμό του συνολικού σφάλματος ΔA .

Το μεγαλύτερο απόλυτο σφάλμα δείχνει το βαθμό αβεβαιότητας των μετρήσεων, καθώς επίσης και το ανώτερο και το κατώτερο όριο, μέσα στο οποίο περιλαμβάνεται η πραγματική τιμή των μεγεθών, που μετράμε Αυτή εκφράζεται από τη σχέση :

$$A_P = A_M \pm \Delta A$$

Είναι φανερό ότι το αποτέλεσμα μιας μετρήσεως προσεγγίζει περισσότερο την πραγματική τιμή του μεγέθους, όσο μικρότερη είναι η τιμή του απόλυτου σφάλματος, ΔA

Το απόλυτο σφάλμα δεν εκφράζει το βαθμό ακρίβειας της μετρήσεως, γιατί ο βαθμός ακρίβειας εξαρτάται, επίσης, από την τιμή του μεγέθους, που εξετάζεται.

Ο βαθμός ακρίβειας μιας μετρήσεως βρίσκεται αρκετά καλά με την εξέταση του σχετικού σφάλματος. Το σχετικό σφάλμα προσδιορίζεται με την αναφορά της ποσότητας του απόλυτου σφάλματος ΔA στην πραγματική τιμή A_{π} του μεγέθους, που εξετάζεται. Έτσι, εκφράζεται από την τιμή του σφάλματος, το οποίο παρουσιάζεται σε κάθε ξεχωριστή μονάδα του μεγέθους [σχετικό ενιαίο σφάλμα (ϵ)] . Επίσης, μπορεί να εκφραστεί επί τοις εκατό [σχετικό εκατοστιαίο σφάλμα ($\epsilon\%$)]

Κατά συνέπεια, το σχετικό ενιαίο σφάλμα (ϵ) εκφράζεται από το λόγο:

$$\epsilon = \Delta A / A_{\pi} = (A_m - A_{\pi}) / A_{\pi}$$

Ενώ, το σχετικό εκατοστιαίο σφάλμα εκφράζεται από τη σχέση:

$$\epsilon\% = \Delta A / A_{\pi} \cdot 100 = (A_m - A_{\pi}) / A_{\pi} \cdot 100$$

Μερικές φορές είναι πιο εύκολο το σχετικό σφάλμα (ϵ) να αναφέρεται στην τιμή A_m αντί, για την πραγματική, τιμή A_{π} .

Έτσι:

$$\epsilon = \Delta A / A_m = (A_m - A_{\pi}) / A_m$$

$$\epsilon\% = \Delta A / A_{\pi} \cdot 100 = (A_m - A_{\pi}) / A_{\pi} \cdot 100$$

Σε κάθε περίπτωση, η πραγματική τιμή του μεγέθους, που εξετάζουμε προκύπτει:

$$A_{\pi} = (1 - \epsilon) A_m = (100 - \epsilon\%) / 100 \cdot A_m$$

Στη σχέση αυτή ο παράγοντας $(1 - \epsilon)$, που πολλαπλασιάζεται με την: τιμή A_m , για να προκύψει η πραγματική τιμή A_{π} , ονομάζεται "συντελεστής διορθώσεως".

2.6.2 ΟΙ ΚΥΡΙΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΤΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Οι αιτίες, στις οποίες οφείλονται τα σφάλματα, τα οποία παρουσιάζονται κατά την εργασία της μετρήσεως είναι πολλές και έχουν μεταβλητή προέλευση. Σε κάθε περίπτωση, τα σφάλματα των μετρήσεων μπορούν να καταταχθούν σε δυο κατηγορίες: στα συστηματικά σφάλματα και στα τυχαία. Οι αιτίες, στις οποίες οφείλονται τα σφάλματα προέρχονται από:

1. Τις ακατάλληλες ή τυχαίες προπαρασκευές.
2. Την ακατάλληλη πραγματοποίηση του κυκλώματος της μετρήσεως.
3. Τη λαθεμένη σύνδεση ενός οργάνου.
4. Την άστοχη θεώρηση της σταθεράς αναγνώσεως της κλίμακας του οργάνου.

Αντίθετα, τα συστηματικά σφάλματα είναι πάντα ανεξάρτητα από τον χειριστή και οφείλονται στα χαρακτηριστικά της προπαρασκευής και στο σύστημα μετρήσεως, που χρησιμοποιείται.

Τα συστηματικά σφάλματα περιλαμβάνουν, κύρια:

- Τα οργανικά σφάλματα. Αυτά εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά κατασκευής των οργάνων, τα οποία οι κατασκευαστές σημειώνουν, αλλά παραμένει κάποιος βαθμός αβεβαιότητας για αυτά.
- Τα σφάλματα, τα οποία εξαρτώνται από την αυτοκατανάλωση των οργάνων, που χρησιμοποιούνται. Η αυτοκατανάλωση των οργάνων έχει ως αποτέλεσμα, μετά από τη σύνδεση των οργάνων στο κύκλωμα, να αλλάζει η προηγούμενη ηλεκτρική του κατάσταση.
- Τα σφάλματα, τα οποία εξαρτώνται από τις πιθανές απλοποιήσεις των τύπων υπολογισμού των μεθόδων, τα οποία καθορίζονται σε συνάρτηση με τις μετρήσεις άλλων μεγεθών, από τα οποία εξαρτώνται.

Τα συστηματικά σφάλματα μπορούν να επηρεάσουν λίγο ή πολύ το αποτέλεσμα της μετρήσεως. Μπορούν, όμως να περιορισθούν σε στενά πλαίσια με την εκλογή κατάλληλου συστήματος μετρήσεως και με τη χρησιμοποίηση οργάνων μεγαλύτερης ακρίβειας. Αν είναι γνωστή η κλάση ακρίβειας των οργάνων και η ακρίβεια των συσκευών, με προσεκτική ανάλυση του συστήματος μετρήσεως, που χρησιμοποιείται μπορούν να προσδιορισθούν τα συστηματικά σφάλματα. Έτσι, μπορεί να γίνει η κατάλληλη διόρθωση στο αποτέλεσμα της μετρήσεως ή να βρεθεί ο βαθμός προσεγγίσεως, που επιτυγχάνεται.

Μεταξύ των συστηματικών σφαλμάτων πρέπει να περιληφθούν, επίσης, και τα σφάλματα, που εξαρτώνται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, στο οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση.

Αυτά προέρχονται, από την επίδραση της θερμοκρασίας ή από την επίδραση ξένων μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων καθώς και από άλλες πιθανές αιτίες διαταραχής.

Η κατηγορία των τυχαίων σφαλμάτων περιλαμβάνει, με τη σειρά της, όλα τα σφάλματα, που προέρχονται από τυχαία αίτια, και των οποίων η τιμή και το πρόσημο μεταβάλλονται.

Αυτά τα σφάλματα εξαρτώνται τόσο από το χειριστή (υποκειμενικά σφάλματα) όσο και από την προπαρασκευή της μετρήσεως.

Η δεύτερη κατηγορία τυχαίων σφαλμάτων διαιρείται σε:

α) Σφάλματα εκτιμήσεως.

Αυτά σχετίζονται με την ευστροφία του παρατηρητή και την εκτίμηση μικρών τμημάτων των διαιρέσεων κλίμακας και

β) Σφάλματα παραλλάξεως.

Αυτά εξαρτώνται από την θέση, που παίρνει ο παρατηρητής για να πραγματοποιήσει την ανάγνωση της θέσεως του δείκτη του οργάνου.

Είναι φανερό ότι η σωστή θέση για την πραγματοποίηση της αναγνώσεως είναι εκείνη, κατά την οποία το μάτι του παρατηρητή βρίσκεται σε επίπεδο

κάθετο προς την επιφάνεια της κλίμακας. Για να αποφευχθούν τα σφάλματα παραλλάξεως, στα όργανα ακρίβειας τοποθετείται ένας καθρέφτης κάτω από το δείκτη και κατά μήκος του τόξου της κλίμακας του. Η ανάγνωση της ενδείξεως του οργάνου γίνεται, όταν το μάτι του παρατηρητή παύει να βλέπει το είδωλο του δείκτη στον καθρέφτη.

Άλλα τυχαία σφάλματα, που εξαρτώνται από την προπαρασκευή της μετρήσεως, εμφανίζονται εξαιτίας συμπτωματικής ανωμαλίας της λειτουργίας ή της συναρμολόγησης των οργάνων. Επίσης, τα χτυπήματα, η αστάθεια του ρεύματος και η γρήγορη και απρόβλεπτη μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος αποτελούν παράγοντες, από τους οποίους εξαρτώνται τα παραπάνω σφάλματα.

Τα τυχαία σφάλματα δεν μπορούμε να τα αποφύγουμε οποιαδήποτε μέτρα και αν πάρουμε, γιατί η ύπαρξη τους οφείλεται σε αστάθμητους παράγοντες. Έτσι, για την εξουδετέρωση τους χρειάζονται πολλές μετρήσεις του ίδιου φυσικού μεγέθους με μεγάλη σχολαστικότητα.

Σε κάθε μέτρηση είναι δυνατό να προκύπτει λίγο ή πολύ διαφορετικό αποτέλεσμα. Στην περίπτωση αυτή, ως πιθανότερη τιμή του μεγέθους, που εξετάζεται, θα θεωρηθεί η μέση αριθμητική τιμή των μετρήσεων.

Έτσι έχουμε:

$$A_m = (A_{m_1} + A_{m_2} + A_{m_3} + \dots + A_{m_n}) / n$$

Η πιθανότητα να μειωθεί η επίδραση των τυχαίων σφαλμάτων είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το (n) και όσο λιγότερα είναι τα λανθασμένα αποτελέσματα των (n) μετρήσεων. Λαθεμένη θεωρείται μια μέτρηση, όταν η τιμή της είναι απομακρυσμένη από την μέση τιμή των άλλων και οφείλεται σε σοβαρό σφάλμα.

Πίνακας 2.5: Κατηγοριοποίηση σφαλμάτων

ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
<p>συστηματικά</p> <p>Οφείλονται στα χαρακτηριστικά των οργάνων και των μεθόδων που υιοθετούνται. Σε διαδοχικές μετρήσεις διατηρείται πάντα ο μέσος όρος των ενδείξεων. Μπορούν να περιοριστούν μόνο βελτιώνοντας τις συνθήκες των μετρήσεων και τα χαρακτηριστικά των οργάνων.</p>	<p>ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΑ</p> <p>Εξαρτώνται από την ικανότητα του χειριστή που πραγματοποιεί τη μέτρηση (συνδέσεις μεταξύ αγωγών, μηδενισμός των οργάνων κλπ.).</p> <p>οργανικά</p> <p>Προέρχονται από την ακρίβεια του οργάνου και από ενδεχόμενα κατασκευαστικά ελαττώματα (τριβές ,ακρίβεια χάραξης κλίμακας).</p> <p>της μεθόδου</p> <p>Προέρχονται από την ατέλεια που προκύπτει από τη μέθοδο μέτρησης (εσωτερική κατανάλωση των οργάνων).</p>
<p>τυχαία</p> <p>Οφείλονται στις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται η μέτρηση και στην μεγαλύτερη ή μικρότερη ικανότητα του παρατηρητή. Δεν έχουν σταθερή ούτε ένδειξη ούτε τιμή. Δεν μπορούν να μηδενιστούν. Μειώνονται πραγματοποιώντας διαδοχικές μετρήσεις και λαμβάνοντας το μέσο όρο των αποτελεσμάτων.</p>	<p>αντικειμενικά</p> <p>προέρχονται από τις συνθήκες που πραγματοποιείται η μέτρηση (μεταβολή θερμοκρασίας, υγρασία κλπ).</p> <p>προσέγγισης</p> <p>Προκαλείται από τη δυσκολία εκτίμησης της υποδιαίρεσης της διαίρεσης της κλίμακας.</p> <p>ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΑ (της ανάγνωσης)</p> <p>Οφείλονται στην αδυναμία του χειριστή να διαβάσει με ακρίβεια τις ενδείξεις του οργάνου.</p>

2.6.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΥ ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΜΜΕΣΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΝΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΑΛΛΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Στην πράξη, πολλές φορές τυχαίνει ένα άγνωστο μέγεθος να εκφράζεται σε συνάρτηση με άλλα μεγέθη. Έτσι, μερικές φορές είναι αναγκαίο ή συμφέρον, αντί να μετρηθεί άμεσα το μέγεθος, που εξετάζεται, να προσδιορισθεί έμμεσα με τη μέτρηση των μεγεθών, από τα οποία εξαρτάται.

Για παράδειγμα, η ηλεκτρική ισχύς P συνεχούς ρεύματος προκύπτει από το γινόμενο της τάσεως V επί το ρεύμα I .

Στην περίπτωση, αυτή, η ηλεκτρική ισχύς P μπορεί να μετρηθεί άμεσα με ένα βατόμετρο ή να προσδιορισθεί έμμεσα με ξεχωριστή μέτρηση της τάσεως και του ρεύματος.

Για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από τις έμμεσες μετρήσεις, χρειάζεται να μπορούν να εκτιμηθούν τα σφάλματα, τα οποία είναι συνάντηση άλλων σφαλμάτων, που γίνονται στις μετρήσεις των μεγεθών, από τα οποία εξαρτάται το μέγεθος, που εξετάζεται.

Είναι αρκετή ή εξέταση απλών περιπτώσεων, γιατί αυτές επιτρέπουν με κατάλληλους συσχετισμούς την εξήγηση των περισσότερων σύνθετων περιπτώσεων.

2.6.4 ΤΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΔΥΟ Η ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Έχουμε ένα μέγεθος:

$$S = A + B$$

Εάν μετρηθούν ξεχωριστά τα δυο μεγέθη A και B θα βρεθούν δυο τιμές A_m και B_m , οι οποίες θα είναι, βέβαια, διαφορετικές από τις πραγματικές τιμές $A_{π}$ και $B_{π}$. Άρα, στον προσδιορισμό του αθροίσματος θα προκύψει η τιμή $S_m = A_m + B_m$ αντί για την πραγματική τιμή $S_{π} = A_{π} + B_{π}$. Το σχετικό σφάλμα, που γίνεται στο άθροισμα, είναι το εξής:

$$\varepsilon_S = \frac{S_m - S_{π}}{S_m} = \frac{(A_m + B_m) - (A_{π} + B_{π})}{A_m + B_m}$$

Εάν ε_A και ε_B είναι τα σχετικά σφάλματα, που γίνονται στις μετρήσεις των μεγεθών A και B , σύμφωνα με τη σχέση έχουμε:

$$A_{π} = (1 - \varepsilon_A) \cdot A_m$$

$$B_{π} = (1 - \varepsilon_B) \cdot B_m$$

Αντικαθιστώντας τις δυο σχέσεις στην προηγούμενη, και μετά από τις απλοποιήσεις προκύπτει:

$$\varepsilon_S = \varepsilon_A \cdot A_m + \varepsilon_B \cdot B_m$$

Από τη σχέση αυτή βγαίνει το συμπέρασμα ότι το συνολικό σχετικό σφάλμα, που γίνεται στην έμμεση μέτρηση του αθροίσματος δυο μεγεθών, αντιπροσωπεύεται από το μέσο όρο των σχετικών σφαλμάτων που γίνονται στις μετρήσεις τους.

2.6.5 Η ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΟ ΜΕΓΕΘΩΝ

Έχουμε ένα μέγεθος

$$\Delta = A - B$$

Αν ε_A και ε_B είναι τα σχετικά σφάλματα, που γίνονται στις μετρήσεις των δυο μεγεθών A και B, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έγιναν για το άθροισμα, βρίσκουμε ότι το συνολικό σχετικό σφάλμα της διαφοράς Δ εκφράζεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_{\Delta} = (\varepsilon_A A_m - \varepsilon_B B_m) / (A_m - B_m)$$

όπου A_m και B_m οι τιμές, που βρίσκονται κατά τη μέτρηση των A και B.

2.6.6 ΤΟ ΓΙΝΟΜΕΝΟ ΔΥΟ Η ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

Έχουμε το γινόμενο δυο μεγεθών A και B. Αυτό αποτελεί ένα μέγεθος Γ , που δίνεται από τη σχέση:

$$\Gamma = A \cdot B$$

Μετρώντας χωριστά τα δυο μεγέθη A και B θα βρεθούν οι τιμές A_m και B_m . Άρα η τιμή του γινομένου Γ , που βρίσκουμε, είναι:

$$\Gamma_m = A_m \cdot B_m$$

Αν ε_A και ε_B είναι τα σχετικά σφάλματα, από τα οποία επηρεάζονται οι παραπάνω μετρήσεις, οι πραγματικές τιμές των μεγεθών A και B είναι:

$$A_{\pi} = (1 - \varepsilon_A) \cdot A_m, \quad B_{\pi} = (1 - \varepsilon_B) \cdot B_m$$

Άρα, η πραγματική τιμή του γινομένου Γ προκύπτει:

$$\Gamma_{\pi} = A_{\pi} \cdot B_{\pi} = (1 - \varepsilon_A) \cdot (1 - \varepsilon_B) \cdot A_m \cdot B_m$$

Κατά συνέπεια, παίρνοντας τη τιμή Γ_m ως τιμή του γινομένου Γ , επειδή αυτή είναι μέρος της πραγματικής τιμής Γ_{π} , κάνουμε ένα σχετικό σφάλμα, που εκφράζεται από την σχέση:

$$\varepsilon_{\Gamma} = \left(\frac{\Gamma_m - \Gamma_{\pi}}{\Gamma_m} \right) = \frac{A_m B_m - (1 - \varepsilon_A) \cdot (1 - \varepsilon_B) \cdot A_m \cdot B_m}{A_m \cdot B_m}$$

Απλοποιώντας έχουμε:

$$\varepsilon_{\Gamma} = \varepsilon_A + \varepsilon_B - \varepsilon_A \cdot \varepsilon_B$$

Το γινόμενο μεταξύ δυο σχετικών σφαλμάτων, που το καθένα αντιπροσωπεύεται από λίγα εκατοστά, είναι πάντα αμελητέο, γιατί είναι πάντοτε της τάξεως δεκάτων του χιλιοστού. Άρα, το σχετικό σφάλμα ε_{Γ} μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$\varepsilon_{\Gamma} = \varepsilon_A + \varepsilon_B$$

Είναι εύκολη η επέκταση του συνολικού σφάλματος και σε γινόμενο περισσότερων μεγεθών. Το σχετικό σφάλμα, που γίνεται στην έμμεση μέτρηση ενός γινομένου μεταξύ δυο ή περισσότερων μεγεθών είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των σχετικών σφαλμάτων, που γίνονται στις μετρήσεις των παραγόντων του γινομένου.

