

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ/ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ  
ΟΙΚΙΣΚΟΥ ΔΟΚΙΜΩΝ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΟΥ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΠΟΥΛΗΜΕΝΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ (Α.Μ. 6242)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΠΛΑΝΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2015**



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και περιλαμβάνει την ανάλυση των εγκατεστημένων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι ενσωματωμένες στο κέλυφος ενεργειακού οικίσκου δοκιμών του Εργαστηρίου Α.Π.Ε. του Τ.Ε.Ι. Είναι όλο και πιο σύνηθες στις μέρες μας η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών, διότι προσφέρουν οικονομική ενέργεια η οποία χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον.

Αρχικά αναλύεται η κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο ενεργειακός οικίσκος πριν και μετά από τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν. Στη συνέχεια ακολουθεί μελέτη σκίασης μέσω πολικού χάρτη της τοποθεσίας, υπολογίζεται η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη που διαθέτει στην στέγη του, προσδιορίζεται η χρονική πτώση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι εγκατεστημένα και εκτιμάται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από αυτά για τον μήνα Δεκέμβριο.

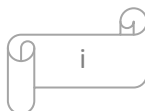
Θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Σωκράτη Καπλάνη, Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. για την εξαιρετική καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε κατά την πραγματοποίηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, ο οποίος ήταν και μέντορας στην εκπαίδευσή μου. Επίσης την Δρ. Ελένη Καπλάνη, Εργαστηριακή Συνεργάτη, για την σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση στις πειραματικές διαδικασίες και τις διάφορες υποδείξεις της, και τέλος τον Νταφογιάννη Παναγιώτη, Μηχανολόγο Μηχανικό για την βοήθεια του.

Πουλημένος Σπυρίδων  
Ιούλιος 2015

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:** Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής  
Πουλημένος Σπυρίδων

.....  
(Υπογραφή)





## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στις τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας που είναι ενσωματωμένες στον ενεργειακό οικίσκο δοκιμών του Εργαστηρίου Α.Π.Ε. Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας. Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου μέσω ηλιακών συλλεκτών και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, ενσωματωμένων που αποτελούν μέρος της στέγης του οικίσκου.

Η ανάπτυξη και η λειτουργία των τεχνολογιών αυτών γίνεται σε οκτώ Κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται ο ενεργειακός οικίσκος δοκιμών, τα μέρη που τον αποτελούν εσωτερικά και εξωτερικά, οι αλλαγές που έγιναν, τα υδραυλικά κυκλώματα που τον αποτελούν για την λειτουργία της ενδοδαπέδιας θέρμανσης και της θέρμανσης νερού προς χρήση ή θέρμανσης χώρου.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη σκίασης του ενεργειακού οικίσκου στα δύο σημαντικότερα σημεία του. Αναλυτικότερα περιγράφεται η σημαντικότητα μιας τέτοιας μελέτης, ακολουθείται ο τρόπος σχεδίασης και ανάγνωσης ενός πολιτικού χάρτη, προσδιορίζονται τα φυσικά <<εμπόδια>> και βρίσκονται όλες οι απαραίτητες διαστάσεις τους, υπολογίζονται οι αζιμουθίες και οι γωνίες ύψους όλων των εμποδίων και αποτυπώνονται σχηματικά στον πολιτικό χάρτη και τέλος σχεδιάζεται σε αυτούς η τροχιά που ακολουθεί ο ήλιος κατά την διάρκεια της ημέρας για κάποιες επιμέρους ημερομηνίες. Δίνεται παράδειγμα κατανόησης.

Στο τρίτο Κεφάλαιο περιγράφονται γενικά οι ηλιακοί συλλέκτες, τα είδη συλλεκτών που συναντάμε, η αρχή λειτουργίας τους και ακολουθεί αναλυτικά η περιγραφή και ο τρόπος λειτουργίας των επίπεδων συλλεκτών. Τέτοιου είδους συλλέκτες διαθέτει και ο ενεργειακός οικίσκος που μελετάμε. Προσδιορίζονται τα σημαντικά μεγέθη και η ανάλυση της διαδρομής που ακολουθεί η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτούς.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο περιγράφονται οι θερμικές απώλειες των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και η μεθοδολογία υπολογισμού τους. Συγκεκριμένα αναλύονται οι απώλειες από την πίσω, πλάγια και εμπρόσθια όψη τους και αναφέρονται οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας που λαμβάνουν χώρα σε κάθε περίπτωση.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποσκοπεί στην εύρεση της απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη της στέγης κατά κάποιες συγκεκριμένες ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι. Αρχικά περιγράφεται η συνδεσμολογία των συλλεκτών του οικίσκου και δίνονται αναλυτικά όλες οι διαστάσεις των μερών που τους αποτελούν και όλες οι χαρακτηριστικές τους ιδιότητες. Ακολουθεί ο υπολογισμός των απωλειών θερμότητας του συλλέκτη με την βοήθεια πειραματικής διαδικασίας, η ωφέλιμη θερμική ενέργεια που παράγεται και τέλος η απόδοση του συλλέκτη για κάποιες ώρες.

Στο έκτο Κεφάλαιο υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο της στέγης του οικίσκου για μια αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου. Στην αρχή αναφέρεται η φύση και οι βασικές έννοιες της ακτινοβολίας, λαμβάνονται μετρήσεις στο οριζόντιο επίπεδο και γίνεται μετατροπή σε αυτό της στέγης. Τέλος υπολογίζεται η ενέργεια από τον ήλιο που πέφτει ημερησίως σε αυτήν.

Το έβδομο Κεφάλαιο περιλαμβάνει την πειραματική διαδικασία προσδιορισμού της ισχύος αιχμής των φωτοβολταϊκών συστημάτων του οικίσκου λόγω γήρανσης. Το κεφάλαιο αυτό, αρχίζει με γενικές αναφορές στα φωτοβολταϊκά συστήματα, ακολουθεί η περιγραφή των φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι εγκατεστημένα και αναλύεται η πειραματική διαδικασία. Κατά το πείραμα, γίνεται λήψη και αποτύπωση

των χαρακτηριστικών τους καμπυλών I-V και γίνεται αναγωγή σε συνθήκες πρότυπων λειτουργιών ώστε να προσδιοριστεί και να συγκριθεί η νέα, μειωμένη ονομαστική ισχύς τους λόγω γήρανσης.

Στο όγδοο Κεφάλαιο υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί μελλοντικά σε μια πλήρους διαστασιολόγηση.

Τα σημαντικότερα από τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα Πτυχιακή Εργασία είναι :

1. Ο ενεργειακός οικίσκος αναβαθμίστηκε και αυτοματοποιήθηκε στα πλαίσια της Πτυχιακής μου εργασίας.
2. Μελετήθηκε η σκίαση του οικίσκου και προκύπτει ότι η τοποθεσία δεν είναι ιδανική λόγω φυσικών εμποδίων.
3. Η ενσωμάτωση στην στέγη του ηλιακού συλλέκτη της φαίνεται πως είναι ικανοποιητική
4. Παρατηρήθηκε μεγάλη πτώση στην ισχύ των φωτοβολταϊκών πλαισίων με την πάροδο του χρόνου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ Η ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ

1.1 Γενικά.....	1
1.2 Διαστάσεις.....	3
1.3 Εσωτερικά και εξωτερικά μέρη.....	3
1.4 Υδραυλικό κύκλωμα και ιδιομορφίες.....	7
1.5 Αλλαγές υδραυλικού κυκλώματος – λειτουργιών .....	11
1.6 Υδραυλικό κύκλωμα – λειτουργίες μετά τις αλλαγές.....	13

### 2. ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΙΑΣΗΣ

2.1 Γενικά.....	18
2.2 Σχεδίαση και ανάγνωση πολικού χάρτη.....	18
2.3 Μεθοδολογία μελέτης σκίασης.....	19
2.4 Διαστάσεις εμποδίων.....	22
2.5 Υπολογισμός ζενίθιας – γωνίας ύψους εμποδίων.....	25
2.6 Αποτύπωση εμποδίων στο πολικό χάρτη.....	29
2.7 Αποτύπωση τροχιάς ηλίου.....	30
2.8 Συμπεράσματα σκίασης.....	33

### 3. ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

3.1 Γενικά.....	34
3.2 Είδη ηλιακών συλλεκτών.....	34
3.3 Κύρια μεγέθη επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.....	38
3.4 Περιγραφή σταδίων ηλιακών ακτινών σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες....	39
3.5 Επιλεκτικές επιφάνειες επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.....	41

### 4. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

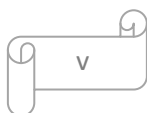
4.1 Γενικά.....	43
4.2 Θερμικές απώλειες από τις πίσω και πλάγιες όψεις.....	44
4.3 Θερμικές απώλειες από τον υαλοπίνακα.....	45

### 5. ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

5.1 Ιδιοκατασκευές συλλεκτών οικίσκου.....	48
5.2 Ενεργειακές απώλειες συλλέκτη στέγης (θερμική ενέργεια – υπέρυθρη ακτινοβολία).....	52
5.2.1 Απώλειες θερμότητας από τον υαλοπίνακα.....	52
5.2.2 Απώλειες θερμότητας από την πίσω και πλάγιες πλευρές.....	62
5.3 Απόδοση συλλέκτη της στέγης.....	66

### 6. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

6.1 Γενικά.....	73
-----------------	----



6.2 Βασικές έννοιες ηλιακής ακτινοβολίας.....	74
6.3 Συντελεστής μετατροπής ακτινοβολίας στο επίπεδο της στέγης .....	75
6.4 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων για τον Δεκέμβριο.....	76
6.5 Υπολογισμός PSH.....	80
<b>7. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ</b>	
7.1 Γενικά.....	85
7.2 Περιγραφή φωτοβολταϊκών πλαισίων του οικίσκου.....	85
7.3 Πειραματική διαδικασία για την μελέτη λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων του οικίσκου.....	87
7.4 Διεξαγωγή καμπυλών I-V για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου.....	91
7.5 Αναγωγή των καμπυλών I-V σε συνθήκες STC .....	97
<b>8. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΙΚΙΣΚΟ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ</b>	
8.1 Γενικά.....	102
8.2 Επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγόμενη ισχύ.....	103
8.3 Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.....	104
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ</b> .....	106
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	107

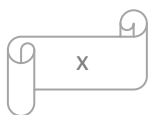


## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ - ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

**A.M** = Φασματική κατανομή προσπίπτουσας ακτινοβολίας – Αέρια μάζα  
 **$\alpha$**  = Συντελεστής απορρόφησης συλλεκτικής επιφάνειας  
 **$\alpha_{\delta}$**  = Θερμική διαχυτότητα  
 **$\alpha_{pv}$**  = Συντελεστής μεταβολής θερμοκρασίας για το ρεύμα φωτοβολταϊκών  
**B** = Γωνία ημέρας ελλειπτικής τροχιάς  
 **$\beta$**  = Κλίση φωτοβολταϊκού  
 **$\beta_{pv}$**  = Συντελεστής μεταβολής θερμοκρασίας για την τάση φωτοβολταϊκών  
 **$\beta_v$**  = Συντελεστής επέκτασης όγκου  
 **$\gamma_{pv}$**  = Συντελεστής μεταβολής θερμοκρασίας για την ισχύ φωτοβολταϊκών  
 **$\Delta T$**  = Διαφορά θερμοκρασίας  
 **$\delta$**  = Ηλιακή απόκλιση  
 **$\delta P_m$**  = Μεταβολή ισχύς φωτοβολταϊκού  
**E** = Διορθωτικός συντελεστής λόγω ελλειπτικής τροχιάς  
 **$E_E$**  = Εμβαδό ενέργειας καμπύλης ακτινοβολίας  
 **$E_{\Phi\Delta}$**  = Ηλεκτρική παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών τον Δεκέμβριο  
 **$E_1$**  = Εμβαδό PSH'  
 **$E_2$**  = Εμβαδό ενέργειας καμπύλης ολικής ακτινοβολίας  
 **$E_3$**  = Εμβαδό ενέργειας καμπύλης ολικής ακτινοβολίας με σκίαση  
 **$E_4$**  = Εμβαδό PSH  
 **$\epsilon$**  = Συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας  
 **$\epsilon_{\sigma}$**  = Συντελεστής εκπομπής συλλεκτικής επιφάνειας  
 **$\epsilon_{\tau\zeta}$**  = Συντελεστής εκπομπής τζαμιού  
 **$\theta$**  = Κλίση συλλέκτη  
 **$\Lambda$**  = Συντελεστής θερμοδιαφυγής  
 **$\lambda\delta$**  = Ανελαστικότητα τζαμιού για την διάχυτη ακτινοβολία  
 **$\mu$**  = Δυναμικό ιξώδες  
 **$\nu$**  = Κινηματικό ιξώδες  
 **$\rho$**  = Πυκνότητα  
 **$\sigma$**  = Σταθερά Stefan - Boltzmann  
 **$\tau$**  = Διαπερατότητα ηλιακής ακτίνας από το τζάμι  
 **$\varphi$**  = Γωνία πρόσπτωσης ακτινοβολίας  
 **$\omega$**  = Ωριαία γωνία ηλίου  
**A** = Επιφάνεια  
 **$A_c$**  = Επιφάνεια συλλέκτη  
 **$a_i$**  = Συντελεστής θερμικής μετάβασης  
 **$a_o$**  = Συντελεστής θερμικής μετάβασης  
 **$C_p$**  = Ειδική θερμότητα  
**D** = Εξωτερική διάμετρος κάθετων σωλήνων συλλέκτη  
 **$d_i$**  = Εσωτερική διάμετρος κάθετων σωλήνων συλλέκτη  
**d** = Πάχος συλλέκτη  
**F** = Απόδοση περυσίου  
 **$F_R$**  = Θερμικός συντελεστής συλλέκτη

$F'$  = Συντελεστής θερμικής αντίστασης συλλέκτη  
 $Gr$  = Αριθμός Grashof  
 $g$  = Επιτάχυνση της βαρύτητας  
 $h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$  = Συντελεστής απωλειών από την συλλεκτική επιφάνεια στο τζάμι με ακτινοβολία  
 $h_{\alpha, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon}$  = Συντελεστής απωλειών από το τζάμι στο περιβάλλον με ακτινοβολία  
 $h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$  = Συντελεστής απωλειών από την συλλεκτική επιφάνεια στο τζάμι με συναγωγή  
 $h_{\sigma, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon}$  = Συντελεστής απωλειών από το τζάμι στο περιβάλλον με συναγωγή  
 $h_{c, i}$  = Επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας συλλέκτη  
 $I$  = Ακτινοβολία  
 $I'$  = Απόσταση κέντρων κάθετων σωλήνων συλλέκτη  
 $I_b$  = Άμεση ηλιακή ακτινοβολία  
 $I_d$  = Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία  
 $I_{sc}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης  
 $I_{sc, stc}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης σε πρότυπες συνθήκες  
 $I_{scA}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης Πλαίσιο A  
 $I_{scB}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης Πλαίσιο B  
 $I_{sc(A1)}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης Πλαίσιο A 1<sup>η</sup> μέτρηση  
 $I_{sc(A2)}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης Πλαίσιο A 2<sup>η</sup> μέτρηση  
 $I_{sc(B1)}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης Πλαίσιο B 1<sup>η</sup> μέτρηση  
 $I_{sc(B2)}$  = Ρεύμα βραχυκύκλωσης Πλαίσιο B 2<sup>η</sup> μέτρηση  
 $I_T$  = Προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία  
 $I_{\beta}$  = Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών  
 $I-V$  = Γραφική παράσταση σημείων λειτουργίας τάσης συναρτήσεως ρεύματος για τα φωτοβολταϊκά  
 $k$  = Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  
 $k_w$  = Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας νερού  
 $k_{\mu}$  = Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μόνωσης  
 $k_{\mu \epsilon \tau}$  = Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μετάλλου  
 $L$  = Απόσταση μεταξύ δυο επιφανειών  
 $L_{loc}$  = Γεωγραφικό μήκος  
 $L_{st}$  = Άτρακτος μεσημβρινού  
 $L_{\mu}$  = Μήκος του συλλέκτη (τζαμιού)  
 $L_{\mu, \sigma \mu \lambda}$  = Μήκος συλλεκτικής επιφάνειας  
 $m$  = Βοηθητικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας συλλεκτικής επιφάνειας  
 $\dot{m}$  = Μαζική παρχή  
 $n$  = Αύξον αριθμός της ημέρας  
 $NOCT$  = Αναμενόμενη θερμοκρασία πλαισίου υπό συγκεκριμένες συνθήκες SOC  
 $Nu$  = Αριθμός Nusselt  
 $Pr$  = Αριθμός Prandtl  
 $P_m$  = Ισχύς αιχμής  
 $P_{m, stc}$  = Ισχύς αιχμής σε πρότυπες συνθήκες  
 $P_{mA}$  = Ισχύς αιχμής Πλαίσιο A  
 $P_{m(A1)}$  = Ισχύς αιχμής Πλαίσιο A 1<sup>η</sup> μέτρηση  
 $P_{m(A2)}$  = Ισχύς αιχμής Πλαίσιο A 2<sup>η</sup> μέτρηση  
 $P_{mB}$  = Ισχύς αιχμής Πλαίσιο B  
 $P_{m(B1)}$  = Ισχύς αιχμής Πλαίσιο B 1<sup>η</sup> μέτρηση  
 $P_{m(B2)}$  = Ισχύς αιχμής Πλαίσιο B 2<sup>η</sup> μέτρηση  
 $P_{m\delta}$  = Συνολική εγκατεστημένη ισχύς οικίσκου για τον Δεκέμβριο