2.6.7 ΤΟ ΠΗΛΙΚΟ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΜΕΓΕΘΩΝ

Έχουμε το μέγεθος:

$$\Pi = A/B$$

Εάν μετρηθούν χωριστά τα μεγέθη A και B, θα βρεθούν δυο τιμές A^M και B_M , και αντίστοιχα, για το (Π) η τιμή:

$$\Pi^M = A^M/B_M$$

Αν ε_A και ε_B είναι τα σχετικά σφάλματα, που γίνονται στις δυο μετρήσεις, οι πραγματικές τιμές των A και B θα είναι:

$$A_{\Pi} = (1 - \varepsilon_A) \cdot A^M, \quad B_{\Pi} = (1 - \varepsilon_B) \cdot B_M$$

Άρα, αντίστοιχα, η πραγματική τιμή του πηλίκου Π είναι:

$$\Pi_{\Pi} = A_{\Pi}/B_{\Pi} = (1 - \varepsilon_A) \cdot A^M / (1 - \varepsilon_B) \cdot B_M$$

Αν θεωρήσουμε ως τιμή του Π την τιμή Π_{Π} , που προκύπτει από τη μέτρηση και που είναι μέρος της πραγματικής τιμής Π_{Π} γίνεται σφάλμα.

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{\Pi^M - \Pi_{\Pi}}{\Pi^M} = \frac{A^M/B_M - (1 - \varepsilon_A) \cdot (A^M / (1 - \varepsilon_B) \cdot B_M)}{A^M/B_M}$$

Με απλοποίηση βρίσκεται η ικανοποιητική προσέγγιση

$$\varepsilon_{\Pi} = \varepsilon_A - \varepsilon_B$$

2.6.9 ΚΛΑΣΕΙΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

Όπως έχει παρατηρηθεί η ένδειξη, που δείχνει ένα ηλεκτρικό όργανο δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική τιμή του μεγέθους, το οποίο είναι αντικείμενο της μετρήσεως διαφέρει από αυτή κατά μια ποσότητα μικρή ή μεγάλη ανάλογα με τον τύπο του οργάνου και τα χαρακτηριστικά της κατασκευής του.

Η αναπόφευκτη αυτή διαφορά μεταξύ της ενδείξεως του οργάνου και της αληθινής τιμής του μεγέθους αποτελεί το οργανικό σφάλμα.

Οι αιτίες, στις οποίες οφείλεται η ανακρίβεια ενός οργάνου, είναι ποικίλες και πολυσύνθετες. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

- 1ο. Οι ατέλειες κατασκευής και συναρμολογήσεως.
- 2ο. Οι τριβές των στηριγμάτων.
- 3ο. Η λαθεμένη σχεδίαση των κλιμάκων.
- 4ο. Η ελαττωματική ζυγοστάθμιση.

Τα οργανικά σφάλματα μεταβάλλονται σε μια μέτρηση ανάλογα τον τύπο κατασκευής των οργάνων, μεταβάλλονται δηλαδή, σε συνάρτηση με το βαθμό ακρίβειας, τον οποίο οι κατασκευαστές οφείλουν να εγγυώνται. Κατά τους κανονισμούς των διαφόρων χωρών τα όργανα κατατάσσονται, ως προς τα σφάλματα, σε ορισμένες κλάσεις, στις οποίες η τιμή των σφαλμάτων έχει τυποποιηθεί. Σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς VDE, τα ενδεικτικά όργανα κατατάσσονται σε επτά κλάσεις. Αυτές διακρίνονται από τους παρακάτω αριθμούς, που ονομάζονται δείκτες των κλάσεων.

0,1-0,2-0,5-1-1,5-2,5-5

Οι Ιταλικοί κανονισμοί CEI κατατάσσουν τα ηλεκτρικά όργανα μετρήσεων σε 9 κλάσεις.

0,05- 0,1-0,2-0,3- 0,5-1-1,5-2,5-5

Κάθε δείκτης από τους παραπάνω εκφράζει σε ποσοστό τη δυναμικότητα του οργάνου, το μεγαλύτερο ανεκτό απόλυτο σφάλμα σ ένα οποιοδήποτε σημείο του πεδίου μετρήσεως του οργάνου. Πρέπει να τονισθεί ότι το πεδίο μετρήσεως ενός οργάνου δεν συμπίπτει αναγκαστικά με το πεδίο ενδείξεων του. Αν συμβολιστεί με Δ το μεγαλύτερο ανεκτό απόλυτο σφάλμα και με δ_{ov} η δυναμικότητα, δηλαδή το ανώτερο σημείο του πεδίου μετρήσεως, τότε ο δείκτης της κλάσεως K_λ του οργάνου εκφράζεται από τη σχέση :

$$K_\lambda = (\delta / \delta_{ov}) \cdot 100$$

Αν είναι γνωστή η κλάση K_λ , μπορεί να προσδιορισθεί το μεγαλύτερο απόλυτο σφάλμα, πού κάνει το όργανο σε οποιαδήποτε τιμή.

2.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΟ

2.7.1 Ο ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ THERMISTOR

Ένας ανιχνευτής με θερμίστορ σχηματικά παρουσιάζεται κατωτέρω και αποτελείται από το κυρίως σώμα του, τον ή τους θόλους ανάγνωσης ακτινοβολίας, την αισθητήρια γέφυρα και ίσως τον ενισχυτή σήματος(Εικόνα 2.18).

Αρχή λειτουργίας

Η βασική τεχνική για τη μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνει τον καθορισμό της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ενός απορροφητικού στοιχείου ακτινοβολίας και ενός στοιχείου που προστατεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας είναι ανάλογη προς τη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Η άμεση και σκεδασμένη ακτινοβολία περνά μέσω δύο θόλων γυαλιού. Οι θόλοι εμποδίζουν τη μακρών κυμάτων ακτινοβολία και κρατούν το όργανο ενήμερο (weather-tight).

Η διαμόρφωση δύο θόλων αποτρέπει επίσης την αγωγή ψύξη του ευαίσθητου στοιχείου που βρίσκεται κάτω από τον εσωτερικό θόλο.

Το ευαίσθητο στοιχείο είναι ένας ειδικά σχεδιασμένος δίσκος με ένα οπτικό μαύρο επίστρωμα και απορροφά τη συναφή ακτινοβολία από 0,3 έως 3 μm.

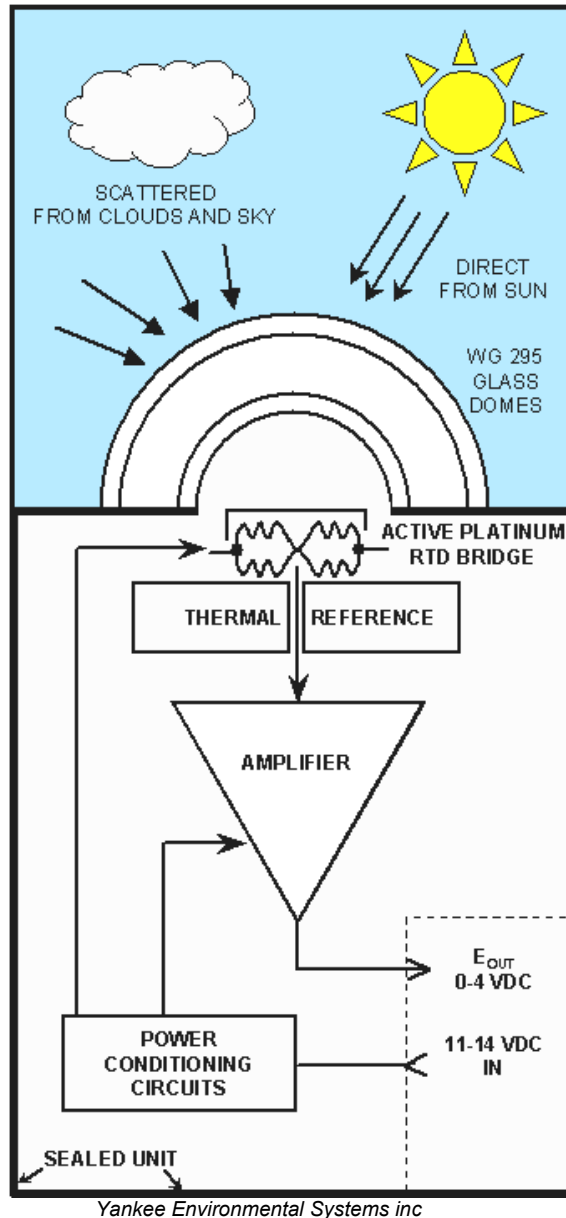
Τέσσερα λεπτά φύλλα θερμικής αντίστασης ακριβείας από λευκόχρυσο (ταιριασμένα με λείζερ), διαμορφώνουν τα άκρα ενός ενεργού ηλεκτρονικού κυκλώματος γέφυρας. Αυτό το κύκλωμα παράγει ένα σήμα που είναι ανάλογο προς τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας προσπίπτουσας ακτινοβολίας και της προστατευμένης επιφάνειας θερμικής αναφοράς.

Προαιρετικά ένας θερμικά σταθερός ενισχυτής χαμηλής αντίστασης εξόδου 0 έως 4 vdc, κάνουν το σήμα να είναι ανεξάρτητο από τις αλλαγές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας. Η εσωτερική γραμμικότητα των θερμίστορ λευκόχρυσου σημαίνει ότι καμία θερμική αντίσταση δεν απαιτείται για να αντισταθμίσει τις αλλαγές στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Προσοχή χρειάζεται σε δύο σημεία στην καθαριότητα του θόλου και στην απολύτως κάθετη τοποθέτηση του.

Εφαρμογές σε :

- Μετεωρολογικές και κλιματολογικές μετρήσεις.
- Μελέτες για albedo και παγκόσμια θέρμανση.
- Αξιολόγηση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας.
- Έλεγχος των συστημάτων HVAC.



Εικόνα 2.18: Σχηματική αναπαράσταση ενός ηλιακού ανιχνευτή με στοιχείο γέφυρας Θερμίστορ.

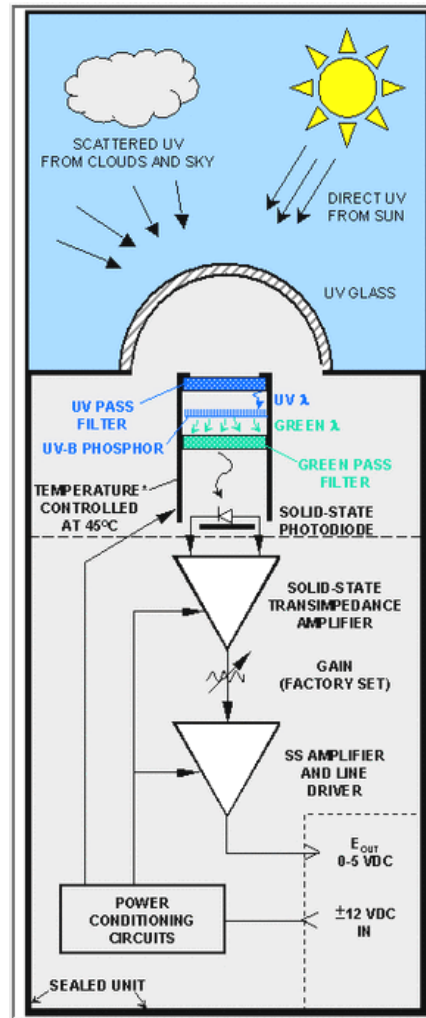
2.7.2 Ο ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ THERMOPILE

Οι Thermopile ανιχνευτές χρησιμεύουν ώστε να καθορίζουν την ηλιακή ακτινοβολία ανεξάρτητα από τη φασματική διανομή της. Έχουν από κοινού ότι η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα σε έναν μαύρο απορροφητή. Η άνοδος θερμοκρασίας σε σχέση με μια θερμοκρασία αναφοράς είναι ανάλογη προς την εισερχόμενη ακτινοβολία (Εικόνα 2.19).

Οι θερμοκρασίες μετριοούνται από αρκετά θερμοηλεκτρικά ζεύγη που συνδέονται στη σειρά (στήλη) προκειμένου να αυξηθεί το thermovoltage που μετρείται σε μερικά millivolts.

Οι Thermopile ανιχνευτές είναι διαφορετικοί ανάλογα το οπτικό πεδίο τους.

Το Πυρανόμετρο (pyranometer) έχει ένα ημισφαιρικό οπτικό πεδίο, που επιτρέπει τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας από ολόκληρο τον ουρανό (180⁰ μοίρες), ενώ στο πυρελιόμετρο (pyrheliometer) χαρακτηριστικά εφαρμόζεται η ευθυγράμμιση με τον ήλιο με περιορισμένο οπτικό πεδίο 5° μοιρών άνοιγμα.



Yankee Environmental Systems inc

Εικόνα 2.19 : Σχηματική αναπαράσταση ενός ηλιακού ανιχνευτή με στοιχείο thermopile.

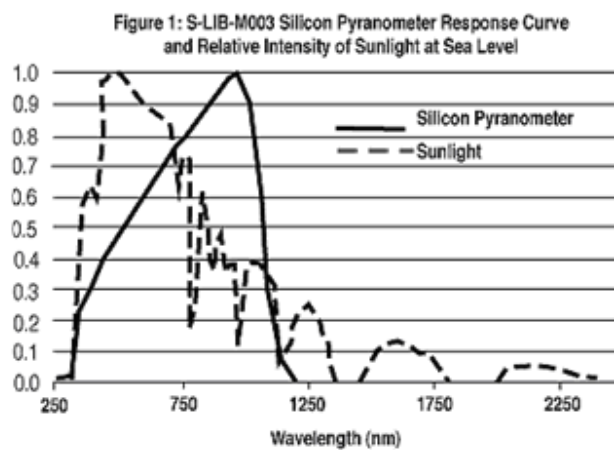
2.7.3 Ο ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗΣ

Ο αισθητήρας είναι φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου που απορροφά την ακτινοβολία από 0,35 έως 1,15 μm (Εικόνα 2.20). Το κύτταρο πυριτίου μετατρέπει αυτήν την φωτεινή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια και η τάση παραγωγής (περίπου 70 mV/W/m²) είναι ουσιαστικά γραμμική. Ο πραγματικού μεγέθους χρόνος απόκρισης είναι λιγότερο από 1ms (χιλιοστό του δευτερολέπτου) εξαιτίας του γεγονότος ότι ο ανιχνευτής είναι φωτοευαίσθητος και όχι ευαίσθητο σε θερμότητα όπως είναι τα thermopile pyranometers, η ακρίβεια του οργάνου είναι ±5% και παρέχεται σε θερμοκρασία από 4° σε 60°C.



Της εταιρείας NovaLynx corporation

Εικόνα 2.20 : Pyranometer με φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου και καμπύλη φασματικής απόκρισης φωτοβολταϊκού ανιχνευτή της εταιρείας HOBO κάτω.



Καμπύλη φασματικής απόκρισης φωτοβολταϊκού ανιχνευτή της εταιρείας HOBO.

2.8 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

Πίνακας 2.6 : Συγκεντρωτικός πίνακας οργάνων και εφαρμογών.

Μετρούμενη ακτινοβολία	Όργανο -Μέθοδος	Εφαρμογή
Άμεση	Pyrheliometer-συνεχής ηλιοπαρακολούθηση	φωτοβολταικά συστήματα ηλιακή θέρμανση
Συναφής	Pyranometer-οριζόντια έκθεση	Κλίμα-μετεωρολογία φωτοβολταικά συστήματα ηλιακή θέρμανση βιομάζα
Διάχυτη	Pyranometer-δακτύλιος σκίασης	φωτοβολταικά συστήματα βιομάζα φωτισμός
Επίγεια μακρών κυμάτων	Albedometer-οριζόντια έκθεση	Κλίμα-μετεωρολογία Φωτισμός Ανακλαστικότητα επιφανειών
Ουρανού μακρών κυμάτων	Pyrgometer-οριζόντια έκθεση	Κλίμα-μετεωρολογία
Υν (280-320 nm)	UVB-1 Pyranometer οριζόντια έκθεση	Ατμόσφαιρα-κλίμα Προστασία δέρματος
Υν (320-400 nm)	UVA-1 Pyranometer οριζόντια έκθεση	Γεωργία

2.8.1 PYRHELIOMETER

Το pyrheliometer μετρά την άμεση δέσμη του φωτός που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο (Εικόνα 2.21). Ο αισθητήρας τύπου thermopile είναι στο βάθος μίας σωλήνας με στενό οπτικό πεδίο γύρω στις 5° μοίρες έτσι η διάχυτη ακτινοβολία μένει μακριά του και μετρά από 200 έως 4000 nm.Το όργανο συνεχώς παρακολουθεί τον ήλιο πάνω σε μια συσκευή κατά την γωνία zenith και γωνία azimuth. Γι' αυτό η μέτρηση είναι πολύπλοκη και ακριβή.



Photo from www.volker-quaschnig.de

Εικόνα 2.21 : Pyrheliometer σε διαδικασία σκόπευσης (μέτρησης)

2.8.2 ALBEDOMETER

Το albedometer αποτελείται από δύο αισθητήρες τύπου thermopile ή thermistor που τοποθετούνται σε αντίθετη κατεύθυνση πάνω κάτω (Εικόνα 2.22).

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία από τον ουρανό (κυρίως μικρό κύμα) απορροφάται από τον άνω αισθητήρα, με συνέπεια ανύψωση της θερμοκρασίας του.

Η προσπίπτουσα ακτινοβολία από το έδαφος (κυρίως μακρών κυμάτων) απορροφάται από το κάτω αισθητήρα, με συνέπεια μια ανύψωση της θερμοκρασίας και αυτού.

Μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο αισθητήρων έχει σαν συνέπεια μια γραμμική τάση εξόδου που είναι ανάλογη προς το διαφορικό μέγεθος της ακτινοβολίας που δέχονται.

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας (άμεση συν διάχυτη) από 300 έως 3000 nm και για τη μέτρηση της ανακλαστικότητας (albedo) διαφόρων επιφανειών.



Εικόνα 2.22: Albedometer Middleton CNR-1 Net Radiometer

2.8.3 PYRGEOMETER

Η ατμόσφαιρα και η γήινη επιφάνεια ανταλλάσσουν ακτινοβολία μακρών κυμάτων IR (> 3,0 μm). Αυτό οδηγεί σε μια καθαρή ισορροπία ακτινοβολίας σύμφωνα με την εξίσωση κατωτέρω:

$$E_{net} = E_{in} - E_{out}$$

Όπου:

E_{net} , η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια αισθητήρων (W/m^2).

E_{in} , η ακτινοβολία μακρών κυμάτων που παραλαμβάνεται από την ατμόσφαιρα (W/m^2).

E_{out} , η ακτινοβολία μακρών κυμάτων που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια (W/m^2).

Η thermopile του pyrgeometer ανιχνεύει την καθαρή ισορροπία ακτινοβολίας μεταξύ της εισερχόμενης και εξερχόμενης ροής μακρών κυμάτων και την μετατρέπει σε μια τάση σύμφωνα με την εξίσωση:

$$E_{net} = U_{emf}/S$$

Όπου:

E_{net} η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια αισθητήρων (W/m^2).

U_{emf} η thermopile τάση παραγωγής (v).

S ο συντελεστής ευαισθησίας/βαθμονόμησης του οργάνου ($V/W/m^2$).

Η τιμή του S καθορίζεται κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης του οργάνου που εκτελείται στο εργοστάσιο παραγωγής με ένα όργανο αναφοράς.