**PSH** = Ισοδύναμες ώρες λειτουργίας σε πρότυπες συνθήκες με σκίαση  
**PSH'** = Ισοδύναμες ώρες λειτουργίας σε πρότυπες συνθήκες χωρίς σκίαση  
**Q<sub>u</sub>** = Ωφέλιμη θερμότητα συλλέκτη  
**q** = Ροή θερμότητας  
**R** = Συντελεστής μετατροπής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο  
**R<sub>a</sub>** = Αριθμός Rayleigh  
**R<sub>b</sub>** = Συντελεστής κλίσης ολικής ακτινοβολίας  
**R<sub>d</sub>** = Συντελεστής κλίσης για την διάχυτη ακτινοβολία  
**S** = Μήκος περιμέτρου συλλέκτη σε επαφή με το περιβάλλον  
**R<sub>T</sub>** = Θερμική αντίσταση  
**SOC** = Πρότυπες συνθήκες  
**STC** = Πρότυπες συνθήκες  
**T<sub>a</sub>** = Θερμοκρασία περιβάλλοντος  
**T<sub>b</sub>** = Θερμοκρασία λεπτής στιβάδας συλλεκτικής επιφάνειας  
**T<sub>c</sub>** = Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού  
**T<sub>i</sub>** = Θερμοκρασία εισόδου νερού στον συλλέκτη  
**T<sub>m,αέρα</sub>** = Θερμοκρασία αέρα ανάμεσα από την συλλεκτική επιφάνεια και το τζάμι  
**T<sub>o</sub>** = Θερμοκρασία εξόδου νερού στον συλλέκτη  
**T<sub>w</sub>** = Θερμοκρασία νερού συλλέκτη  
**T<sub>δ</sub>** = Θερμοκρασία δωματίου οικίσκου  
**T<sub>ουρ</sub>** = Θερμοκρασία ουράνιου θόλου  
**T<sub>σ</sub>** = Θερμοκρασία συλλεκτικής επιφάνειας  
**T<sub>σ,δ</sub>** = Μέση θερμοκρασία μεταξύ συλλεκτικής επιφάνειας και αέρα δωματίου  
**T<sub>τζ</sub>** = Θερμοκρασία τζαμιού  
**t** = Πάχος συλλεκτικής επιφάνειας  
**U** = Συντελεστής θερμοπερατότητας  
**U<sub>μ</sub>** = Συνολικός συντελεστής απωλειών μεταλλικών όψεων συλλέκτη  
**U<sub>o</sub>** = Συνολικός συντελεστής απωλειών  
**U<sub>π</sub>** = Συντελεστής απωλειών από την πίσω όψη του συλλέκτη  
**U<sub>πλ</sub>** = Συντελεστής απωλειών από της πλάγιες όψεις του συλλέκτη  
**U<sub>τζ</sub>** = Συντελεστής απωλειών από τον υαλοπίνακα του συλλέκτη  
**u** = Ταχύτητα ανέμου στο ύψος του συλλέκτη  
**u<sub>meteo</sub>** = Ταχύτητα ανέμου στο ύψος του μετεωρολογικού σταθμού  
**u<sub>w</sub>** = Ταχύτητα νερού  
**V<sub>oc</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος  
**V<sub>oc,STC</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος σε πρότυπες συνθήκες  
**V<sub>ocA</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος Πλαίσιο A  
**V<sub>ocB</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος Πλαίσιο B  
**V<sub>oc(A1)</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος Πλαίσιο A 1<sup>η</sup> μέτρηση  
**V<sub>oc(A2)</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος Πλαίσιο A 2<sup>η</sup> μέτρηση  
**V<sub>oc(B1)</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος Πλαίσιο B 1<sup>η</sup> μέτρηση  
**V<sub>oc(B2)</sub>** = Τάση ανοικτού κυκλώματος Πλαίσιο B 2<sup>η</sup> μέτρηση  
**X** = Πάχος επιφάνειας  
**X<sub>μετ</sub>** = Πάχος μετάλλου  
**X<sub>πi,μ</sub>** = Πάχος μόνωσης πίσω όψης  
**X<sub>πλ,μ</sub>** = Πάχος μόνωσης πλάγιων όψων  
**2W** = Απόσταση τοιχωμάτων κάθετων σωληνώσεων συλλέκτη  
**(τα)** = Παράγοντας οπτικών απωλειών  
**(τα)<sub>n</sub>** = Παράγοντας οπτικών απωλειών συμπεριλαμβανομένου τις συνολικές ακτίνες  
**(Εργαστήριο ΑΠΕ)** = Το εργαστήριο των ΑΠΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ώρα που βλέπουμε στο ρολόι μας ανά πάσα στιγμή, είναι ίδια σε όλη την έκταση της χώρας μας. Ορίζεται ως Τοπικός Ωρολογιακός Χρόνος (**ΤΩΧ**) και διαφέρει από τον Αληθή Ηλιακό Χρόνο (**ΑΗΧ**). Ο Αληθής Ηλιακός Χρόνος από την άλλη, διαφέρει από τόπο σε τόπο και από ημέρα σε ημέρα. Συγκεκριμένα ορίζεται από την τροχιά του ηλίου (που μεταβάλλεται ανά ημέρα) με γνώμονα το μέγιστο ύψος (ζενίθ) που φτάνει ο ήλιος. Αυτή η στιγμή (στο ζενίθ) ονομάζεται Ηλιακό Μεσημέρι και συμφωνούμε να το ορίζουμε ως 12:00. Η σχέση που συνδέει τους δυο αυτούς χρόνους είναι η ακόλουθη [4]:

$$\text{ΑΗΧ} = \text{ΤΩΧ} - 4 \frac{[\text{min}]}{[^\circ]} \cdot (\text{L}_{\text{st}} - \text{L}_{\text{loc}}) + \text{E}$$

Οι όροι αναλύονται στην *Ενότητα 4.3* καθώς υπάρχει και παράδειγμα για την κατανόηση του.

Κατά την μελέτη του ενεργειακού οικίσκου και συγκεκριμένα κατά την μελέτη και λειτουργία των φωτοβολταϊκών και του κεκλιμένου συλλέκτη, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την κλίση τους  $\beta$ . Η κλίση αυτή υπολογίζεται πολύ εύκολα από τις διαστάσεις του οικίσκου που φαίνονται στο Κεφάλαιο 1 μέσω του ορισμού της εφαπτομένης :

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{2,20[\text{m}] - 1,77[\text{m}]}{1,78\text{m}} \right) \rightarrow \beta = 13,58 [^\circ]$$

Για τις πειραματικές μετρήσεις και την ανάλυση, απαιτείται η καταγραφή των θερμοκρασιών διαφόρων επιφανειών και χώρων για να υπολογιστούν τα αποτελέσματα. Για την καταγραφή των θερμοκρασιών χρησιμοποιούμε **θερμοζεύγη**. Ως γνωστόν ένα θερμοζεύγος αποτελείται από δυο διαφορετικούς μεταλλικούς αγωγούς ενωμένους στα άκρα τους Σχ 1. Η αρχή λειτουργίας του στηρίζεται στην ιδιότητα που έχουν δύο διαφορετικοί αγωγοί όταν έρθουν σε άμεση επαφή, να δημιουργείται μία θερμοηλεκτρική τάση ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας. Τα θερμοζεύγη ανάλογα με το υλικό των αγωγών τους χωρίζονται σε διάφορους τύπους, στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη τύπου T (Cu-Kons)



Σχήμα 1

Η αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων για διάφορες χρονικές στιγμές, γίνεται μέσω συσκευής Data Logger που διαθέτει τόσο ο οικίσκος όσο και το Εργαστήριο ΑΠΕ. Οι Data Logger που χρησιμοποιούνται είναι τύπου CR10X *Είκ.1* και είναι προγραμματισμένοι να αποκωδικοποιούν τιμές ρεύματος, τάσης και σημάτων. Περισσότερα για τους Data Logger που χρησιμοποιούμε μπορούν να ληφθούν από την ηλεκτρονική διεύθυνση [24].



Εικόνα 1

Τα θερμοζεύγη όπως και άλλες ψηφιακές συσκευές του οικίσκου όπως Πυρανόμετρο, Ροόμετρο κ.α, συνδέονται στον Data Logger και καταγράφονται οι τιμές τους καθ όλη την διάρκεια της ημέρας. Το πυρανόμετρο που διαθέτει ο οικίσκος, είναι ένα αισθητήριο που μετράει την τιμή της ολικής ακτινοβολίας στο επίπεδο των 13,58 [°]. Περισσότερα για τον τύπο και την λειτουργία του βρίσκονται στην ηλεκτρονική διεύθυνση [21].

Ένα άλλο αισθητήριο που συνδέεται στον καταγραφέα Data Logger, είναι το ροόμετρο που μετράει την παροχή του νερού στο υδραυλικό σύστημα των συλλεκτών και της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Η τιμή της παροχής είναι τέτοια από τον κυκλοφορητή [25] του συστήματος των συλλεκτών ώστε να έχει τιμή περίπου 40 [L/h]. Περισσότερα για τον τύπο και την λειτουργία του ροομέτρου βρίσκονται στην διεύθυνση [26].

Στο πείραμα που θα ακολουθήσει για τον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών του κεκλιμένου συλλέκτη, χρειάζεται να γνωρίζουμε θερμοφυσικά μεγέθη του αέρα και του νερού σε διάφορες θερμοκρασίες. Τιμές των μεγεθών αυτών βρίσκονται στο Παράρτημα του Πίνακα Θερμοφυσικών μεγεθών. Ο υπολογισμός των μεγεθών σε συγκεκριμένη θερμοκρασία βρίσκεται μέσω γραμμικής παρεμβολής από δύο κοντινές τιμές του μεγέθους που αναζητάμε με την μέθοδο που περιγράφεται στο βιβλίο [1] σελ 95.

Κατά την μελέτη των φωτοβολταϊκών που θα ακολουθήσει είναι αναγκαίο να αναφέρουμε τις συνθήκες STC και SOC. Οι συνθήκες STC, είναι πρότυπες συνθήκες που έχουν συμφωνηθεί διεθνώς για να μπορούμε να συγκρίνουμε τα φωτοβολταϊκά μεταξύ τους εφόσον η ισχύς τους εξαρτάται από την ακτινοβολία, την θερμοκρασία κτλ.

Συγκεκριμένα οι συνθήκες **STC** αναφέρονται σε περιβάλλον με :

- Ολική Ακτινοβολία 1000 [W/m<sup>2</sup>]
- Φασματική κατανομή προσπίπτουσας ακτινοβολίας – Αέρια μάζα 1,5
- Θερμοκρασία Φωτοβολταϊκού 25 [°C]

Συνεπώς όταν σε ένα φωτοβολταϊκό Πλαίσιο αναγράφεται η ισχύς 100 [Wp], σημαίνει πως το Πλαίσιο αποδίδει ισχύ 100 [W] υπό τις παραπάνω συνθήκες.

Από την άλλη, οι πρότυπες συνθήκες **SOC** είναι βοηθητικές συνθήκες για να τον προσδιορισμό της πραγματικής θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου με την μέθοδο NOCT. Οι συνθήκες αυτές είναι :

- Ολική Ακτινοβολία 800 [W/m<sup>2</sup>]
- Φασματική κατανομή προσπίπτουσας ακτινοβολίας – Αέρια μάζα 1,5
- Θερμοκρασία Φωτοβολταϊκού 20 [°C]

# 1. Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΟΙΚΙΣΚΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΤΩΝ ΑΠΕ ΚΑΙ Η ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο Ενεργειακός οικίσκος που θα εξετάσουμε, βρίσκεται στην περιοχή του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας στον χώρο του Εργαστηρίου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και είναι ορατός από την οδό Θεοτοκοπούλου. Το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής που βρίσκεται είναι  $38,22^\circ$  και  $21,75^\circ$  αντίστοιχα. Στις *Εικ.1.1* έως *Εικ. 1.4* φαίνονται όλες οι όψεις του

1. Ηλιακή Καμινάδα
2. Βόρειος τοίχος
3. Δεξαμενή αποθήκευσης
4. Τετράοδη βάνα
5. Δοχείο διαστολής



Εικόνα 1.1: Βόρεια όψη ενεργειακού οικίσκου

1. Ιδιοκατασκευή επίπεδου Ηλιακού συλλέκτη στέγης
2. Φωτοβολταϊκά πλαίσια
3. Ιδιοκατασκευή επίπεδου Ηλιακού συλλέκτη πρόσοψης



Εικόνα 1.2 : Νότια όψη ενεργειακού οικίσκου, τεχνολογίες ΑΠΕ στο κέλυφος του



**Εικόνα 1.3 : Ανατολική όψη ενεργειακού οικίσκου**



**Εικόνα 1.4 : Δυτική όψη ενεργειακού οικίσκου**

Ο ενεργειακός οικίσκος, έχει ενσωματωμένες στο κέλυφος του τεχνολογίες ΑΠΕ που του επιτρέπουν να είναι ενεργειακά αυτόνομος. Τέτοιες τεχνολογίες είναι :

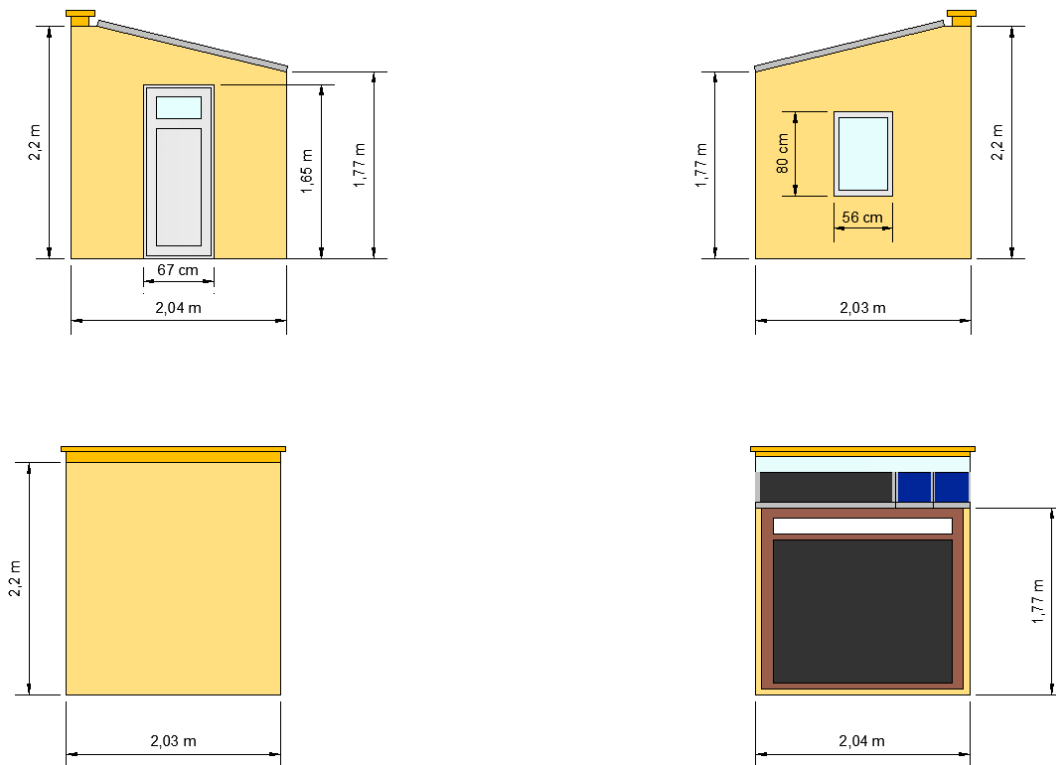
1. Ιδιοκατασκευή τύπου επίπεδου Ηλιακού συλλέκτη στην νότια πρόσοψη ενσωματωμένη στον τοίχο η οποία αποτελεί αυτή καθαυτή μέρος του τοίχου.
2. Ιδιοκατασκευή τύπου επίπεδου Ηλιακού συλλέκτη που αποτελεί μέρος της στέγης.
3. Δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια που αποτελούν μέρος της στέγης.

Οι δύο παραπάνω ιδιοκατασκευές ηλιακών συλλεκτών επιτρέπουν στον οικίσκο να θερμαίνει νερό προς θέρμανση χώρου και χρήση, ενώ μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων παράγεται ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους καταναλωτές.



## 1.2 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Ο ενεργειακός οικίσκος κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο ΑΠΕ με ευθύνη του Καθ. Σ. Καπλάνη και της Δρ. Ε. Καπλάνη από το πρόγραμμα Αρχιμήδης Ι [19], για να αποτελέσει οικίσκο δοκιμών όσο αναφορά την θερμική αλλά και την ηλεκτρική ενέργεια μέσω των τεχνολογιών που έχει ενσωματωμένα. Οι διαστάσεις του φαίνονται στο Σχ. 1.1.