Για να παράγει την απόλυτη προς τα κάτω ροή μακρών κυμάτων, η θερμοκρασία του pyrgeometer πρέπει να ληφθεί υπόψη, η οποία μετρείται χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα θερμοκρασίας μέσα στο όργανο, κοντά στην ψυχρή σύνδεση της thermopile.

Το pyrgeometer θεωρείται ότι προσεγγίζει το μέλαν σώμα. Λόγω αυτού εκπέμπει τη μακρών κυμάτων ακτινοβολία σύμφωνα με την εξίσωση:

$$E_{out} = \sigma \cdot T^4$$

Όπου:

E_{out} - ακτινοβολία μακρών κυμάτων που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια (W/m^2)
 σ - σταθερά Stefan-Boltzmann [$W/l (m^2 \cdot K^4)$].

T - απόλυτη θερμοκρασία του ανιχνευτή pyrgeometer (kelvins).

Από τους παραπάνω τύπους η εισερχόμενη μακρών κυμάτων ακτινοβολία μπορεί να εξαχθεί. Αυτό γίνεται με το να αντικαταστήσουμε τις εξισώσεις και να λυθεί η πρώτη ως προς E_{in} την αποκαλούμενη ως εξίσωση του pyrgeometer από τον Albrecht και Cox.

$$E_{in} = (U_{emf}/S) + \sigma \cdot T^4$$

Όλες οι μεταβλητές έχουν την ίδια μονάδα με πριν.

Κατά συνέπεια, η ανιχνευόμενη τάση και η θερμοκρασία οργάνου παράγουν τη συνολική σφαιρική μακρών κυμάτων ακτινοβολία προς τα κάτω.

Το Pyrgeometer (Εικόνα 2.23) μετρά μακρών κυμάτων ακτινοβολία ($> 3,0 \mu m$).

Ένας ειδικά ντυμένος θόλος σιλικόνης εμποδίζει την έξωθεν ακτινοβολία $< 3,0 \mu m$.

Η έξοδος του thermopile αισθητήρα προστίθεται αυτόματα στην έξοδο ενός ενσωματωμένου κυκλώματος αντιστάθμισης θερμοκρασίας που ενσωματώνει μια θερμική αντίσταση για να παράγει το σωστό ηλεκτρικό σήμα που αντιστοιχεί στη προσπίπτουσα υπέρυθη ακτινοβολία.



Εικόνα 2.23 : Pyrgeometer μοντ. MS-201 της EKO

2.8.4 PYRANOMETER

Το Pyranometer (Εικόνα 2.24) έχει ημισφαιρικό οπτικό πεδίο και μετρά την άμεση και τη διάχυτη από την συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στη γη.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (άμεση & έμμεση) είναι μια από τις πιο βασικές μετεωρολογικές παραμέτρους στη μετεωρολογία, στις κλιματολογικές μελέτες και στην απόδοση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Ο ανιχνευτής χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα με υψηλής ευαισθησίας γέφυρας θερμικών αντιστάσεων (thermistors) που μετρά την άνοδο θερμοκρασίας σε μια μαύρη επιφάνεια κάτω από έναν θόλο γυαλιού (όπως αυτός που χρησιμοποιήσαμε της εταιρείας Aanderaa), ή μπορεί να χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα μίας thermopile που μετρά την άνοδο θερμοκρασίας σε μια μαύρη επιφάνεια κάτω από δύο θόλους γυαλιού.



Εικόνα 2.24 : Pyranometer με δύο θόλους και αισθητήρα thermopile της εταιρείας HUKSEFLUX

2.8.5 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΙΔΙΚΩΝ PYRANOMETER UVB-1 ΚΑΙ UVA-1

Τα Pyranometer UVB-1 και UVA-1 είναι μετεωρολογικά όργανα ακρίβειας για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε φάσμα UV-B και UV-A που έχει βιολογικές επιδράσεις. Η τεχνική μέτρησης που υιοθετείται και στα δύο όργανα χρησιμοποιεί χρωματισμένα φίλτρα γυαλιού και έναν ιδιαίτερα σταθερό UV-ευαίσθητο φθορισμού φωσφόρο για να σταματήσει όλο το ορατό φως του ήλιου και να μετατρέψει τα UV φωτόνια σε ορατό φως. Το οποίο στη συνέχεια, μετριέται από έναν φωτοανιχνευτή.

Και τα δύο όργανα μετρούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία. Η ολική ακτινοβολία περιλαμβάνει το φως που διαβιβάζεται άμεσα μέσω της ατμόσφαιρας και το φως που διασκορπίζεται από τα ατμοσφαιρικά αέρια και τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα από την περίπτωση του ορατού φωτός, η σκεδασμένη ακτινοβολία φάσματος UV-B είναι σημαντική και σε μερικές περιπτώσεις, πρωτεύων συστατικό της συνολικής ακτινοβολίας.

Το ειδικό Pyranometer UVA -1 είναι σχεδόν ίδιο με ένα UVB-1 αλλά χρησιμοποιεί έναν φωσφόρο που είναι ευαίσθητος σε ακτινοβολία πάνω από 400 nm. Τα Pyranometer μετρούν τη UV-B (280-320 nm) και UV-A (320-400 nm), επειδή το

εύρος ακτινοβολίας UV-A του ηλιακού φάσματος είναι περίπου 100 φορές μεγαλύτερο από το εύρος της UV-B, έτσι η είσοδος είναι ουσιαστικά UV-A.

Το φάσμα UV-B της ηλιακής ακτινοβολίας (280 έως 320 nm), πολύ έντονα απορροφάται από το όζον στη στρατόσφαιρα, έτσι οποιοσδήποτε μεταβολές στο συνολικό ποσό όζοντος θα απεικονιστούν στη μέτρηση της UV-B που φθάνει στο έδαφος.

Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας UV-B, που χρησιμοποιούν τα UVB-1 Pyranometer, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν το επίπεδο όζοντος.

Η φασματική απόκριση του UVB-1 Pyranometer είναι παρόμοια πολύ με το ηλιακό έγκαυμα (erythema) και με τα φάσματα που δρουν και προκαλούν βλάβη στο DNA, έτσι το καθιστούν ιδανικό για κλιματολογικές και βιολογικές μελέτες.

Οι χαρακτηριστικές UV εφαρμογές των Pyranometer περιλαμβάνουν:

- Αποτελέσματα του φάσματος UV-B και UV-A στα φυτά.

- Κλιματολογική συλλογή στοιχείων.

- Έλεγχος πάχους στρώματος όζοντος.

- Μελέτες δόσης ηλιακών εγκαυμάτων.

2.8.6 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία, άμεση και διασπαρμένη, διαβιβάζεται μέσω του θόλου, το UVB-1 Pyranometer χρησιμοποιεί έναν φωσφόρο φθορισμού για να μετατρέψει το φάσμα UV-B σε ορατό φως, το οποίο στη συνέχεια ακριβώς μετρείται από μια φωτοδίοδο.

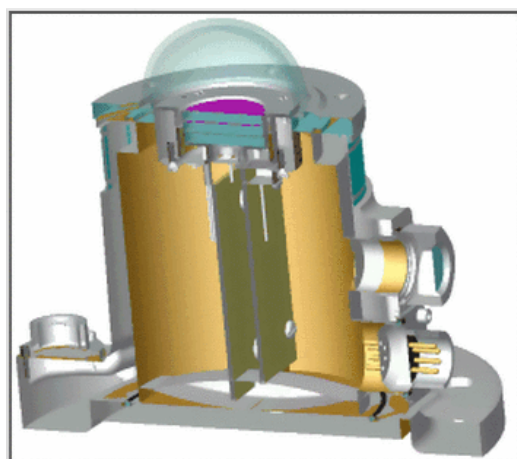
Το ορατό φως, εκτός από ένα μικρό μέρος του φάσματος του ερυθρού μήκους κύματος, απορροφάται από ένα UV διαπερατό μαύρο γυαλί ως πρώτο φίλτρο. Το φάσμα που διαβιβάζεται μέσω αυτού του φίλτρου πέφτει στον ευαίσθητο φωσφόρο σε UV-B, αυτό το υλικό απορροφά το φάσμα UV-B και το εκπέμπει ξανά ως ορατό φως, κυρίως στο πράσινο μήκος κύματος. Ένα δεύτερο, πράσινο φίλτρο γυαλιού, περνά το φως φθορισμού από το φωσφόρο εμποδίζοντας οποιοδήποτε ερυθρό μήκος κύματος να περάσει από το αρχικό μαύρο γυαλί (Εικόνα 2.25).

Η ένταση του φωτός φθορισμού μετρείται από μια φωτοδίοδο τύπου (GaAsP).

Ένας θερμικά σταθερός ενισχυτής μετατρέπει το ρεύμα παραγωγής της διόδου σε τάση. Η οποία οδηγεί έναν γραμμικό ενισχυτή χαμηλής σύνθετης αντίστασης που παρέχει σήμα εξόδου από 0 έως + 4 V dc.

Τα γυάλινα φίλτρα, ο φωσφόρος και η φωτοδίοδος παραμένουν σε σταθερή θερμοκρασία + 45 °C με τη βοήθεια ενός εσωτερικού θερμικού φορτίου αναλογικά ελεγχόμενου, για να εξασφαλίζουν ότι το σήμα εξόδου, δεν θα είναι ευαίσθητο στις αλλαγές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας.

Τέλος μια εσωτερική θερμική αντίσταση YSI (100 KΩ & 25°C) επιτρέπει την έξοδο σήματος ανεξάρτητα από την θερμοκρασία του αισθητήρα.



Yankee Environmental Systems inc

Εικόνα 2.25 : Κάθετη τομή UVB-1 Pyranometer όπου διακρίνονται τα Φίλτρα.

Προδιαγραφές οργάνου

Φασματική απόκριση (UVB-1)	280 έως 320 nm
Φασματική απόκριση (UVA-1)	280 έως 400 nm
Απόκριση συνημίτονου	Καλύτερα από 5% για 0 -60° SZA
Ευσαιθησία (UVB-1)	2.0 (Watt * m ⁻²)/V, τυπικό
Ευσαιθησία (UVA-1)	28 (Watt * m ⁻²)/V, τυπικό
Ενεργός περιοχή αισθητήρων	Περ. 1 in. (2,54 εκατ.) διαμ.
Βάρος	3 lbs
Απαίτηση ισχύος	12 Vdc, 5 mA
Αναλογική έξοδος	0 ÷ +4 vdc
Έλεγχος θερμοκρασίας	Αντίσταση 100KΩ
Χρόνος απόκρισης	100 ms
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	Ρυθμισμένο για ± 40° C

2.8.7 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΩΝ

Δακτυλίδι 121 cm σκίασης (Εικόνα 2.26)

Εξυπηρετεί για τη σκίαση του Pyranometer από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτό είναι δυνατή η πραγματοποίηση μίας μέτρησης της διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Technical Data

Material anodized aluminum

Height (max.) 800mm

Ring outer Ø 620 mm

Ring width / Ring radius ratio 0,185

Ring width 55 mm

Weight, incl. CM 11 6 kg



Microstep-MIS

Εικόνα 2.26 : Δακτυλίδι σκίασης της εταιρίας Microstep-MIS μαζί με pyranometer.

2.8.8 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ PYRANOMETER

Η ταξινόμηση των οργάνων είναι απαραίτητη για την ποιότητα των μετρήσεων και γίνεται βάση των απαραίτητων χαρακτηριστικών που πρέπει να έχουν. Έχουμε δύο ταξινομήσεις κατά WMO και ISO.

Οι αποδεκτές κατηγοριοποιήσεις της ποιότητας των pyranometer καθορίζονται διαφορετικά από τα διεθνή πρότυπα ISO 9060:1990 (E) και την "6η έκδοση οδηγιών του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού". Ο πίνακας (2.7) παρέχει όλα τα συγκρίσιμα στοιχεία και από τις δύο πηγές.

Πίνακας 2.7: Προδιαγραφές ταξινόμησης οργάνων κατά ISO και WMO.

ISO Specification	Secondary Standard	First Class
WMO Characteristics	High Quality	Good Quality
Response time (to 95% of final value) ISO & WMO	< 15 s	< 30 s
Zero off-set response: to 200 W/m ² net radiant loss to sky (ventilated) ISO & WMO	7 W/m ²	15 W/m ²
Zero off-set response: to 5°C/hr change in ambient temperature ISO & WMO	±2 W/m ²	±4 W/m ²
Resolution (smallest detectable change) WMO	±1 W/m ²	±5 W/m ²
Non-stability (change in sensitivity per year) ISO & WMO	±0.8%	±1.5%
Non-linearity (deviation from sensitivity at 500 W/m ² over 100 to 1000 W/m ² range) ISO & WMO	±0.5%	±1%
Directional response for beam radiation (error due to assuming that the normal incidence response at 1000 W/m ² is valid for all directions) ISO & WMO	±10 W/m ²	±20 W/m ²
Spectral selectivity (deviation of the product of spectral absorptance and transmittance from the mean) ISO (0.35–1.5 μm) WMO (0.3–3 μm)	±3% ±2%	±5% ±5%
Temperature response (error due to 50°C ambient temperature change) ISO & WMO	±2%	±4%
Tilt response (deviation from horizontal responsivity due to tilt from horizontal to vertical at 1000 W/m ²) ISO & WMO	±0.5%	±2%
Achievable uncertainty, 95% confidence level WMO hourly totals WMO daily totals	3% 2%	8% 5%
Suitable applications	Working standard	Network operations

www.ictinternational.com.au

Ο τύπος SR5 ταξινομείται στη "δευτεροβάθμια τυποποίηση" ή "υψηλή ποιότητα".

Ο τύπος SR4 ταξινομείται στη "καλή ποιότητα" ή "πρώτης κατηγορίας".

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Η ΙΔΕΑ

Αρχικά διατυπώθηκε η ιδέα να γίνει μια κατασκευή που θα τοποθετούνταν σε σημαντήρα του θαλ. μετεωρολογικού δικτύου του συστήματος « ΠΟΣΕΙΔΩΝ ». Οι κατευθυντήριες γραμμές ήταν στο ότι έπρεπε η συσκευή να έχει τις ακόλουθες προδιαγραφές.

- Να καλύπτουν οι διαστάσεις της το μεγαλύτερο σε μέγεθος pyranometer της αγοράς.
- Να είναι μικρότερο το συνολικό βάρος της από την ικανότητα φορτίου του ιστού του σημαντήρα.
- Να έχει γυροσκοπική έδραση, για να είναι πάντα το όργανο κατακόρυφο.
- Να υπάρχει ανεμιστήρας κυκλοφορίας αέρα, για να παραμένει το όργανο θερμοκρασιακά ενήμερο.
- Να υπάρχει η δυνατότητα πλύσης του θόλου με απεσταγμένο νερό περιοδικά.
- Να είναι ενεργειακά αυτόνομη δηλ. να έχει συσσωρευτή και φωτοβολταϊκή επιφάνεια.

Ακόμα θα έπρεπε να έχει χώρο για κάποια δικά της ηλεκτρονικά συστήματα. Τελικά προχωρώντας την κατασκευή με τους αρχικούς στόχους, υπερίσχυσε η άποψη, η συσκευή να τοποθετηθεί επί ωκεανογραφικού πλοίου του Ελ.Κε.Θ.Ε και σε ήδη υπάρχων μετεωρολογικό δίκτυο, με τις αντίστοιχες τροποποιήσεις - απλοποιήσεις.

3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε μοιάζει με μία σφαίρα δύο κοίλων ημισφαιρίων στερεωμένη αντιδιαμετρικά σε δύο δακτυλίδια διαμέτρων Φ 80 cm. και Φ 75 cm. που αποτελούν γυροσκόπιο και το εξωτερικό εδράζεται σε 4 αντικραδασμικά πόδια σε ύψος 45 cm (Εικόνα 3.1).

Το βασικό μέρος της είναι ένας θόλος διάφανος (πάνω ημισφαίριο) από απλό plexi glass διαμέτρου 38 cm (εκατοστόμετρα) και πάχους 3 mm (χιλιοστόμετρα) πού μετακινείται προς στο αδιάφανο (κάτω ημισφαίριο) κάθε μία ώρα ακριβώς, κατά τη διάρκεια όλου του 24 ώρου και παραμένει ανοικτός για 5 min.

Κατασκευάστηκε αρχικά και άλλη με αδιάφανο κινητό θόλο για μεγαλύτερο εύρος πειράματος, που τελικά δεν χρησιμοποιήθηκε (Εικόνα 3. 2).

Εντός του διάφανου θόλου και στο επίπεδο της οριζόντιας διαμέτρου βρίσκεται δίσκος πλατό διαμέτρου 37cm (εκατοστόμετρα) και πάχους 3 mm (χιλιοστόμετρα) από ορθοφθαλικό πολυεστέρα, όπου μπορεί να στερεωθούν ηλιακοί αισθητήρες μέγιστου ύψους 170 mm.

Όλη η συσκευή είναι κατασκευασμένη από ισοφθαλικό πολυεστέρα βαμμένη με άσπρο ματ χρώμα της εταιρείας Person και έτσι παρουσιάζει μηδενική θερμοχωρητικότητα, αγωγιμότητα, παραμένοντα μαγνητισμό.

Τα λίγα μεταλλικά μέρη άξονες βίδες είναι από ανοξείδωτο χάλυβα 316 L.

Η τροφοδοσία γίνεται από συσσωρευτή Μολύβδου κλειστού τύπου 12 volt 45 Ah εκτός συσκευής, προσδίδοντας της πολυήμερη αυτονομία.

Το ηλεκτρονικό μέρος της είναι ένας χρονοδιακόπτης EG 103V της Hagger μίας εξόδου 12 volt 56 βημάτων, με εφεδρεία μπαταρίας λιθίου 5 ετών, πού ενεργοποιεί

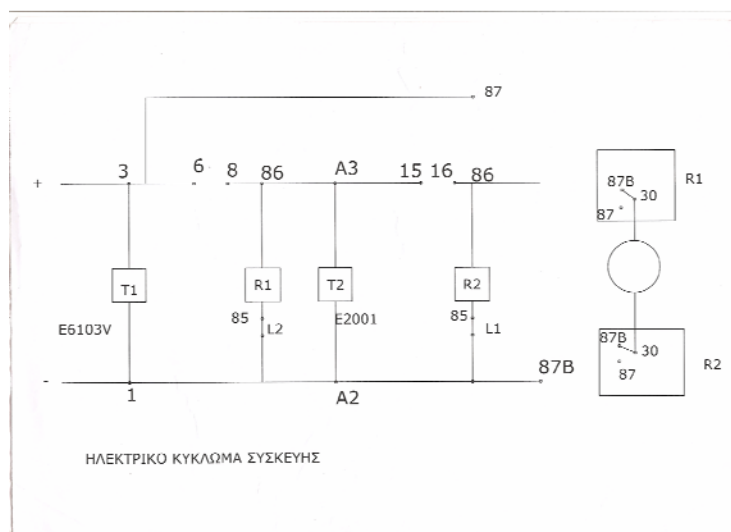
ένα ηλεκτρονόμο R1 μίας μεταγωγικής επαφής και ταυτόχρονα ένα χρονικό καθυστέρησης EZ 001 της εταιρείας Hagger ρυθμισμένο σε καθυστέρηση 5 min. Το ηλεκτρονικό χρονικό καθυστέρησης EZ 001 με τη σειρά του ενεργοποιεί έναν άλλον ηλεκτρονόμο R2 (επιστροφής) μίας μεταγωγικής επαφής (Εικόνα 3.3). Το ηλεκτρικό μέρος αποτελείται από έναν γωνιακό ενεργοποιητή (actuator) με κινητήρα 12 volt 50 watt ενός ζεύγους μονίμων μαγνητικών πόλων ιδιοκατασκευής και δύο οριοδιακόπτες L1, L2 IP 65 κατάστασης Normal closed NC. Το βάρος της χωρίς τον συσσωρευτή και τον ηλιακό αισθητήρα είναι 4,8 KG.



Εικόνα 3.1: Συσκευή που χρησιμοποιήθηκε Διάφανου θόλου.



Εικόνα 3.2: Συσκευή κλειστού θόλου.

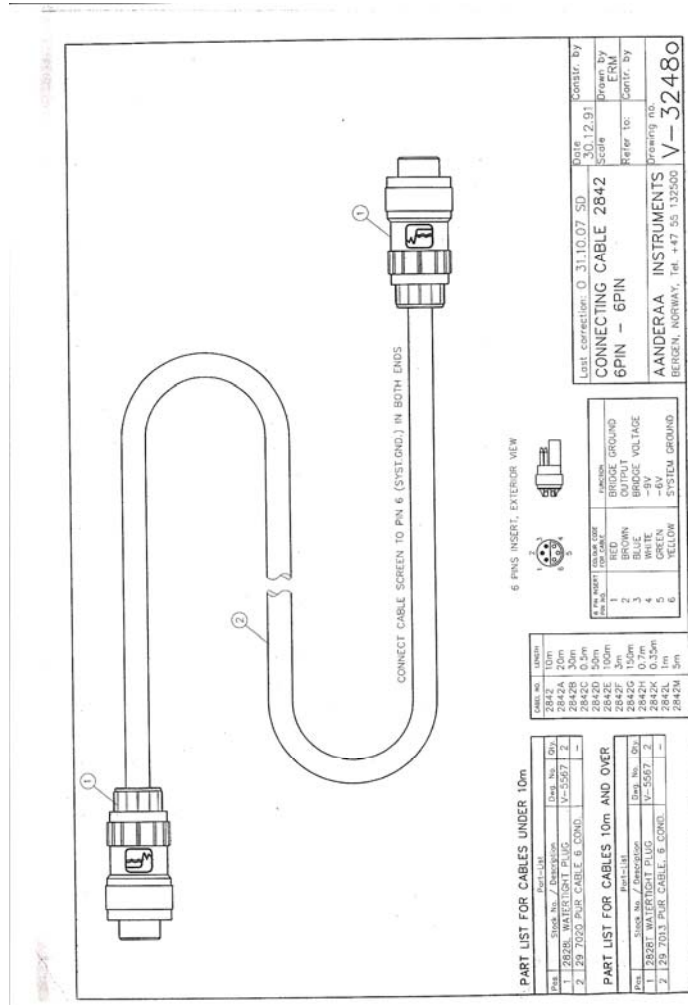


Εικόνα 3.3: Ηλεκτρικό σχέδιο και το πραγματικό ηλεκτρικό κύκλωμα της συσκευής.

3.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΜΕ ΤΟΝ DATALOGGER ΜΕΣΩ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Η εταιρεία χρησιμοποιεί τυποποιημένο αγωγό ορισμένου μήκους με αποκλειστικές βιομηχανικές συνδέσεις (connections) (Σχέδιο 3.1) με υψηλό κόστος πώλησης, αφού μελετήθηκε προσεκτικά και επισταμένα το σχετικό ηλεκτρολογικό σχέδιο αποφασίστηκε να κατασκευαστεί αντίστοιχος αγωγός σύνδεσης (προέκταση στο ήδη υπάρχων καλώδιο) χρησιμοποιώντας 2 μέτρα καλωδίου τύπου UTP 5L μηδενικής εσωτ. αντίστασης και με τροποποιημένους κοννέκτορες (βύσματα) μικρομετρικής ιδιοκατασκευής.

Το όλο εγχείρημα είχε τελικά επιτυχία την 20/6/08 που άρχισε το πείραμα, έπειτα από μια αποτυχημένη προσπάθεια της 17/6/08 όπου βραχυκύκλωσε ένας από τους δύο κοννέκτορες.



AANDERAA drawing no V-32480

Σχέδιο 3.1: Τυποποιημένος αγωγός ορισμένου μήκους με αποκλειστικές βιομηχανικές συνδέσεις.

3.4 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Επιλέχθηκε να τοποθετηθεί η συσκευή στο ανώτερο κατάστρωμα (κόντρα γέφυρα) (Εικόνα 3.4) του Ω/Κ πλοίου « ΑΙΓΑΙΟ » τού Ελ.Κε.Θ.Ε (Εικόνα 3.5) με το οποίο συνεργάζεται το Πανεπιστήμιο Αιγαίου, για τούς παρακάτω λόγους:

- Υπάρχει πλήρης μετεωρολογικός σταθμός και μάλιστα διπλών ομοίων αισθητήρων.
- Δίνεται η δυνατότητα να επιβεβαιώνονται και να συγκρίνονται οι συνθήκες λειτουργίας.
- Πραγματικό σκληρό περιβάλλον.
- Μπορεί να συντηρηθεί και να τροποποιηθεί πιο γρήγορα και πιο οικονομικά.
- Δεν θα παρουσιαστούν προβλήματα στον σταθμό από πιθανή προσωρινή παύση λειτουργίας της συσκευής αλλά και στα δεδομένα μετρήσεων του αισθητήρα.
- Τακτική παρακολούθηση από τον μελετητή.

Προγραμματισμένος χρόνος μετρήσεων.

Αποφασίστηκε να παίρνεται μέτρηση αναφοράς ανά μια ώρα όλο το 24ωρο μέσω συσκευής, ενώ ο σταθμός θα συνεχίσει να λαμβάνει μετρήσεις βάση του προκαθορισμένου προγράμματος του.

Επιλέχθηκε η μέτρηση αναφοράς να είναι η ...00 (ακριβώς) για να μπορεί να αναγνωριστεί εύκολα, αν και θα διακρίνονταν οι μετρήσεις από την διαφορά τιμών.

Έτσι ο χρονοδιακόπτης ρυθμίστηκε αρχικά, να ανοίγει τον θόλο 2 min πιο πριν και να τον επαναφέρει 5 min αργότερα στην θέση του, μεταγενέστερα για τον μήνα Ιούλιο αποφασίστηκε μεγαλύτερη διάρκεια ανοίγματος γιατί παρουσιάστηκαν βυθίσεις τιμών που έπρεπε να μελετηθούν. Το εύρος αυτό δικαιολογείται διότι δεν υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ συσκευής και καταγραφέα με αποτέλεσμα αν και τα ρολόγια τους αρχικά να συγχρονιστούν με την πάροδο του χρόνου ίσως παρατηρηθεί διαφορά είτε προπορείας είτε αργοπορείας, πάντα ως προς τον καταγραφέα του σταθμού.

Ξεκινάμε λοιπόν 17/6/08 και ώρα 11.00 πμ. Τοποθετώντας τον αισθητήρα 2770 του οίκου AANDERAA που περιγράφεται κατωτέρω.

Φότο. Κ. Krallis



Εικόνα 3.5: Ω/Κ πλοίο « ΑΙΓΑΙΟ »



Εικόνα 3.4: Η συσκευή τοποθετημένη

3.5 Ο ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ AANDERAA 2770

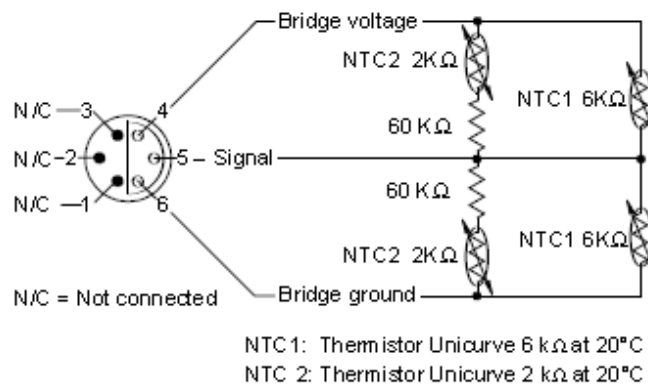
Ο ηλιακός αισθητήρας ακτινοβολίας 2770 (Εικόνα 3.6) έχει κατασκευαστεί στο να μετρά όλη την ηλιακή ακτινοβολία του ουρανού σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί μίας υψηλής ευαισθησίας γέφυρα θερμικών αντιστάσεων (Σχέδιο 3.4) που μετρά την άνοδο θερμοκρασίας σε μια μαύρη επιφάνεια κάτω από έναν θόλο γυαλιού.

Για να λάβει την σωστή μέτρηση, μόνο μια μεταβολή θερμοκρασίας περίπου 2.2°C απαιτείται, λόγω της υψηλής ευαισθησίας της γέφυρας θερμικών αντιστάσεων που έχει, αυτό εξαλείφει την ανάγκη για διπλούς θόλους, που χρησιμοποιούνται συχνά από αισθητήρες ακτινοβολίας τέτοιου τύπου.

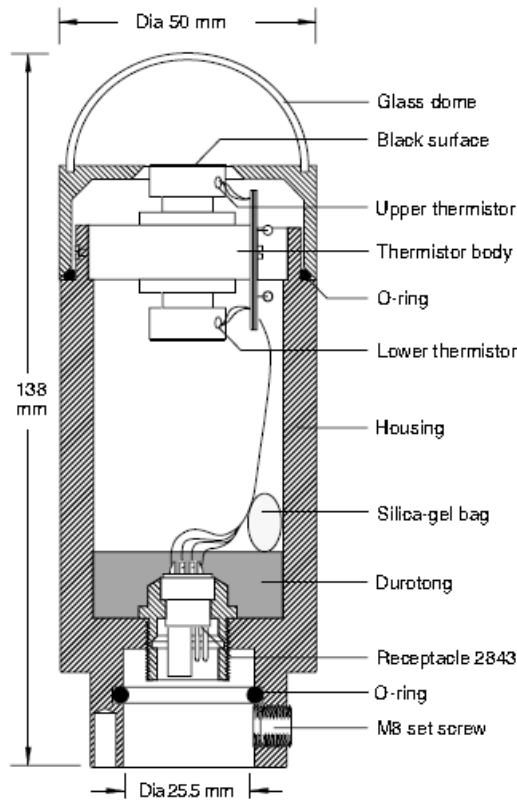
Η μέτρηση του αισθητήρα, λόγω του συμμετρικού σχεδίου κατασκευής, επηρεάζεται μόνο από την ακτινοβολία και όχι από τις αλλαγές της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας. Επομένως καμία οθόνη ακτινοβολίας δεν απαιτείται γύρω από τον αισθητήρα.

Αν και δίνει στιγμιαίες αναγνώσεις, ένας λογικός μέσος όρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας κάθε 10 λεπτά λειτουργίας είναι αρκετός.



AANDERAA data sheet 159 Nov2001

Σχέδιο 3.4: Εσωτερική ηλεκτρική συνδεσμολογία αισθητήρα.



AANDERAA data sheet 159 Nov2001

Εικόνα 3.6 : Τομή / διαστάσεις / μέρη του AANDERAA 2770.

3.6 Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πριν την εγκατάσταση της συσκευής, θεωρήσαμε σκόπιμο και ασφαλές να λάβουμε αντίγραφο των μέχρι τότε αποθηκευμένων δεδομένων, για να δούμε πως κυμαίνονται οι τιμές των παραμέτρων, τον τρόπο καταγραφής, τον τρόπο εξαγωγής, αλλά και τον τρόπο επεξεργασίας των.

Λάβαμε αντίγραφο των δύο αρχείων `meteo.mdb` & `metedata.mdb` μορφής που τρέχουν σε περιβάλλον windows / office της Microsoft.

Το κλασσικό άνοιγμα της βάσης δεδομένων από την φόρμα της (φωτογραφία στο κεφ. του παραρτήματος), με επιλογή της/ των παραμέτρου/ων συνοδεύτηκε από καταιγισμό καταγεγραμμένων τιμών.

Η επιλογή της ημερομηνίας και ώρας, αλλά και η μεταγραφής των σε φύλλο excel γίνεται κάθε φορά πληκτρολογώντας τα στην φόρμα βάσης δεδομένων ή με copy paste, διαδικασία χρονοβόρα, κοπιαστική και υποκρίπτουσα παραλήψεις.

Δυστυχώς πέραν τούτων, στο φύλλο excel μεταφέρονται μη αναγνωρίσιμα στοιχεία όπως τελεία (.) αντί για κόμμα (,) στον διαχωρισμό των δεκαδικών ψηφίων των τιμών. Ώρα με ένδειξη (π.μ) ή (μ.μ).

Γι' αυτό το λόγο, σχεδιάσαμε καινούργια φόρμα απεικόνισης της d.b με χρήση κώδικα VBA & SQL, με πρώτη επιλογή οργάνου/ων συσκευής, δεύτερη επιλογή ημερομηνία, τρίτη επιλογή ωριαίο διάστημα.

Κατά τον τρόπο αυτόν η εξαγωγή γίνεται άμεσα ως αρχείο με κατάληξη .xls και μεταφέρονται σωστά τα δεδομένα σε φύλλο excel προς επεξεργασία.

Το αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό.

Η νέα μορφή της φόρμας δεδομένων παρουσιάζεται στη εικόνα (3.7).



Εικόνα 3.7: Νέα φόρμα εξαγωγής δεδομένων από την βάση

3.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

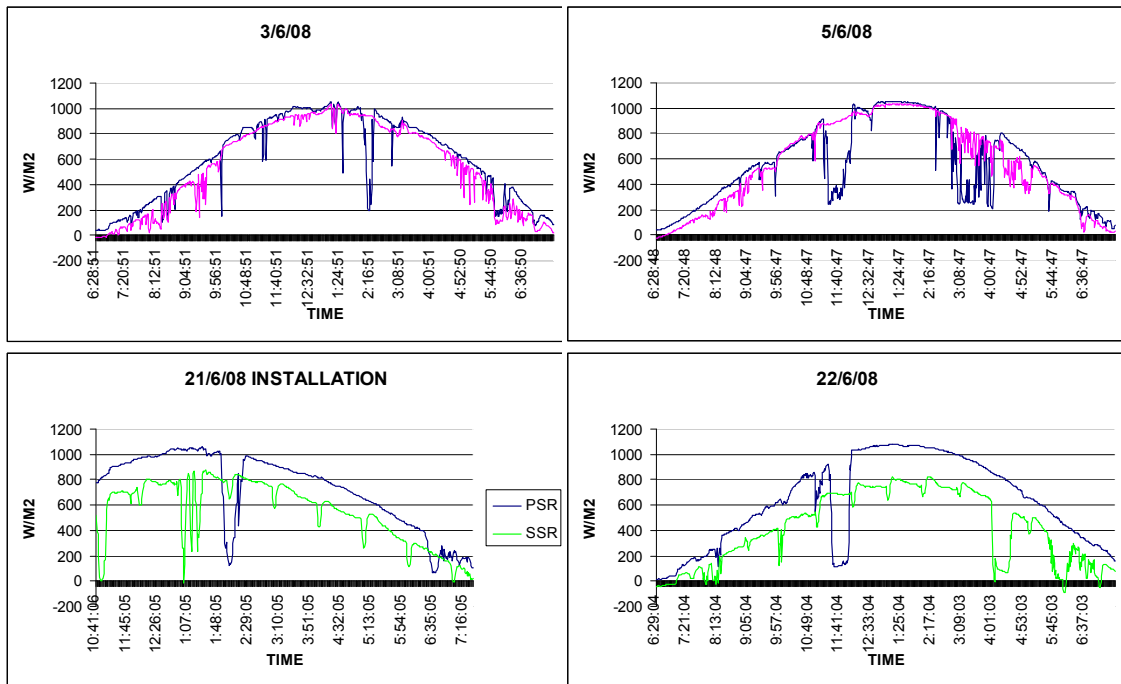
Προκειμένου να περιγραφεί στατιστικά η απόκριση του αισθητήρα στην ύπαρξη και λειτουργία του θόλου που κατασκευάσαμε, προχωρήσαμε σε στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών που προέκυψαν από τα χρονικά διαστήματα που χρησιμοποιήθηκε η συσκευή.

Συγκεκριμένα απομονώθηκαν τα διάρκειας μισής ώρας τμήματα της χρονοσειράς και σε κάθε τέτοιο υποσύνολο τιμών υπολογίσθηκε η μέση τιμή και η τάση μεταβολής. Ακολούθως, αφαιρέθηκε από το κάθε υποσύνολο τιμών η μέση τιμή και η τάση του και μετά εξήχθη για κάθε χρονική στιγμή μετά το άνοιγμα του θόλου η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της μεταβλητότητας των υποσυνόλων της χρονοσειράς.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ

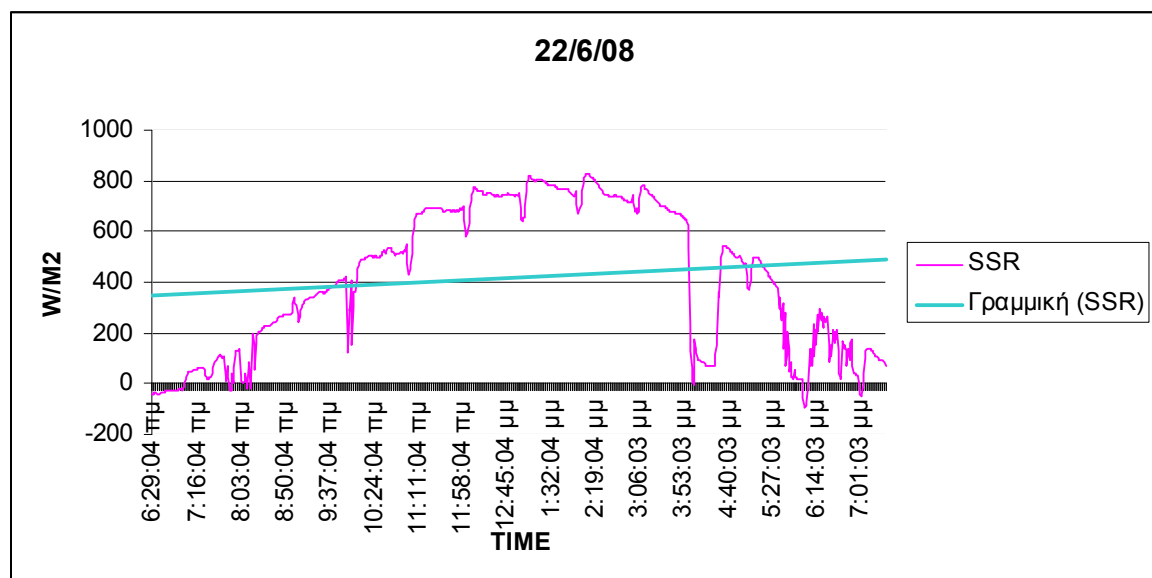
Παρουσιάζονται ενδεικτικές μετρήσεις πριν και μετά την εφαρμογή του θόλου κατά τον μήνα Ιούνιο. Διακρίνεται η μέτρηση του starboard side pyranometer με ερυθρό

χρώμα ή πράσινο, από την μέτρηση του port side pyranometer με μπλε χρώμα (Εικόνα 4.1).