Σχήμα 1.1 : Διαστάσεις ενεργειακού οικίσκου

## 1.3 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕΡΗ

Ο ενεργειακός οικίσκος στο εσωτερικό του είχε τα παρακάτω μέρη όπως φαίνονται και στις *Εικ. 1.5* έως *Εικ. 1.15* πριν την έναρξη της πτυχιακής μου εργασίας :



Εικόνα 1.5 : Κυκλοφορητής ενδοδαπέδιας θέρμανσης



Εικόνα 1.6 : Κυκλοφορητής συλλεκτών



**Εικόνα 1.7 :** Έξοδος νερού ενδοδαπέδιας –  
Είσοδος συλλεκτών



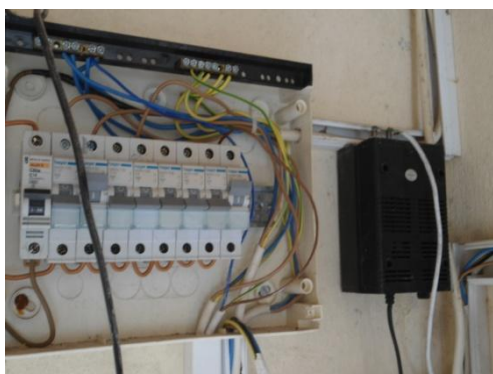
**Εικόνα 1.8 :** Σύνδεση ρομέτρου πριν την  
είσοδο για την ενδοδαπέδια θέρμανση



**Εικόνα 1.9:** Είσοδος ενδοδαπέδιας  
και δοχείο διαστολής



**Εικόνα 1.10** Συνδεσμολογία συλλεκτών



**Εικόνα 1.11 :** Ηλεκτρολογικός πίνακας



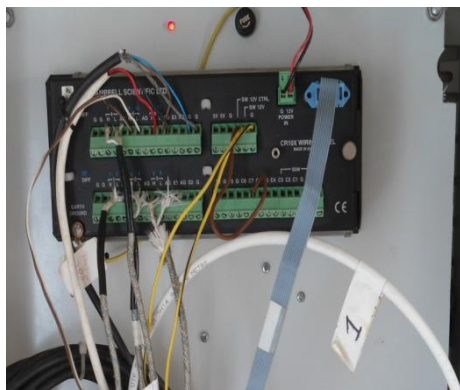
**Εικόνα 1.12 :** Ενδείξεις θερμοκρασιών



**Εικόνα 1.13 :** Θερμοστάτης χώρου



**Εικόνα 1.14 :** Ροόμετρο



**Εικόνα 1.15 : Data Logger**

Εξωτερικά τα μέρη του οικίσκου φαίνονται στις *Εικ. 1.16 – Εικ. 1.22* :



**Εικόνα 1.16 : Τετράοδη βάνα μειξης νερού**



**Εικόνα 1.17 : Δοχείο διαστολής – αυτόματος πλήρωσης – βαλβίδα ασφαλείας**



**Εικόνα 1.18 : Δεξαμενή αποθήκευσης**



**Εικόνα 1.19 : Συλλέκτης πρόσοψης οικίσκου**



**Εικόνα 1.20 : Φωτοβολταϊκά πλαίσια οικίσκου**



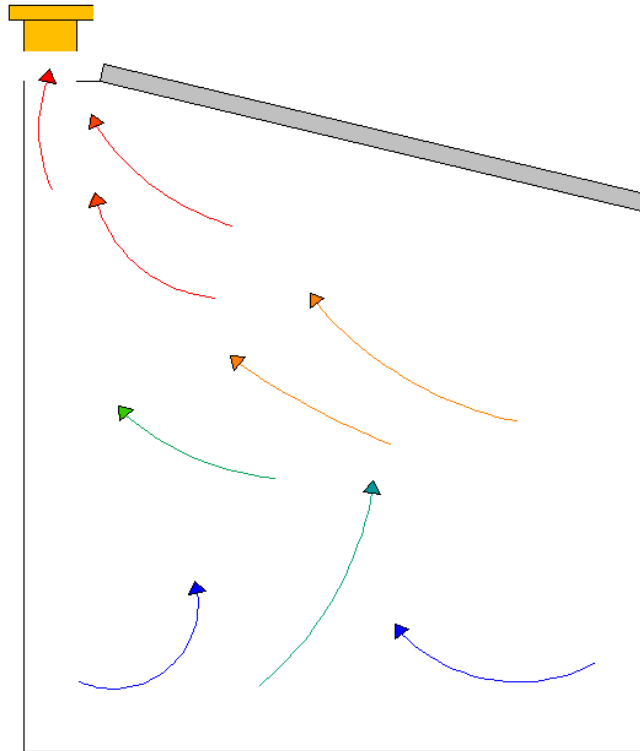
**Εικόνα 1.21 : Συλλέκτης στέγης οικίσκου**



**Εικόνα 1.23 : Ηλιακή καμινάδα οικίσκου**

Ιδιαίτερη αναφορά αξίζει να γίνει στην ηλιακή καμινάδα του οικίσκου. Συγκεκριμένα ο οικίσκος διαθέτει ηλιακή καμινάδα για φυσικό δροσισμό μέσω του φαινομένου του φυσικού ελκυσμού και συνεπώς της ανανέωσης του αέρα στο εσωτερικό του χώρου.

Μέσω του φυσικού ελκυσμού, ο θερμός αέρας κινείται προς τα επάνω και έτσι δημιουργείται ένα ρεύμα στο εσωτερικό του χώρου, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του οικίσκου Σχ.1.2. Η λειτουργία της καμινάδας αερισμού γίνεται σε συνδυασμό με το άνοιγμα της, το οποίο έχει την δυνατότητα να μεταβάλλεται.



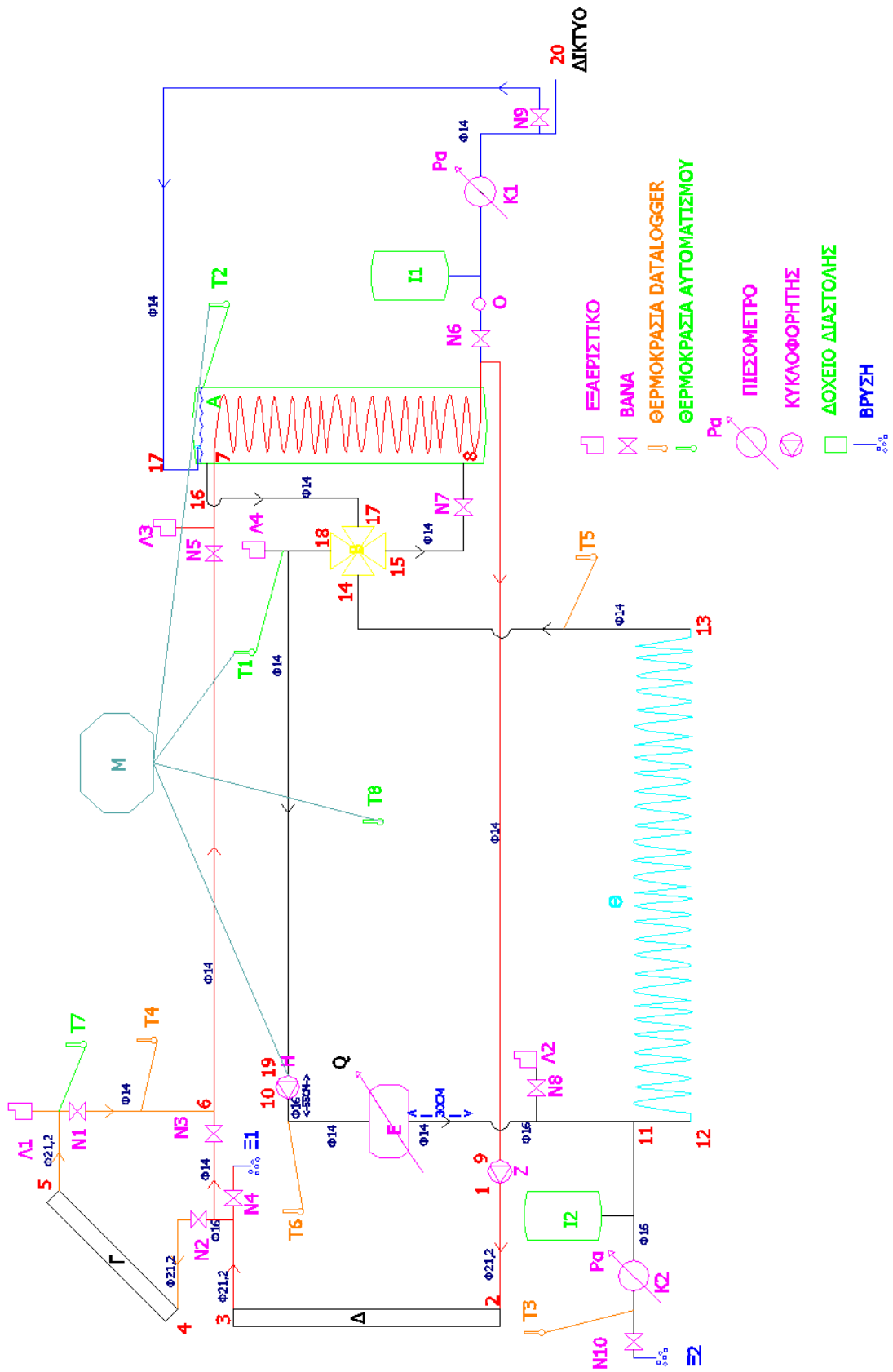
Σχήμα 1.2 : Αρχή λειτουργίας Ηλιακής καμινάδας ενεργειακού οικίσκου

#### 1.4 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΕΣ

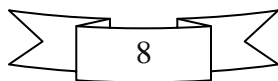
Μετά από αρκετή μελέτη και επεξεργασία του συστήματος, παρουσιάζεται εν συντομία η λειτουργία του υδραυλικού κυκλώματος :