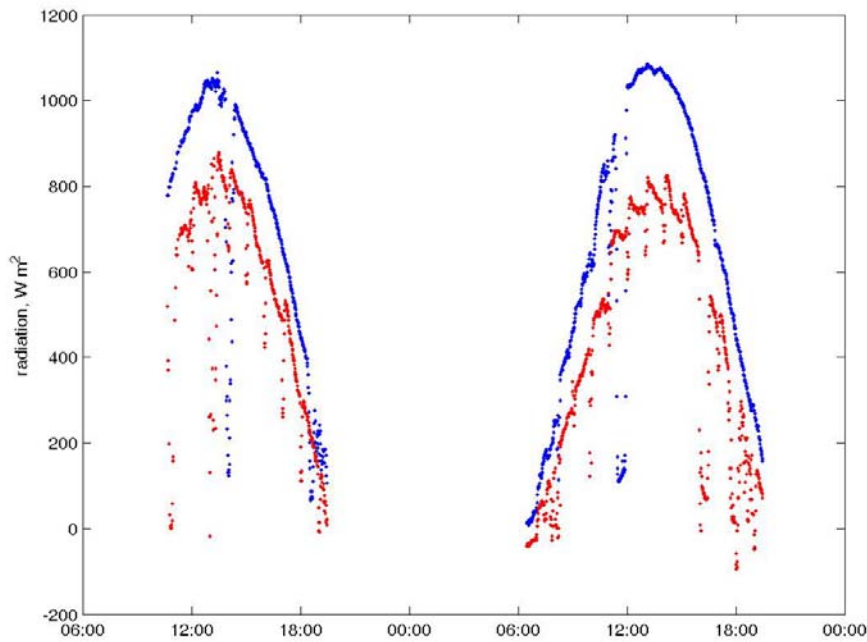
Εικόνα 4.1: Μετρήσεις pyranometer σταθμού πριν την εφαρμογή του θόλου και μετά.

Τιμές του SSR μια μέρα μετά την εγκατάσταση του θόλου παρουσιάζονται στην εικόνα (4.2), καθώς και ότι, η τάση των τιμών του SSR για την 22/6/08 είναι αύξουσα.



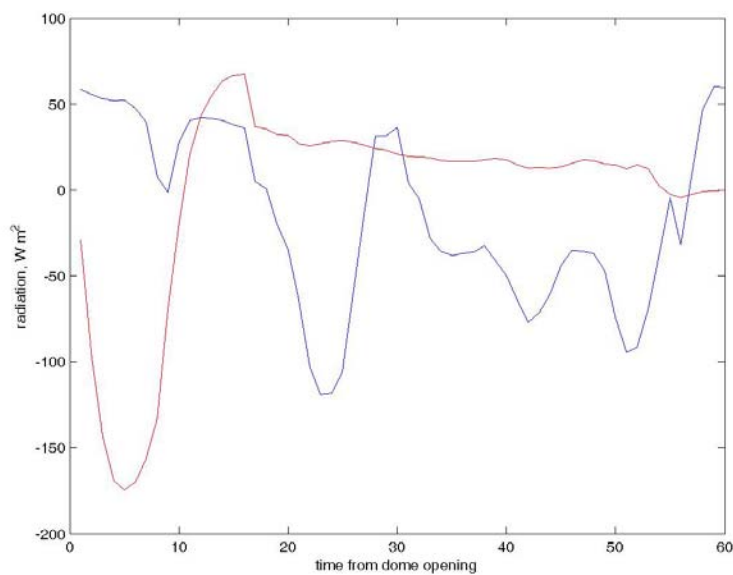
Εικόνα 4.2: Τιμές pyranometer όπου οι βυθίσεις είναι εμφανείς περιοδικά (θόλος ανοικτός) και η αύξουσα τάση τιμών.

Η καταγραφή των τιμών των ημερών 21ης και 22ης Ιουνίου των δύο pyranometer έδειξε διαφορά μεγίστων τιμών 200 W/m^2 και 300 W/m^2 αντίστοιχα (Εικόνα 4.3).



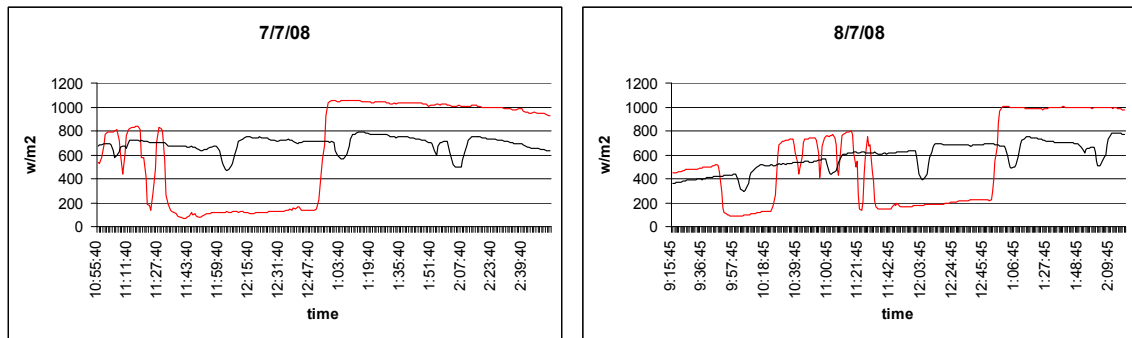
Εικόνα 4.3: Καταγραφή τιμών όπου φαίνονται οι διαφορές τιμών 21 & 22 Ιουνίου.

Το αποτέλεσμα της μέσης τιμής της μεταβλητότητας της χρονοσειράς, κατά την διάρκεια ανοικτού θόλου για τον Ιούνιο των δυο pyranometer, που περιγράψαμε στο 3.7 φαίνεται στο διάγραμμα της Εικόνας (4.4). Μπλε γραμμή PSR κόκκινη γραμμή SSR.



Εικόνα 4.4: Μέση τιμή της μεταβλητότητας των τιμών Ιουνίου.

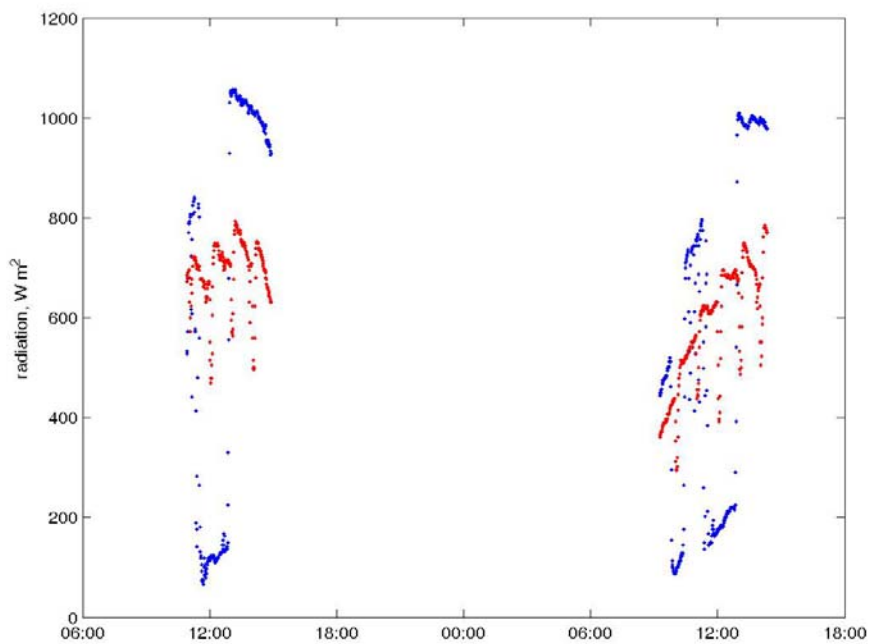
Μετρήσεις 7^{ης} & 8^{ης} ημέρας κατά τον μήνα Ιούλιο (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 4.5 : Μετρήσεις τιμών ryganometer 7^{ης} και 8^{ης} Ιουλίου.

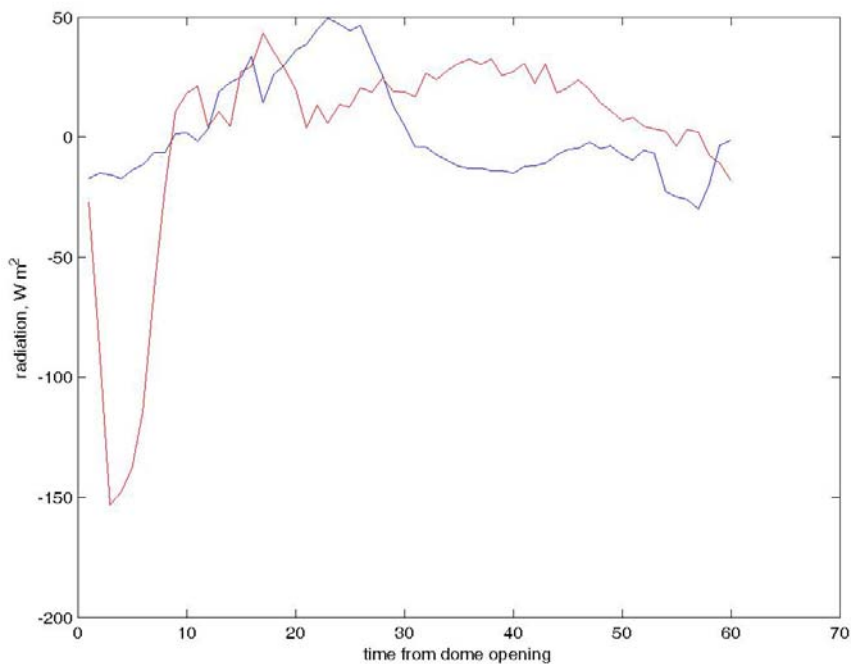
Η μέτρηση του starboard side ryganometer είναι με μαύρο χρώμα, η μέτρηση του port side ryganometer με ερυθρό χρώμα και έχει πραγματοποιηθεί αμοιβαία ανταλλαγή αισθητηρίων στα αντίστοιχα κανάλια του datalogger κατά τις ημέρες αυτές του μήνα Ιουλίου.

Η καταγραφή διαφοράς τιμών των ημερών 7ης και 8^{ης} μηνός Ιουλίου των δύο ryganometer, παρουσιάζεται στην εικόνα (4.6).



Εικόνα 4.6: Καταγραφή τιμών όπου φαίνονται οι τιμές 7^{ης} και 8^{ης} Ιουλίου.

Η μέση τιμή της μεταβλητότητας της χρονοσειράς, κατά την διάρκεια ανοικτού θόλου για τον Ιούλιο των δυο ryganometer, παρουσιάζεται στην εικόνα (4.7). Μπλε γραμμή PSR κόκκινη γραμμή SSR .



Εικόνα 4.7: Μέση τιμή της μεταβλητότητας των τιμών Ιουλίου. Περισσότερες μετρήσεις ημερών στο κεφάλαιο του παραρτήματος.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας χρειάζονται για:

- την εκτίμηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη θάλασσα με τη χρήση σημειακών μετρήσεων.
- την εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής της δυνητικά εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.
- την εκτίμηση της εξάτμισης.
- την εκτίμηση της albedo.
- τον καταμερισμό των χρήσεων της παράκτιας ζώνης.
- τη αλιεία.
- τον εντοπισμό των σημείων με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πλευράς ηλιακής ενέργειας και
- τον εντοπισμό σημείων με ιδιαίτερα οικολογικά χαρακτηριστικά.

Τα ιδιαίτερα συμπεράσματα από την παρούσα εργασία είναι ότι :

- Διακρίνεται μία προϋπάρχουσα υποβάθμιση στη μέτρηση του starboard side pyranometer από την μέτρηση του port side pyranometer , η οποία είναι της τάξεως του 4,38% για τον μήνα Απρίλιο. Λόγω μακροχρόνιας χρήσης του σταθμού χωρίς συντήρηση και ρύθμιση της εσωτερικής βαθμονόμησης των αισθητήρων (δεν ισχύουν οι συντελεστές α , β του 2000 για την εξίσωση $Q1' = \alpha \cdot Q1 + \beta$).

- Η διαφορά μεγαλώνει με την εφαρμογή του θόλου, τον μήνα Ιούνιο (είναι της τάξεως του 20,92%), προφανώς λόγω μη διαβίβασης της υπεριώδους ακτινοβολίας μέσα από το διάφανο κάλυμμα και της υψηλότερης θερμοκρασίας αναφοράς σε σχέση με του περιβάλλοντος(εξηγείται παρακάτω).

- Όταν είναι κλειστός ο Η/Υ δεν παίρνει μετρήσεις ο καταγραφέας (datalogger) του σταθμού, γι'αυτό και δεν υπάρχουν πλήρεις χρονοσειρές τιμών. Ο οποίος πρέπει να επαναπρογραμματιστεί για μετρήσεις σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, πέρα του ενός min για τα ηλιακά όργανα.

- Παρατηρώντας τα διαγράμματα μέσης τιμής ηλιακής ακτινοβολίας των pyranometer τον μήνα Απρίλιο και Μάιο, διακρίνουμε τις τάσεις των τιμών να αυξάνονται και να είναι σχεδόν παράλληλες με εύρος την διαφορά τιμής των οργάνων λόγω εσωτερικής βαθμονόμησης. Ενώ για το διάστημα των μηνών Ιουνίου Ιουλίου η τάση των τιμών είναι φθίνουσα.

Τον Ιούνιο προφανώς λόγω εφαρμογής της συσκευής, τον δε Ιούλιο το αρχικό εύρος διαφοράς μέσω των τιμών οφείλεται στην εναλλαγή της θέσης των αισθητήρων μεταξύ των στα αντίστοιχα κανάλια του καταγραφέα τιμών.

- Την 22/6/08 μία ολοκληρωμένη καταγραφή της ημερήσιας μέτρησης των οργάνων παρουσιάζει τις ώρες που ο θόλος είναι ανοικτός, βυθίσεις στις τιμές του SSR (Εικόνα 4.2). Αυτό συμβαίνει γιατί ο ανιχνευτής είναι σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο θόλος δημιουργεί συνθήκη θερμοκηπίου και το σώμα του ανιχνευτή (ανοδιόμένο αλουμίνιο) λόγω πάχους του αγώγιμου μετάλλου έχει ικανή θερμοχωρητικότητα, έτσι η θερμογέφυρα βλέπει αρνητική διαφορά περιβαλλοντικής θερμοκρασίας– θερμοκρασία αναφοράς. Γι'αυτό οι ενδιάμεσες μετρήσεις όταν ο θόλος είναι κλειστός είναι ελαφρώς φθίνουσες.

Όταν ανοίξει ο θόλος ο ανιχνευτής αν και δέχεται τώρα UVA ακτινοβολία περίπου 5% παραπάνω (μικρό ποσό) ψύχεται (με ρυθμό μεγαλύτερο από 2.2 C/1min από ότι χρειάζεται για να μετρήσει ο συγκεκριμένος αισθητήρας) με αποτέλεσμα να παίρνει φθίνουσες τιμές για 5 min (λεπτά) μέχρι να αποκαταστηθεί η θερμική ισορροπία ανιχνευτή - ανοικτού περιβάλλοντος.

Τώρα ο ανιχνευτής αρχίζει να μετρά αυξητικά και έχουμε άνοδο τιμών (ανάδυση), ο θόλος κλείνει και συνεχίζει αυξητικά γιατί είναι σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όπως ανεβαίνει η θερμοκρασία εντός του, το σώμα του ανιχνευτή θερμαίνεται και δείχνει κάποιες φθίνουσες τιμές αν και η εξωτ. ροή αυξάνεται.

Το σύστημα έχει καλή προσέγγιση εφαρμογής στα πρωινά και απογευματινά επεισόδια (πλησιάζει τις κανονικές τιμές) .

-Η κλίση είναι η διαφορά θερμοκρασίας μέσα-έξω.

-Η φθίνουσα πλευρά της βύθισης δείχνει ροή ενέργειας προς το περιβάλλον από την συσσωρευμένη του αισθητήρα.

-Η αύξουσα πλευρά της βύθισης δείχνει εισερχόμενη ροή ενέργειας από το περιβάλλον προς τον αισθητήρα.

Ίσως ο θόλος αν είχε κενό αέρος ή περιοριζόταν μονάχα στο παράθυρο του αισθητήρα δεν θα υπήρχε αυτή η βύθιση.

- Εξετάζοντας την αρχική τιμή (άνοιγμα θόλου). τη τιμή βύθισης και τελική τιμή ανύψωσης, για κάθε ωριαίο επεισόδιο στις 22/6 7/7 και 8/7. Βρίσκουμε 24,46% μέση βύθιση και 30,90% μέση ανύψωση (Πίνακας 5.1), τιμές αρκετά μεγάλες.

- Τα αποτελέσματα της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της μεταβλητότητας, κάθε χρονικής στιγμής κατά την διάρκεια ανοικτού θόλου και για τους δύο μήνες δείχνουν αργή αποκατάσταση τιμών.

Δεν ενδείκνυται για πλοίο, παρά μόνο για σημαντήρα και μάλιστα χρησιμοποιώντας κυκλοφορία αέρα εντός του θόλου, επιπροσθέτως η ύπαρξη

αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας σώματος pyranometer θα διασφάλιζε την επιλογή και χρήση μίας τέτοιας συσκευής.

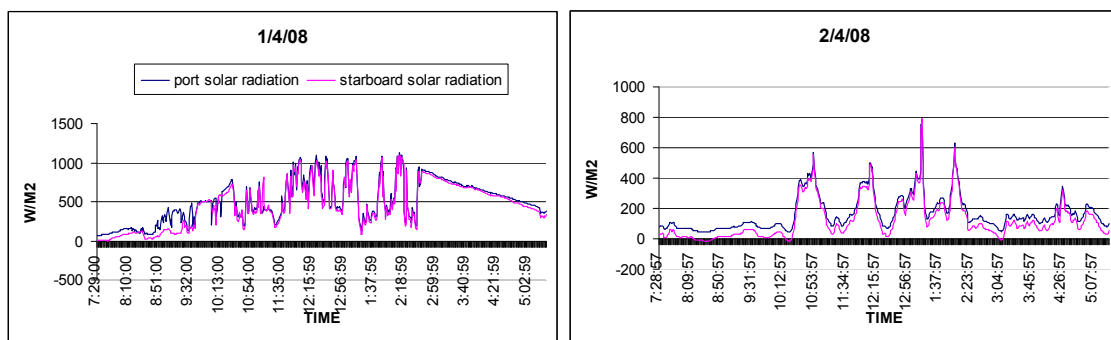
Πίνακας 5.1 Τιμές ωριαίων επεισοδίων και στατιστικά στοιχεία.

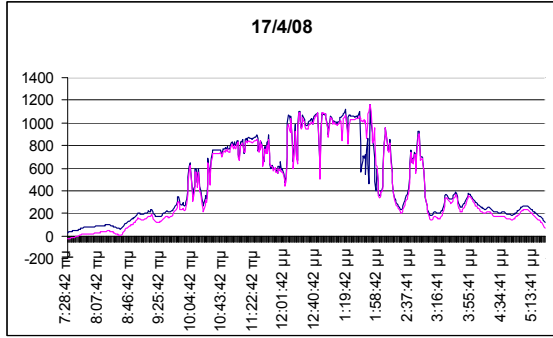
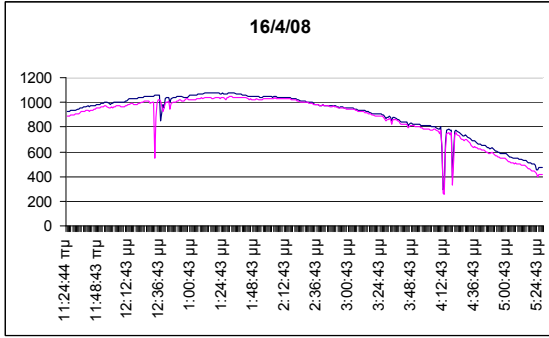
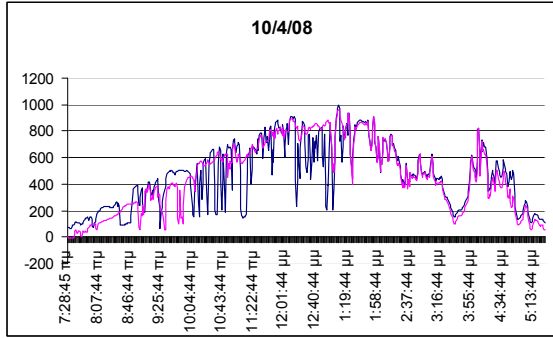
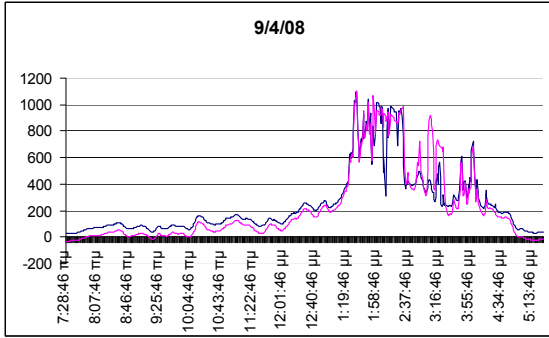
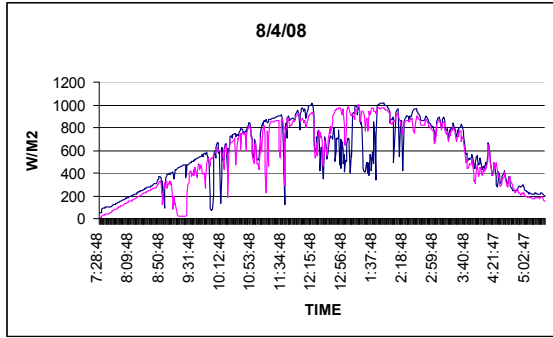
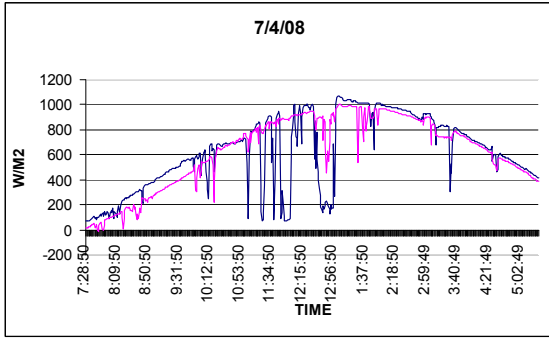
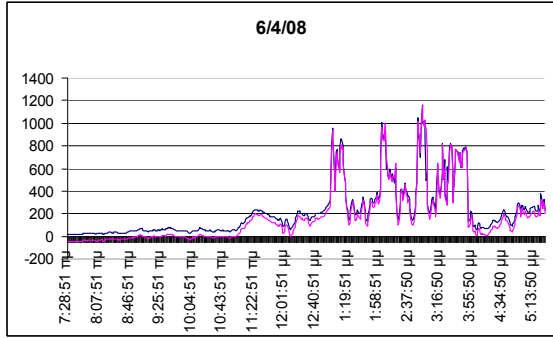
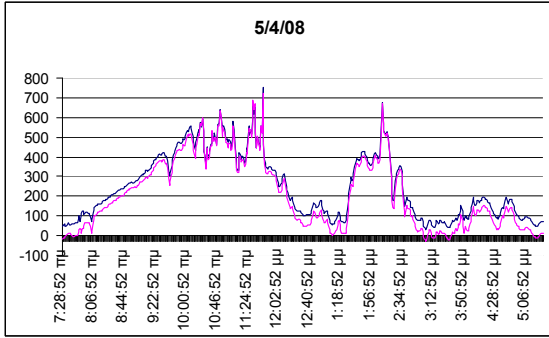
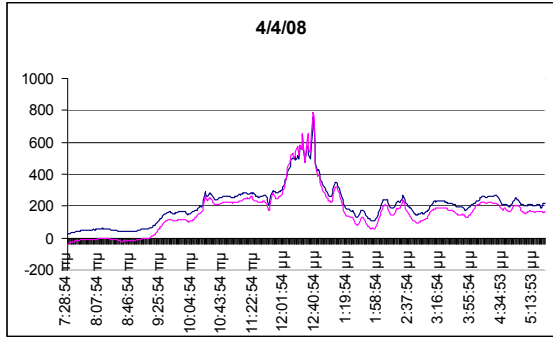
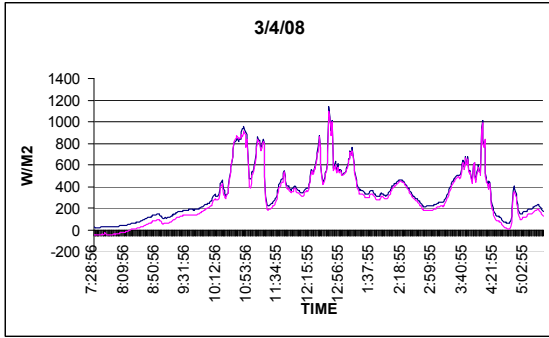
ημέρα/ώρα	αρχή	βύθιση	ανύψωση	διαφορά B-C	διαφορά D-C	βύθιση %	ανύψωση %
22/6 9-10	419,555	153,76	365,495	265,795	211,735	63,35165	137,7049
22/6 10-11	527,675	428,565	514,16	99,11	85,595	18,78239	19,97247
22/6 11-12	685,35	581,735	635,795	103,615	54,06	15,11855	9,292891
22/6 12-13	743,915	640,3	698,865	103,615	58,565	13,92834	9,146494
22/6 13-14	739,41	667,835	707,875	71,575	40,04	9,680015	5,995493
7/7 9-10	622,28	491,635	680,845	130,645	189,21	20,99457	38,48587
7/7 10-11	680,845	680,845	667,33	0	-13,515	0	-1,98503
7/7 11-12	671,835	469,11	505,15	202,725	36,04	30,17482	7,682633
7/7 12-13	707,875	563,715	608,765	144,16	45,05	20,36518	7,991627
7/7 13-14	707,875	496,14	559,21	211,735	63,07	29,91135	12,71214
8/7 9-10	437,575	293,415	514,16	144,16	220,745	32,94521	75,23303
8/7 10-11	563,715	437,575	572,725	126,14	135,15	22,37656	30,88613
8/7 11-12	631,29	397,03	572,725	234,26	175,695	37,10814	44,25232
8/7 12-13	676,34	487,13	640,3	189,21	153,17	27,97557	31,44335
8/7 13-14	667,33	505,15	680,845	162,18	175,695	24,30282	34,78076
					average	24,46768	30,90634

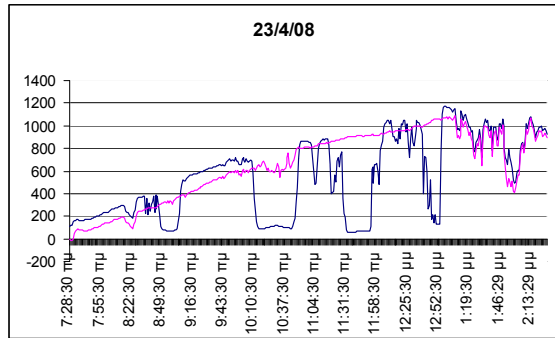
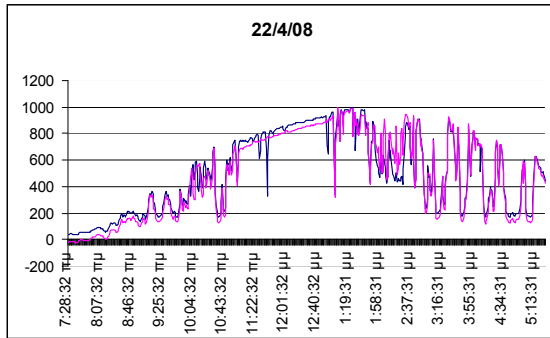
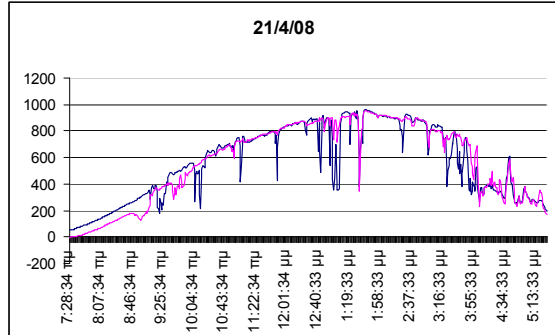
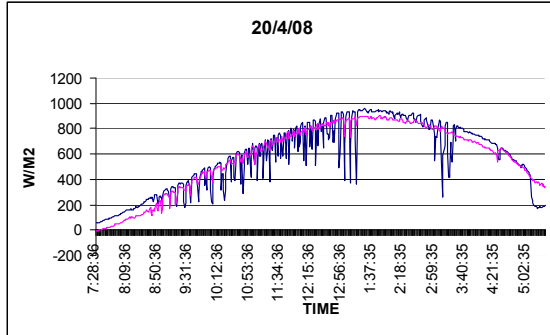
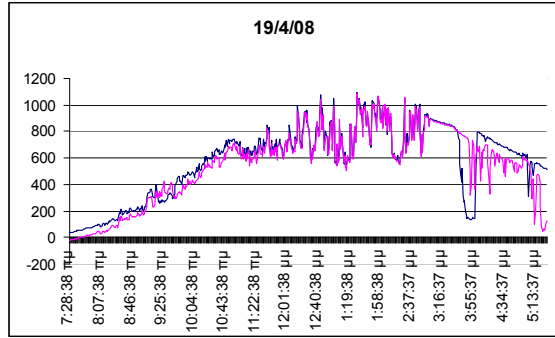
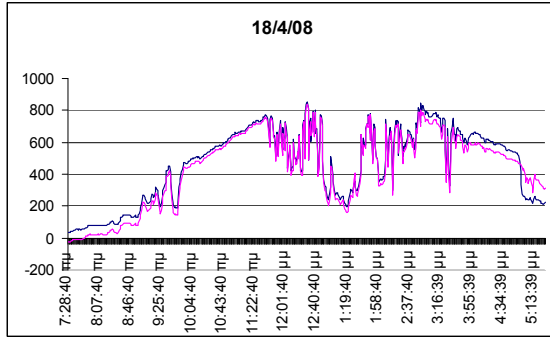
6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πρόσθετες μετρήσεις που εξήχθησαν.

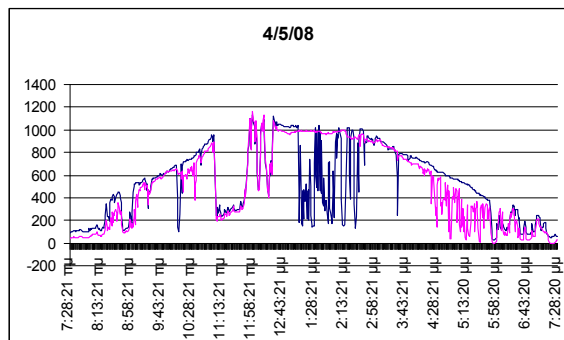
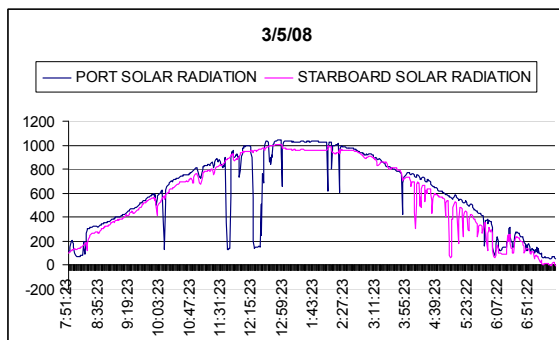
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΡΥΡΑΝΟΜΕΤΕΡ ΜΗΝΟΣ ΑΠΡΙΛΙΟΥ

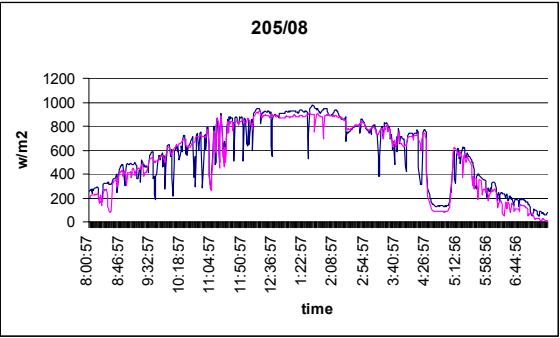
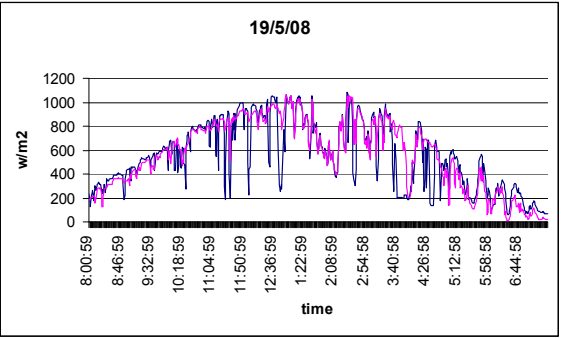
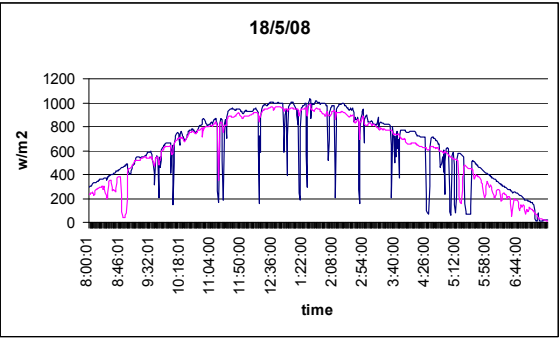
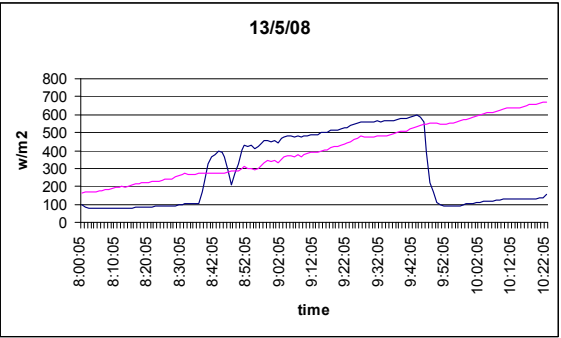
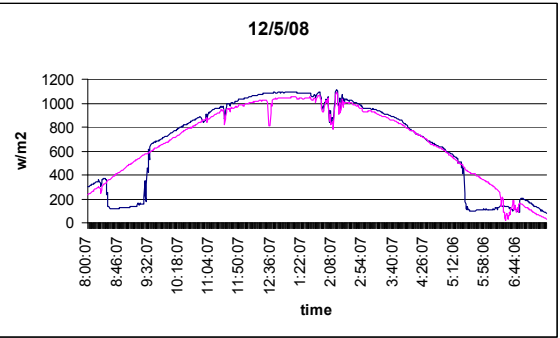
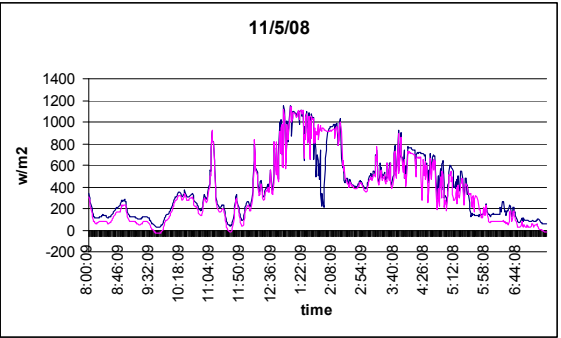
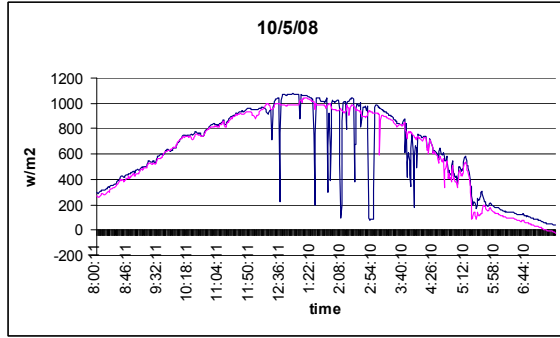
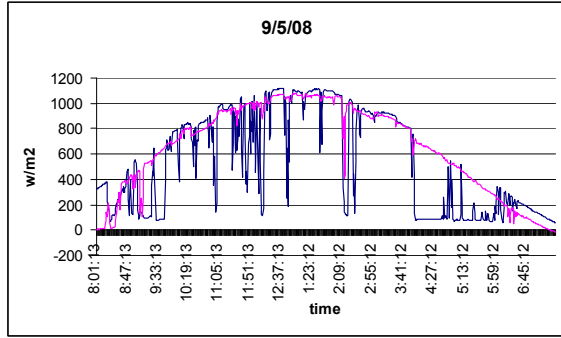
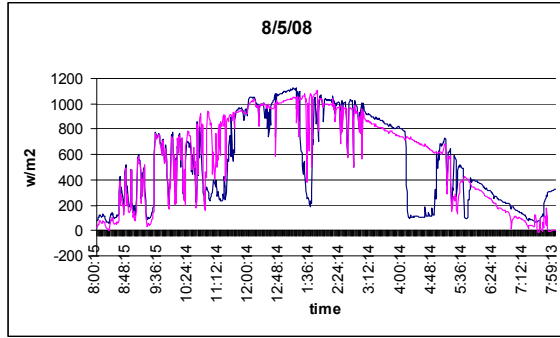
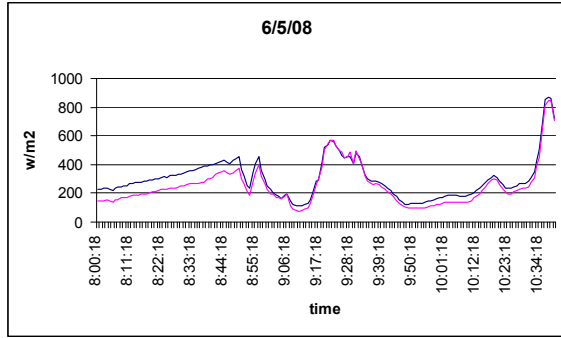