- Το Νερό ρέει στο εσωτερικό των συλλεκτών μέσω κυκλοφορητή *Εικ. 1.6* και ζεσταίνει το νερό που βρίσκεται στην δεξαμενή αποθήκευσης μέσω σερπαντίνας.
- Οι δύο συλλέκτες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά μεταξύ τους, δηλαδή η έξοδος του κάθετου συλλέκτη με την είσοδο του υπό κλίση συλλέκτη (στέγης) *Εικ.1. 10*.
- Υπάρχει η δυνατότητα απομόνωσης του συλλέκτη της στέγης, έτσι ώστε να λειτουργεί μόνο ο κάθετος.
- Το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης αρχίζει να λειτουργεί μέσω αυτοματισμού από την στιγμή που η θερμοκρασία χώρου είναι χαμηλή και η θερμοκρασία στην δεξαμενή είναι κατάλληλη, τότε ενεργοποιείται ο κυκλοφορητής και θερμαίνεται ο χώρος.
- Πριν την είσοδο του ζεστού νερού στο ενδοδαπέδιο σύστημα, μετράμε με την βοήθεια ροόμετρου (βλ. σελ 144) την παροχή στο δίκτυο των σωληνώσεων *Εικ. 1. 14*.
- Το νερό που θα θερμάνει τον χώρο πρέπει να είναι σε κατάλληλη θερμοκρασία και όχι μεγαλύτερη ή μικρότερη , έτσι μέσω της τετράοδης βάνας μπορούμε να κάνουμε μείξη του νερού αυτού και να μειώσουμε την θερμοκρασία του εάν είναι πολύ θερμό (*παράρτημα σελ 144*) ώστε να είναι εντός των ορίων που ορίζονται μεταξύ 30 και 40 [°C].

Λαμβάνοντας υπ όψιν τα ανωτέρω στο Σχ. 1.3 δίδεται το υδραυλικό κύκλωμα όπου σχεδιάστηκε με την βοήθεια του AutoCAD.



Σχήμα 1.3 : Αρχικό υδραυλικό κύκλωμα οικίσκου



## ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Η λειτουργία και οι ιδιομορφίες όλου του αρχικού υδραυλικού κυκλώματος καταγράφονται στη συνέχεια, με βάση το Σχ. 1.3 :

- Αντικείμενο (Α) → Δεξαμενή αποθήκευσης νερού
- Αντικείμενο (Β) → Τετράοδη βάνα μείξης
- Αντικείμενο (Γ) → Ηλιακός συλλέκτης υπό κλίση ενσωματωμένος στην στέγη
- Αντικείμενο (Δ) → Ηλιακός συλλέκτης νότιας πρόσοψης (κάθετος)
- Αντικείμενο (Ε) → Ροόμετρο
- Αντικείμενο (Ζ) → Κυκλοφορητής κυκλώματος ηλιακών συλλεκτών
- Αντικείμενο (Η) → Κυκλοφορητής κυκλώματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Αντικείμενο (Θ) → Σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Αντικείμενο (Ι) → Δοχείο διαστολής
- Αντικείμενο (Κ) → Πιεσόμετρο
- Αντικείμενο (Λ) → Εξαεριστικό
- Αντικείμενο (Μ) → Αυτοματισμός ελέγχου
- Αντικείμενο (Ν) → Βάνα
- Αντικείμενο (Ξ) → Βρύση
- Αντικείμενο (Ο) → Βαλβίδα ασφαλείας

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Από το σημείο **1** δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας **Z** των συλλεκτών, οδηγούμαστε προς το σημείο **2** όπου ευρίσκεται η είσοδος του συλλέκτη της πρόσοψης **Δ**. Αφού λοιπόν το ρευστό περάσει από το εσωτερικό του συλλέκτη, οδηγούμαστε στο σημείο **3** στην έξοδο του συλλέκτη **Δ**.

Από το σημείο **3** με ανοιχτή την βάνα **N2** και κλειστή την βάνα **N3** το ρευστό οδηγείται προς το σημείο **4** (είσοδος συλλέκτη στέγης) **Γ** και αφού το ρευστό περάσει από τον συλλέκτη ακολουθεί το σημείο **5** (έξοδος συλλέκτη στέγης) **Γ**. Από εκεί με ανοιχτή την βάνα **N1** πάμε στο σημείο **6** και οδηγούμαστε στο σημείο **7** (είσοδος σερπαντίνας δεξαμενής) **A** μέχρι να φτάσουμε στο σημείο **8** (έξοδος σερπαντίνας δεξαμενής) **A** και από εκεί στο σημείο **9** δηλαδή στην αναρρόφηση της αντλίας των συλλεκτών **Z** ώστε να γίνει ο κύκλος.

Από το σημείο **3** με κλειστή την βάνα **N2**, ανοιχτή την βάνα **N3** και κλειστή την βάνα **N1** το ρευστό μεταφέρεται κατευθείαν στο σημείο **6** χωρίς να περνάει από τον συλλέκτη της στέγης και ακολουθεί την ίδια διαδρομή με παραπάνω : **7**(είσοδος σερπαντίνας)**A**→ **8**(έξοδος σερπαντίνας)**A**→ **9**(αναρρόφηση αντλίας)**Z**

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Από το σημείο **10** δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης **H**, οδηγούμαστε στο **E** (ροόμετρο) και αφού μετρήσουμε την ροή πάμε στο σημείο **11** και από εκεί :

**α)** Με ανοιχτή την βάνα **N10** παίρνουμε μέσω βρύσης το νερό που μπαίνει στην ενδοδαπέδια από το σημείο **Ξ2** καθώς μετράμε και την πίεση μέσω του πιεσόμετρου **K2**.

**β)** Με κλειστή την βάνα **N10** οδηγούμαστε προς το σημείο **12** (είσοδος ενδοδαπέδιας θέρμανσης) **Θ**, και αφού το ρευστό περάσει το σύστημα πάμε στην (έξοδο

ενδοδαπέδιας θέρμανσης) **Θ** σημείο **13** οδηγείται στην επιστροφή της τετράοδης βάνας **B** σημείο **14** και από εκεί, πίσω στην δεξαμενή αποθήκευσης μέσω του σημείου **15** με ανοιχτή την βάνα **N7**.

Ύστερα από την δεξαμενή αποθήκευσης **A** παίρνουμε το ζεστό νερό από το σημείο **16**, και μπαίνει στην είσοδο της τετράοδης βάνας **B** σημείο **17**. Από εκεί το νερό φεύγει μέσω του σημείου **18** και πάει στο σημείο **19**, όπου είναι και η αναρρόφηση της αντλίας της ενδοδαπέδιας **H** ώστε να κλίσει ο κύκλος ροής. Και στις δύο περιπτώσεις, το σύστημα έχει δοχείο διαστολής **I1**.

### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Η δεξαμενή αποθήκευσης σε περίπτωση που έχει χάσει νερό, το αναπληρώνει από το δίκτυο, σύμφωνα με το παρακάτω κύκλωμα :

Από το σημείο **20** όπου βρίσκεται η παροχή του δικτύου, με ανοιχτή την βάνα **N9** το νερό οδηγείται στο σημείο **17** που έχουμε το σύστημα πλήρωσης (φλοτέρ) βάση της στάθμης της δεξαμενής. Το σύστημα περιέχει και δοχείο διαστολής **I2**, πιεσόμετρο **K1** καθώς και βαλβίδα ασφαλείας **O** (βλ. *Εικ. 1.17*).

### ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

Το σύστημα εξαερισμού για κάθε κύκλωμα είναι :

- Για το **κύκλωμα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης** έχουμε χρήση εξαερισμού με ανοιχτή την βάνα **N8** μέσω του **L2** και **L4**.
- Για το **κύκλωμα των συλλεκτών** έχουμε χρήση εξαερισμού μέσω του **L3**. Επίσης στην περίπτωση που λειτουργεί και ο συλλέκτης της στέγης, έχουμε και το εξαεριστικό **L1**.

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω θερμοζευγών για τις μετρήσεις που λαμβάνονται μέσω του Data Logger (μετρήσεις εργαστηρίου) και μέσω thermistor για τον αυτοματισμό του ενδοδαπέδιου συστήματος.

**Θερμοκρασίες Data Logger :**

- A)** Στην έξοδο του νερού μέσω βρύσης **Ξ2** που θα έμπαινε στην είσοδο της ενδοδαπέδιας **T3**.
- B)** Στην έξοδο του συλλέκτη **Γ** της σκεπής **T4**.
- Γ)** Μετά την έξοδο του νερού από το ενδοδαπέδιο σύστημα **T5**.
- Δ)** Πριν το νερό μπει στο ροόμετρο για να καταλήξει στην είσοδο της ενδοδαπέδιας **T6**.

**Θερμοκρασίες ενδοδαπέδιου αυτοματισμού :**

- A)** Πριν την είσοδο του νερού στο ενδοδαπέδιο σύστημα **T1**.
- B)** Στο επάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης **T2**.
- Γ)** Αμέσως μετά την έξοδο του ρευστού από τον συλλέκτη της σκεπής **T7**.
- Δ)** Θερμοκρασία χώρου **T8**.



## 1.5 ΑΛΛΑΓΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ

Κατά τη μελέτη της συνεχούς λειτουργίας των συλλεκτών και της ενδοδαπέδιας θέρμανσης του οικίσκου παρατηρήθηκε ότι η παροχή στο ενδοδαπέδιο σύστημα και στους συλλέκτες είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι θα έπρεπε, και δεν υπήρχε τρόπος να την μειώσουμε. Αποφασίσαμε για τούτο να βάλουμε νέους μικρότερους κυκλοφορητές καθώς επίσης να γίνουν και κάποιες σημαντικές αλλαγές.

**Οι αλλαγές αυτές είναι :**

1. Αντικατάσταση του παλιού αυτοματισμού λειτουργίας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης με νέο ο οποίος είναι προγραμματισμένος να λειτουργεί για θερμοκρασία νερού εισόδου μεταξύ 30 και 40 [°C], ενώ ταυτόχρονα η θερμοκρασία του δωματίου να είναι μικρότερη των 25 [°C] *Εικ. 1.24*.
2. Το αισθητήριο που μετράει την θερμοκρασία εξόδου στον συλλέκτη της στέγης, επιμηκύνθηκε έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα να τοποθετείται και στην έξοδο του συλλέκτη της πρόσοψης εάν χρειαστεί.
3. Ένα θερμοζεύγος τοποθετήθηκε στην δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, έτσι ώστε να δίνει σήμα στον Data Logger και να καταγράφεται.
4. Τοποθετήσαμε ένα θερμοζεύγος στην έξοδο του συλλέκτη της πρόσοψης έτσι ώστε να δίνει σήμα στον Data Logger και να καταγράφεται.
5. Αλλάξαμε τους σωλήνες στην σύνδεση των δυο συλλεκτών (έξοδος κατακόρυφου – είσοδος κεκλιμένου) και βάλουμε μαύρο Φ14 αντί για σπирάλ και επίσης αλλάξαμε την μορφή της βρύσης και τις συνδέσεις της *Εικ. 1.30*.
6. Φτιάξαμε ένα σύστημα, έτσι ώστε να μετράμε την ροή όχι μόνο στην ενδοδαπέδια θέρμανση, αλλά και την ροή στο σύστημα των συλλεκτών *Εικ. 1.31* και έχουμε τις επιλογές :
  - I. Μέτρηση ροής στο ενδοδαπέδιο σύστημα.
  - II. Μέτρηση ροής στους συλλέκτες χωρίς να δουλεύει η ενδοδαπέδια.
  - III. Μέτρηση ροής στους συλλέκτες με ταυτόχρονη ροή στο ενδοδαπέδιο.
7. Αρχικά είχαμε ένα θερμοζεύγος που έδινε σήμα στον Data Logger στην έξοδο του υπό κλιση συλλέκτη, τώρα το βάλουμε λίγο πιο κάτω έτσι ώστε να μετράει είτε την θερμοκρασία του νερού στην έξοδο του συστήματος των συλλεκτών, είτε την θερμοκρασία στην έξοδο του συλλέκτη της πρόσοψης με τις κατάλληλες βάνες.
8. Αλλάξαμε τους κυκλοφορητές γιατί οι αρχικοί έδιναν πολύ μεγάλη παροχή από την επιθυμητή και βάλουμε μικρότερους *Εικ. 1.26*. - *Εικ. 1.27*.
9. Βάλουμε στον ηλεκτρολογικό πίνακα ένα ρελέ και έναν διακόπτη 3 θέσεων έτσι ώστε να δουλεύει η ενδοδαπέδια με χρήση μετρήσεων από τον Data Logger ή με χρήση μετρήσεων από τα αισθητήρια του αυτοματισμού. *Εικ. 1.25*.
10. Τοποθετήσαμε ένα θερμοζεύγος στην είσοδο της ενδοδαπέδιας έτσι ώστε να δίνει σήμα στον Data Logger. Αρχικά το θερμοζεύγος αυτό ήταν μετά το δοχείο διαστολής *Εικ. 1.29*.
11. Βγάλαμε το δοχείο διαστολής από το σύστημα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης γιατί ήταν περιττό *Εικ. 1.28*.
12. Πέρασαμε καλώδια κάτω από το χώμα για την σύνδεση του Data Logger του οικίσκου με το Εργαστήριο ΑΠΕ. *Εικ. 1.32*.
13. Κάναμε τις κατάλληλες ενέργειες (νέες σωλήνες, τοποθέτηση σωλήνων, βάνες κτλ) έτσι ώστε να καταφέρουμε μέτρηση των δύο συστημάτων από το ροόμετρο.
14. Αλλάξαμε το σπирάλ μετά τον κυκλοφορητή της ενδοδαπέδιας και βάλουμε μαύρο σωλήνα Φ14.

15. Βάλαμε θερμοζεύγος αμέσως πριν την είσοδο του νερού στον συλλέκτη της πρόσοψης ώστε να καταγράφεται η θερμοκρασία από τον Data Logger.
16. Το θερμοζεύγος που ήταν πριν την είσοδο στο ροόμετρο για την ενδοδαπέδια αποσυναρμολογήθηκε.

Έτσι μετά τις παραπάνω αλλαγές οι κυκλοφορητές λειτουργούν :

- Ο κυκλοφορητής του συστήματος συλλεκτών, μπαίνει σε λειτουργία όταν η διαφορά θερμοκρασίας του νερού της δεξαμενής και του νερού των συλλεκτών είναι 8 [°C]
- Ο κυκλοφορητής του ενδοδαπέδιου συστήματος μπαίνει σε λειτουργία με την προϋπόθεση πως η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής είναι μεγαλύτερη των 30 [°C] και η θερμοκρασία στην τετράοδη βάνα είναι μικρότερη από 40[°C] ενώ ταυτόχρονα πρέπει η θερμοκρασία του δωματίου να είναι μικρότερη από 25 [°C].



Εικόνα 1.24 : Αλλαγή αυτοματισμού λειτουργίας



Εικόνα 1.25 : Τοποθέτηση ρελέ



Εικόνα 1.26 : Τοποθέτηση νέου κυκλοφορητή ενδοδαπέδιας



Εικόνα 1.27 : Τοποθέτηση νέου κυκλοφορητή συλλεκτών



Εικόνα 1.28 : Αποσύνδεση δοχείου διαστολής ενδοδαπέδιας



Εικόνα 1.29 : Τοποθέτηση θερμοζεύγους στην είσοδο του ενδοδαπέδιο



**Εικόνα 1.30 : Αλλαγή σωληνώσεων στην σύνδεση των συλλεκτών**



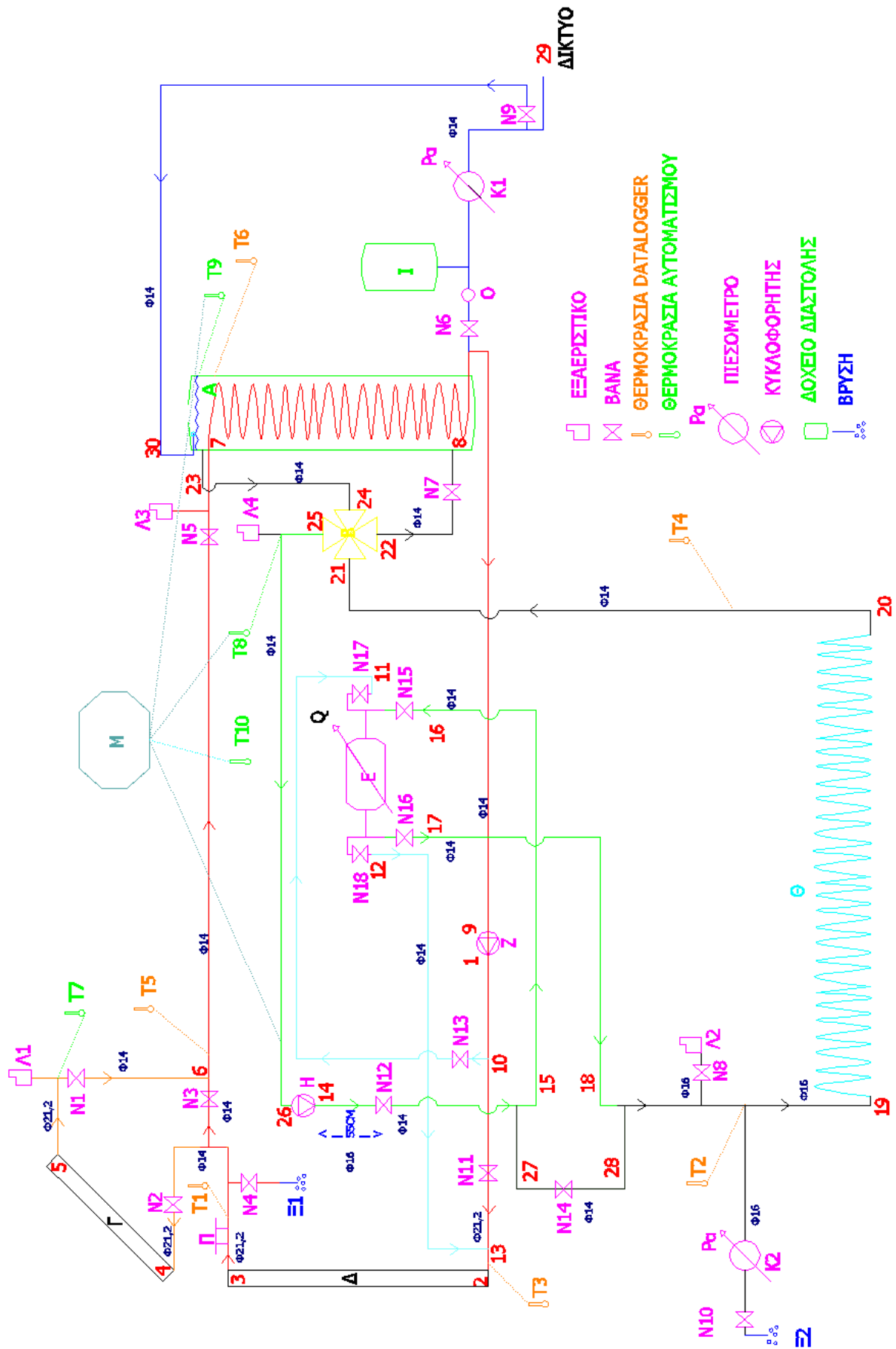
**Εικόνα 1.31 : Σύστημα μέτρησης ροής στο ενδοδαπέδιο και στο σύστημα των συλλεκτών**