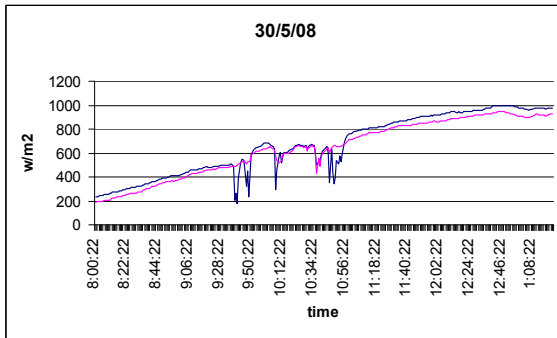
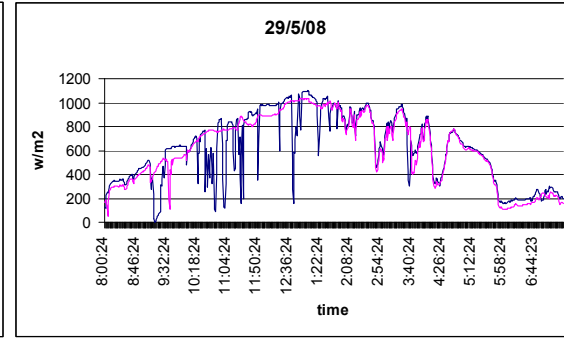
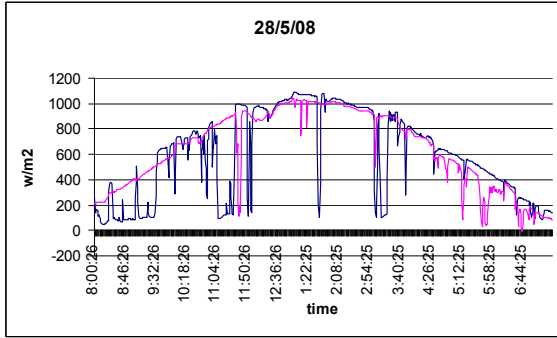
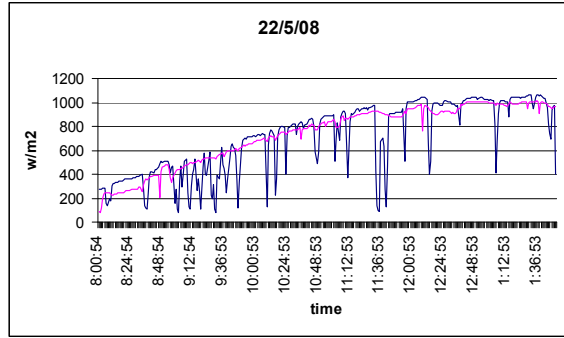
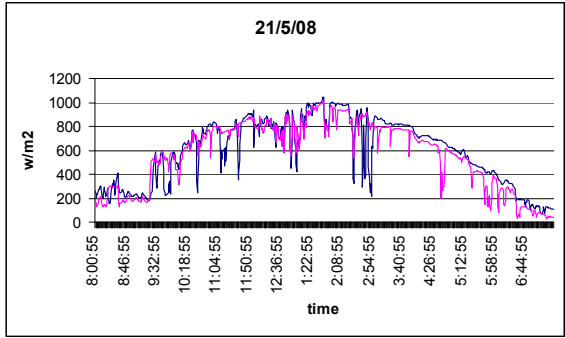




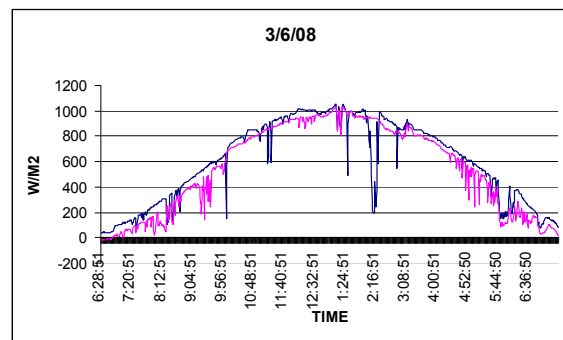
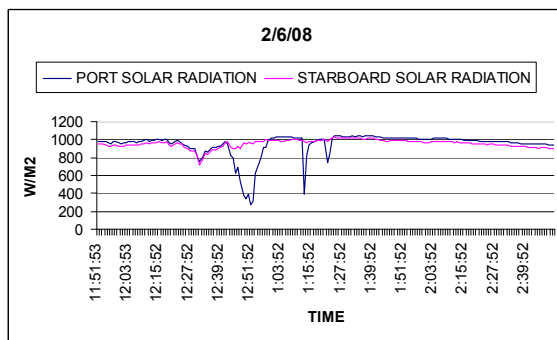
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡ ΜΗΝΟΣ ΜΑΙΟΥ

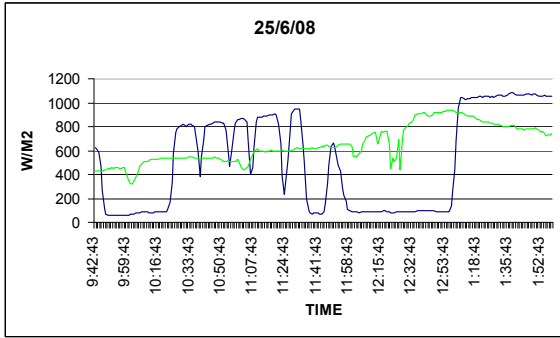
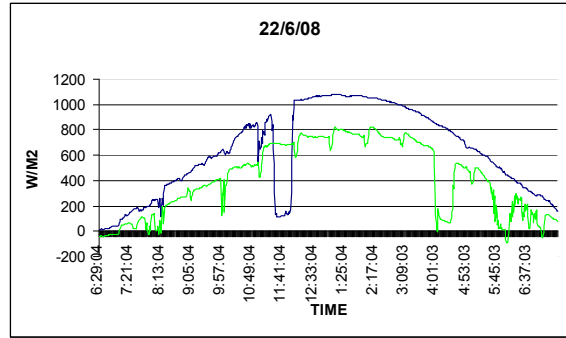
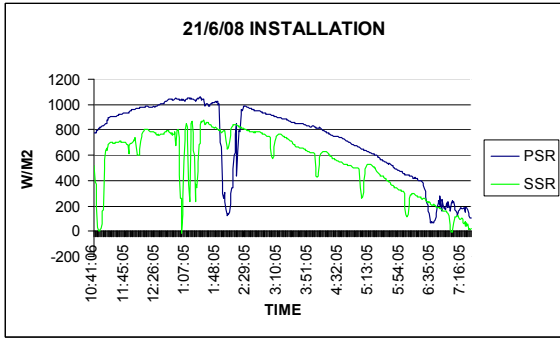
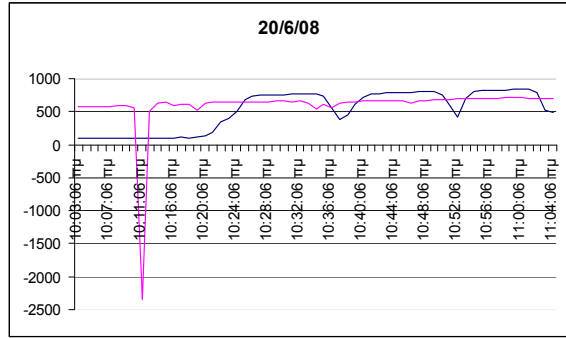
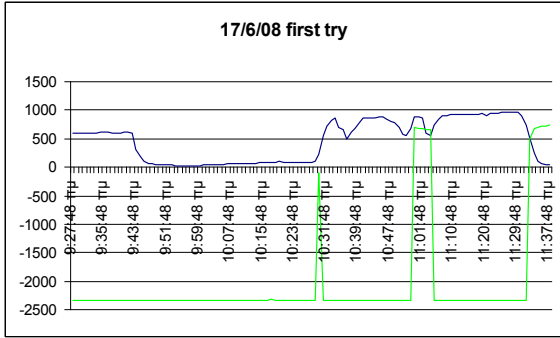
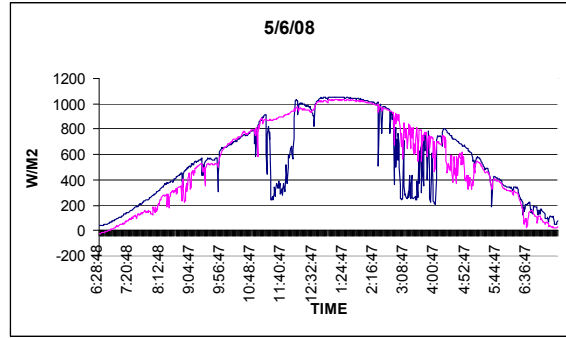
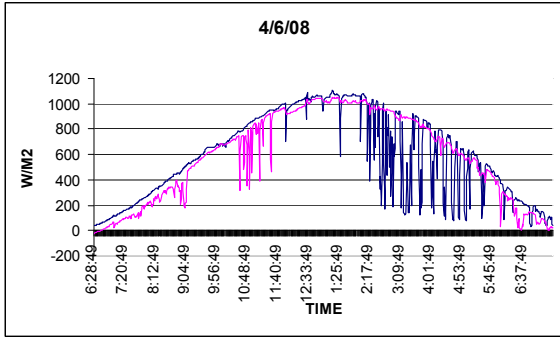




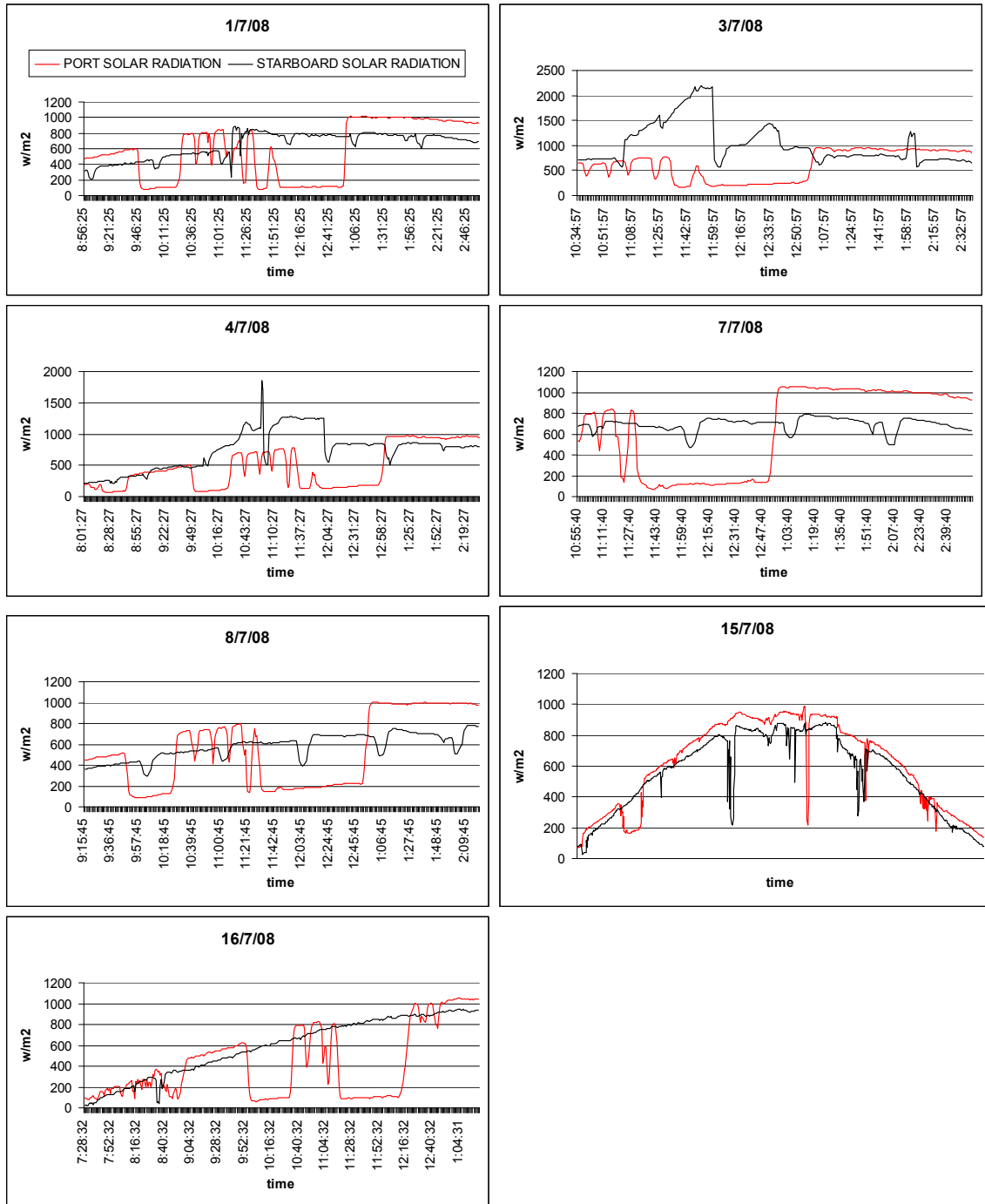


ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡ ΜΗΝΟΣ ΙΟΥΝΙΟΥ



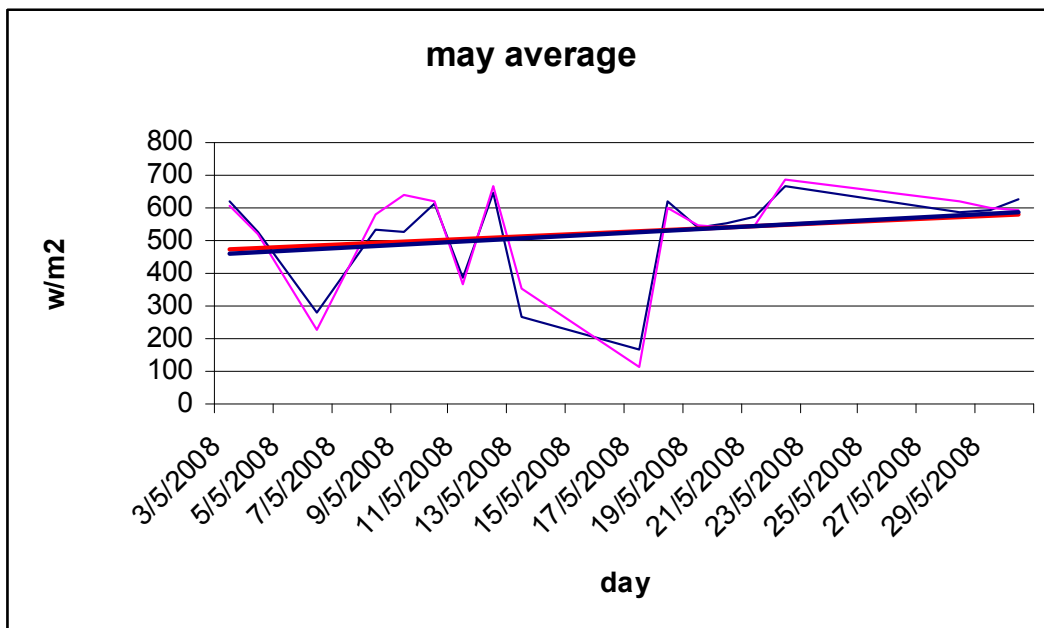
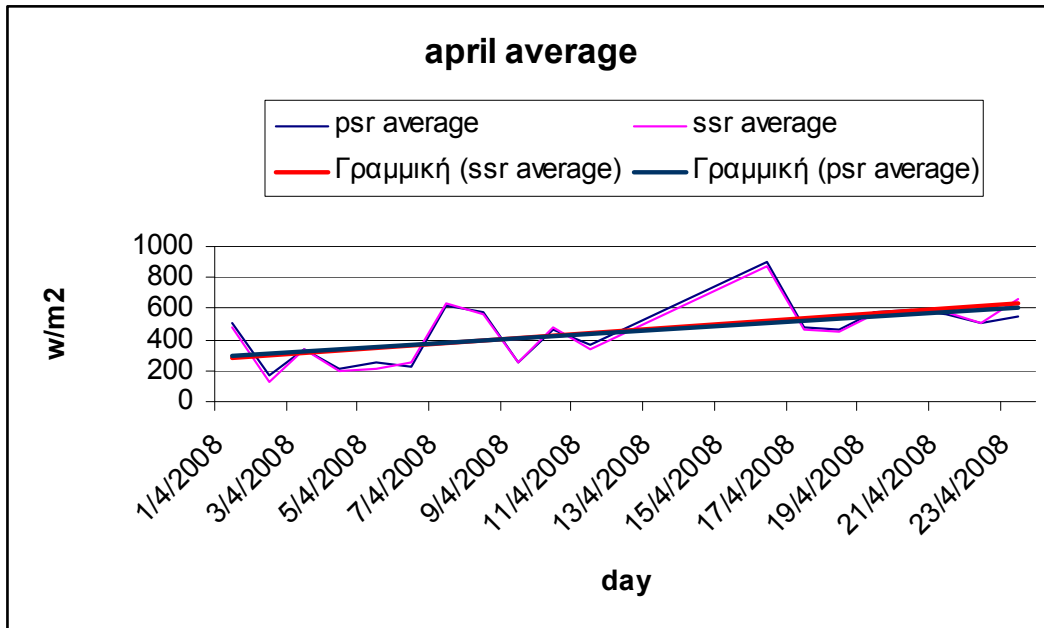


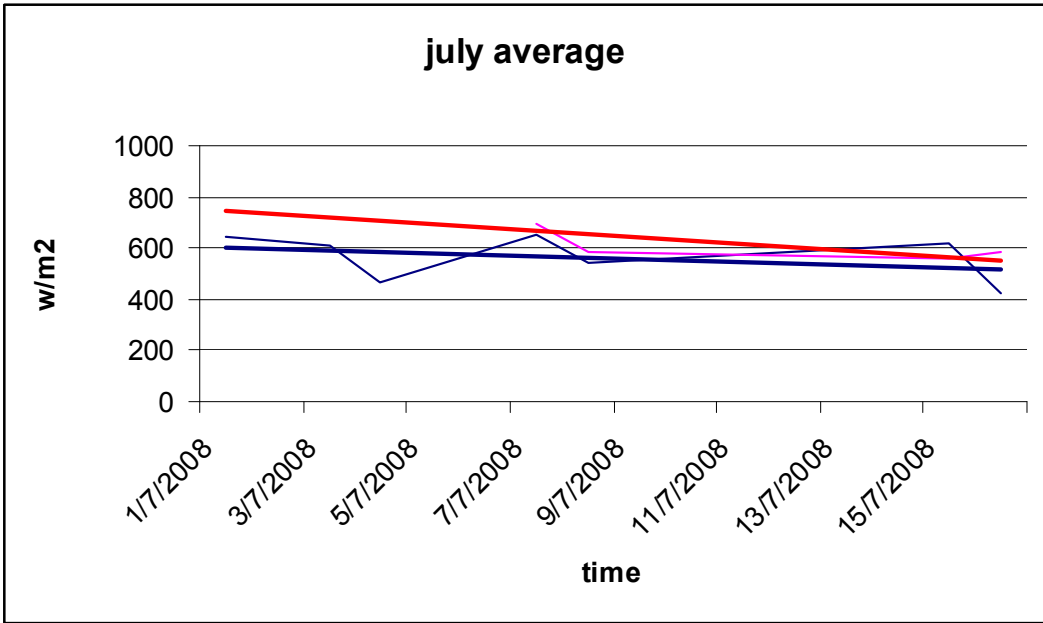
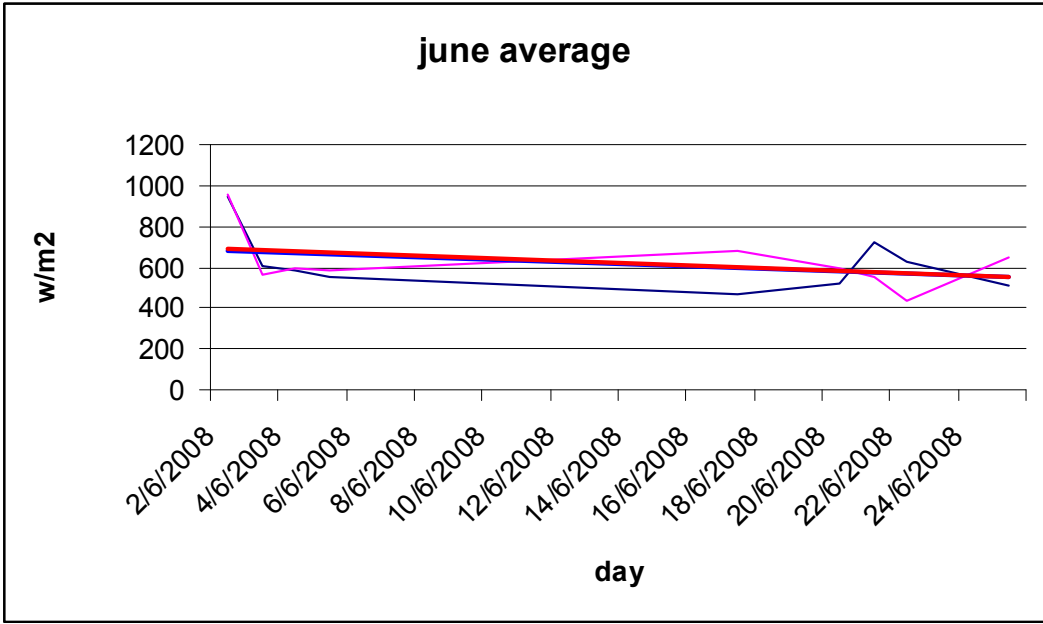
ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΡΥΡΑΝΟΜΕΤΕΡ ΜΗΝΟΣ ΙΟΥΛΙΟΥ



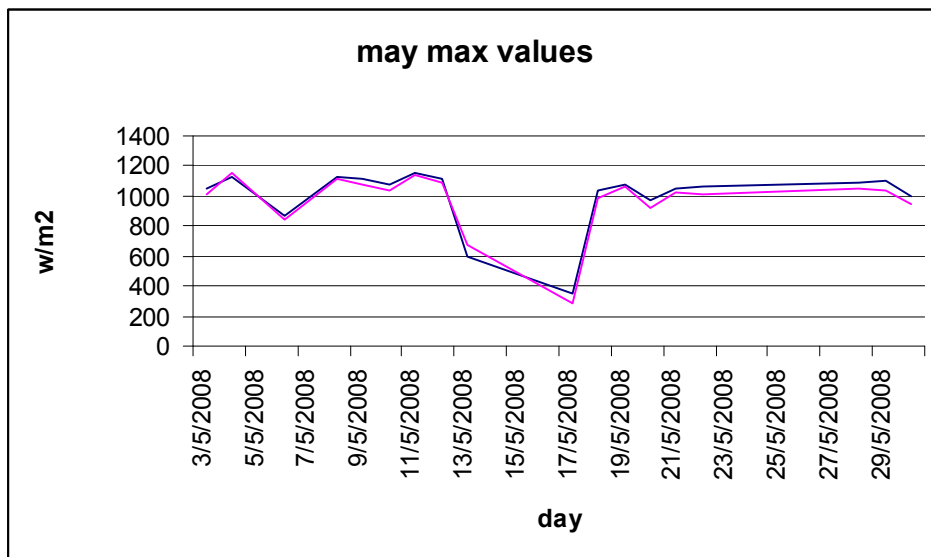
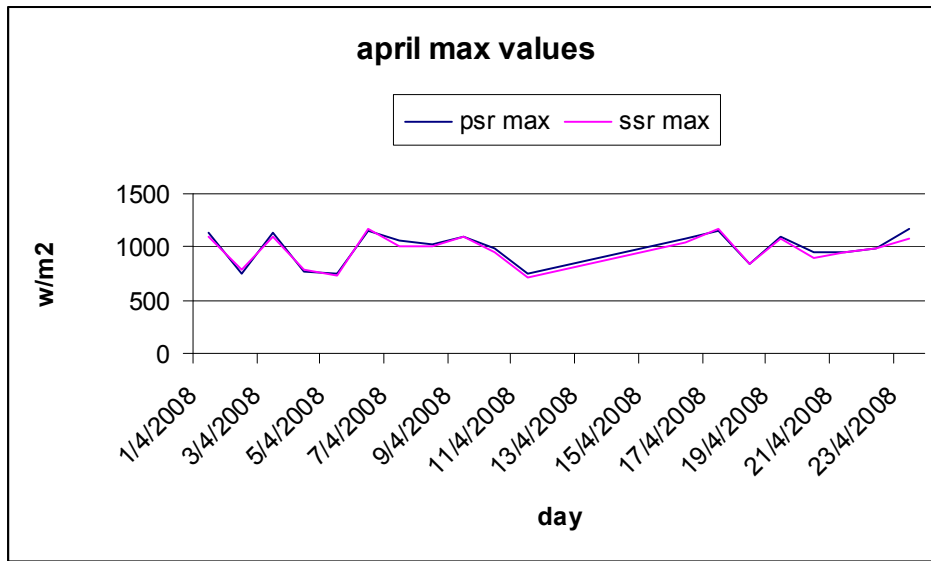
Διαφορά μέσων τιμών ρυρανόμετρο κατά το χρονικό διάστημα Απριλίου- Ιουλίου.

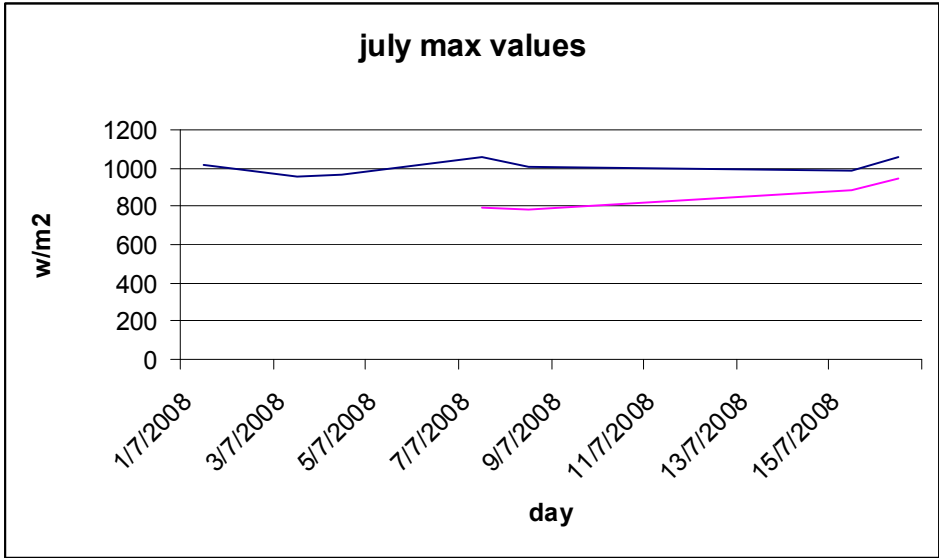
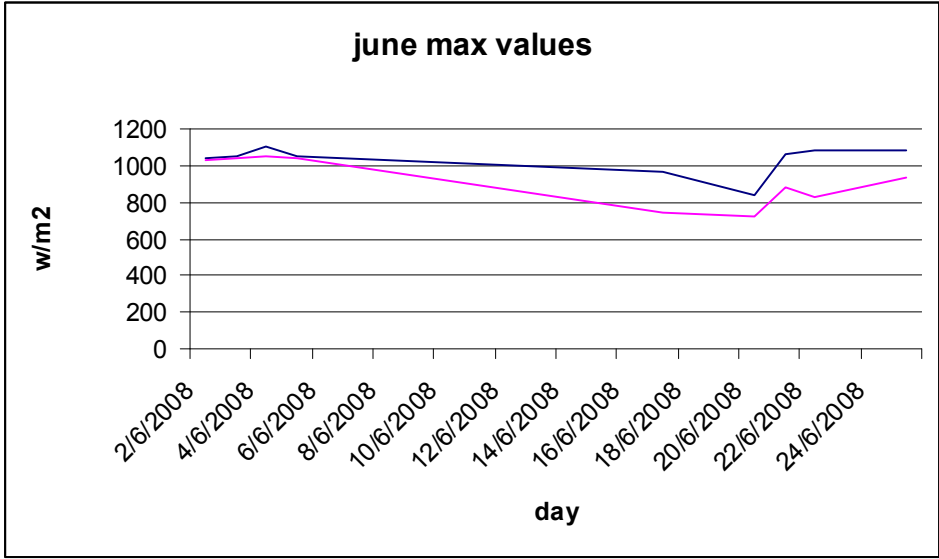
ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ (AVERAGES) ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ PYRANOMETER





ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ PYRANOMETER ANA ΜΗΝΑ





ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ





Create Tabular Datasets				
INSTRUMENT	CHANNEL_ID	CHANNEL	UNIT	Show
Weather station	50	Ship-wind gust (knots)	knots	<input type="checkbox"/>
Weather station	35	Port Net Radiation	W/m2	<input type="checkbox"/>
Weather station	34	Port Solar Radiation	W/m2	<input checked="" type="checkbox"/>
Weather station	24	Reference Voltage	V	<input type="checkbox"/>
Weather station	33	Starboard Net Radiation	W/m2	<input type="checkbox"/>
Weather station	32	Starboard Solar Radiation	W/m2	<input checked="" type="checkbox"/>
Weather station	31	Air Temperature	deg C	<input checked="" type="checkbox"/>
Weather station	47	Ship-Wind speed (m/s)	m/s	<input type="checkbox"/>
Weather station	49	Ship-Wind speed (knots)	knots	<input type="checkbox"/>
Weather station	51	Aanderaa Heading	deg	<input type="checkbox"/>
Weather station	30	Atmospheric Pressure	mbar	<input type="checkbox"/>
Weather station	29	Relative Humidity	%	<input type="checkbox"/>
Weather station	27	Ship-wind direction	deg	<input type="checkbox"/>
Weather station	48	Ship-wind gust (m/s)	m/s	<input type="checkbox"/>
True wind speed calculat	54	Wind's speed	knots	<input type="checkbox"/>
True wind speed calculat	55	Wind's direction	degrees	<input type="checkbox"/>
True wind gust calculator	56	Wind's speed	knots	<input type="checkbox"/>



7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνόπουλος Σ. (1988). "Ηλεκτρικές μετρήσεις". 4η έκδοση . Εκδόσεις ΙΩΝ.
- Μαμάης Δ. (2006). Σημειώσεις μαθήματος " Υδατικά οικοσυστήματα ". Σχολής Πολιτικών Μηχανικών. Ε.Μ.Π.
- Μπαλαράς Κ. Α., Αργυρίου Α. Α και Καραγιάννης Φ. Ε. (2006). "Συμβατικές και Ήπιες Μορφές Ενέργειας". Τ-Εκδοτική.
- Τραγου Ε. (2006). Σημειώσεις διάλεξης μαθήματος "Υδροδυναμικής Παρακτίων Περιοχών ".
- Acra A., Jurdi M., Karahagopian Y., Mu'Allem H., Raffoul Z. (1989). Water Disinfection by Solar Radiation. Assessment and application. International Development Research Centre Canada. pp. 1-63
- Carter Ohlmann J., Siegel D., Gautier C. (1996). Ocean Mixed Layer Radiant Heating and Solar Penetration A Global Analysis. Journal of climate. Vol.9. pp. 2265-2280
- Jeffrey W.H., Kase J.P and Wilhelm S.W. (2000). Ultraviolet Radiation Effects on Bacteria and Viruses in Marine Ecosystems. In S. de Mora, S. Demers, and M. Vernet (ed). The Effects of UV Radiation on Marine Ecosystems. Cambridge University Press. pp. 206-236
- Kaiser J. (1978). Heat Balance of the Upper Ocean under Light Winds. Journal of physical oceanography. Vol.8. pp. 1-12
- Katsaros K., DeVault J. (1986). On Irradiance Measurement Errors at Sea Due to Tilt of Pyranometers. Journal of atmospheric and oceanic technology. Vol.3. pp. 740-745.
- Kawamura H., Tanahashi S and Takahashi T. (1998). Estimation of Insulation over the Pacific Ocean off the Sanriku Coast. Journal of Oceanography. Vol. 54. pp. 457-464
- .Latimer J.R. (1964). An Integrating Sphere for Pyranometer Calibration. Journal of applied meteorology. Vol.3. pp. 323-326.
- Mamassis N. (2005). Calculation of Potential Solar Radiation from Geomorphologic Information, 7th Plinius Conference on Mediterranean Storms, 5-7 October. Rethymnon, Greece.
- Mullejeans H., Zaaiman W., Dunlop E., Ossenbrink H. (2005). Calibration of photovoltaic reference cells by the global sunlight method. Metrologia 42. pp. 360-367
- Payne E. R. (1994). Design and Validation of a Modified Eppley PSP Pyranometer. Woods Hole Oceanographic Institution. Technical Report. WHOI-94-30.

- Payne R., Anderson S. (1999). A new look at calibration and use of Eppley precision infrared radiometers. American Meteorological Society. pp. 739-751
- Philipona R. (2002). Underestimation of solar global and diffuse radiation measured at Earth's surface. Journal of Geophysical Research. Vol.107.NO. D22, 4654, published 29 November. pp. 151-158
- Ramanathan R., Crutzen J.V.P, Lelieveld J, Mitra A.P, Althausen D, (2001). Indian Ocean Experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze. Journal of geophysical research. Vol.106 pp. 28371-28398
- Ranzi R., Renzo R., (1995). Distributed estimate on of incoming direct solar radiation over drainage basin. Journal of Hydrology 166. pp. 461-478
- Reed R.K, Brainard R.E, (1983). A Comparison of Computed and Observed Insolation under Clear Skies over the Pacific Ocean. Journal of applied meteorology Vol.22. pp. 1125-1128
- Schilz J. (2000). Thermophysics minima: "thermoelectric infrared sensors (thermopiles) for remote temperature measurements pyrometry". Perkin Elmer Optoelectronics. pp 1-12
- Soares J., Amauri P. de Oliveira, Wainer I. and Servain J. (2001) Turbulent Fluxes over the Tropical Atlantic Ocean. W.M.O publications TD. 2001-soc. soton. ac. uk
- The results of the PEP'93 Intercomparison of Reference Cell Calibrations and Newer Technology Performance Measurements, NREL/TP-520-23477, (March 1998)
- WCRP-112 (2000). INTERCOMPARISON AND VALIDATION OF OCEAN-ATMOSPHERE ENERGY FLUX FIELDS. Final report of the Joint WCRP/SCOR Working Group on Air-Sea Fluxes. November. WMO/TD-No. 1036.
- Wilhelm S.W., M.G. Weinbauer, Suttle C.A and Jeffrey W.H. (1998). The role of sunlight in the removal and repair of viruses in the sea. Limnology and Oceanography 43. pp. 586-592.
- Wilhelm S.W., Jeffrey W.H., Suttle C.A and Mitchell D.L. (2002). Estimation of Biologically Damaging UV levels in Marine Surface Waters with DNA and Viral Dosimeters. Photochemistry and Photobiology 76(3). pp. 268 - 273.

<http://www.aanderaa.com>

<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0450/3/3/pdf/i1520-0450-3-3-323.pdf>

<http://almashriq.hiof.no/lebanon/600/610/614/solar-water/idrc/01-09.html>

<http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall05/nats101s54/lec7.ppt>

<http://web.auth.gr/virtualschool/2.4/TheoryResearch/KarpadakisYgrotopoi.html>

<http://www.bom.gov.au/sat/glossary.shtml>

<http://www.campbellsci.com>

http://www.climateprediction.net/schools/docs/Energy_Budget.ppt

<https://www.cresis.ku.edu/education/workshop/Presentations/Talk%203%20Energy%20Balance%20and%20Circulation%20Systems.ppt>

<http://www.DexterResearch.com>

<http://www.electrotech.gr/photovoltaics.htm>

http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/radiation_facts.html

<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html#snowmelt>

[http://www.gemlab.ukans.edu/solaranalyst/.](http://www.gemlab.ukans.edu/solaranalyst/)

<http://www.ictinternational.com.au>

<http://www.itia.ntua.gr/getfile/542/1/1999AdvHydroSnow.pdf>

http://www.itia.ntua.gr/nikos/adv_hydrology/ask1-4_07.pdf

[http://marine.rutgers.edu/mrs/class/yuri/yuri.html.](http://marine.rutgers.edu/mrs/class/yuri/yuri.html)

<http://www.middletonsolar.com/documents/EQ8Sman.pdf>

<http://www.novalynx.com>

<http://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31910.pdf>

<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/38202.pdf>

www.phys.ufl.edu/~matchev/MET1010/notes/Chapter02c.ppt

http://pink.evergreen.edu/scidata/info/pyranometer_calibration.pdf

<http://www.plaskolite.com>

<http://www.pr.ucy.ac.cy/newsletter/docs/koinotita15.pdf>

http://re.jrc.cec.eu.int/publications/osaka_traceability.pdf

<http://quake.eas.slu.edu/People/CEGraves/Eas107/notes/node25.html> .

<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-8497-205315/unrestricted/chap2.pdf>

http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-110899142510/unrestricted/Chapter_2.pdf

<http://sheridan.geog.kent.edu/geog31062/Ch03.ppt#295,23>, Total idealized insolation during 24 hours (daily radiation curve)

www.soest.hawaii.edu/GG/FACULTY/POPP/Lecture2.ppt

<http://www.srrb.noaa.gov/highlights/sunrise/glossary>

<http://www.squ1.com/solar/solar-radiation.html>