**Εικόνα 1.32 : Τοποθέτηση καλωδίων Data Logger κάτω από το χώμα**

## **1.6 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ - ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΜΕΤΑ ΤΙΣ ΑΛΛΑΓΕΣ**

Ύστερα από τις παραπάνω εργασίες, το εσωτερικό του ενεργειακού οικίσκου άλλαξε και έγιναν αρκετές αλλαγές στα υδραυλικά του κυκλώματα. Παρακάτω στο Σχ.1.4 φαίνεται το νέο βελτιωμένο υδραυλικό κύκλωμα και ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της λειτουργίας του και όλα τα πιθανά ενδεχόμενα που μπορούν να παρουσιαστούν σε αυτό.



Σχήμα 1.4 : Βελτιωμένο υδραυλικό κύκλωμα οικίσκου

## ΤΟ ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

- Αντικείμενο (Α) → Δεξαμενή αποθήκευσης
- Αντικείμενο (Β) → Τετράοδη βάνα μείξης
- Αντικείμενο (Γ) → Ηλιακός συλλέκτης υπό κλίση ενσωματωμένος στην σκεπή
- Αντικείμενο (Δ) → Ηλιακός συλλέκτης πρόσοψης (κάθετος)
- Αντικείμενο (Ε) → Ροόμετρο
- Αντικείμενο (Ζ) → Κυκλοφορητής κυκλώματος ηλιακών συλλεκτών
- Αντικείμενο (Η) → Κυκλοφορητής κυκλώματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Αντικείμενο (Θ) → Σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Αντικείμενο (Ι) → Δοχείο διαστολής
- Αντικείμενο (Κ) → Πιεσόμετρο
- Αντικείμενο (Λ) → Εξαεριστικό
- Αντικείμενο (Μ) → Αυτοματισμός ελέγχου
- Αντικείμενο (Ν) → Βάνα
- Αντικείμενο (Ξ) → Βρύση
- Αντικείμενο (Ο) → Βαλβίδα ασφαλείας
- Αντικείμενο (Π) → Τάπα για εφεδρικό θερμοζεύγος

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

#### Περιγραφή χωρίς την καταγραφή της ροής και ταυτόχρονη λειτουργία ενδοδαπέδιας

Από το σημείο **1** δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας **Z** των συλλεκτών, οδηγούμαστε προς το σημείο **2** όπου βρίσκεται η είσοδος του συλλέκτη της πρόσοψης **Δ** με ανοιχτή την βάνα **N11** και κλειστή την βάνα **N13**. Αφού λοιπόν το ρευστό περάσει από το εσωτερικό του συλλέκτη, οδηγούμαστε στο σημείο **3** στην έξοδο του συλλέκτη **Δ**.

Από το σημείο **3** με ανοιχτή την βάνα **N2** και κλειστή την βάνα **N3** το ρευστό οδηγείται προς το σημείο **4** (είσοδος συλλέκτη στέγης) **Γ** και αφού το ρευστό περάσει από τον συλλέκτη ακολουθεί το σημείο **5** (έξοδος συλλέκτη στέγης) **Γ**. Από εκεί με ανοιχτή την βάνα **N1** πάμε στο σημείο **6** και οδηγούμαστε στο σημείο **7** (είσοδος σερπαντίνας δεξαμενής) **A** μέχρι να φτάσουμε στο σημείο **8** (έξοδος σερπαντίνας δεξαμενής) **A** και από εκεί στο σημείο **9** δηλαδή στην αναρρόφηση της αντλίας των συλλεκτών **Z** ώστε να γίνει ο κύκλος.

Από το σημείο **3** με κλειστή την βάνα **N2**, ανοιχτή την βάνα **N3** και κλειστή την βάνα **N1** το ρευστό μεταφέρεται κατευθείαν στο σημείο **6** χωρίς να περνάει από τον συλλέκτη της σκεπής και ακολουθεί την ίδια διαδρομή με παραπάνω : **7**(είσοδος σερπαντίνας)**A**→ **8**(έξοδος σερπαντίνας)**A**→ **9**(αναρρόφηση αντλίας)**Z**.

#### Περιγραφή με την καταγραφή της ροής στους συλλέκτες, χωρίς να λειτουργεί το ενδοδαπέδιο σύστημα

Βάνες ενδοδαπέδιας κλειστές : **N15** , **N16**

Από το σημείο **1** δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας **Z** των συλλεκτών, με ανοιχτές τις βάνες **N13,N17,N18** και κλειστή την βάνα **N11** το ρευστό από το σημείο **1** πάει στο σημείο **10** και από εκεί στο σημείο **11** δηλαδή λίγο πριν περάσει από το ροόμετρο. Αφού περάσει το ρευστό από το ροόμετρο, πάει στο σημείο **12** και

από εκεί στο **13** και μετά στο **2** όπου βρίσκεται η είσοδος του συλλέκτη της πρόσοψης **Δ** . Αφού λοιπόν το ρευστό περάσει από εσωτερικό του συλλέκτη, οδηγούμαστε στο σημείο **3** στην έξοδο του συλλέκτη **Δ**.

Από το σημείο **3** με ανοιχτή την βάνα **N2** και κλειστή την βάνα **N3** το ρευστό οδηγείται προς το σημείο **4** (είσοδος συλλέκτη στέγης) **Γ** και αφού το ρευστό περάσει από τον συλλέκτη ακολουθεί το σημείο **5** (έξοδος συλλέκτη στέγης) **Γ**. Από εκεί με ανοιχτή την βάνα **N1** πάμε στο σημείο **6** και οδηγούμαστε στο σημείο **7** (είσοδος σερπαντίνας δεξαμενής) **A** μέχρι να φτάσουμε στο σημείο **8** (έξοδος σερπαντίνας δεξαμενής) **A** και από εκεί στο σημείο **9** δηλαδή στην αναρρόφηση της αντλίας των συλλεκτών **Z** ώστε να γίνει ο κύκλος.

Από το σημείο **3** με κλειστή την βάνα **N2**, ανοιχτή την βάνα **N3** και κλειστή την βάνα **N1** το ρευστό μεταφέρεται κατευθείαν στο σημείο **6** χωρίς να περνάει από τον συλλέκτη της σκεπής και ακολουθεί την ίδια διαδρομή με παραπάνω : **7**(είσοδος σερπαντίνας)**A**→ **8**(έξοδος σερπαντίνας)**A**→ **9**(αναρρόφηση αντλίας)**Z**.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

### Περιγραφή με καταγραφή της ροής και ταυτόχρονη λειτουργία συλλεκτών

Βάνα συλλεκτών κλειστή:**N13**

Βάνα συλλεκτών ανοιχτή:**N11**

Από το σημείο **14** δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης **H**, έχοντας κλειστή την βάνα **N14** το νερό πάει στο σημείο **15** και από εκεί στο σημείο **16**. και με ανοιχτές τις βάνες **N15** και **N16** το νερό περνάει από το ροόμετρο, καταγράφει την ροή και αμέσως μετά πάει στο σημείο **17** και από εκεί στο **18**.

- Με ανοιχτή την βάνα **N10** παίρνουμε μέσω βρύσης το νερό που μπαίνει στην ενδοδαπέδια από το σημείο **Ξ2** καθώς μετράμε και την πίεση μέσω του πιεσόμετρου **K2**
- Με κλειστή την βάνα **N10** :

Από το σημείο **18** το νερό οδηγείται στο **19** και στην είσοδο της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, βγαίνοντας από την ενδοδαπέδια πάει στο σημείο **20** και **21** (επιστροφή της τετράοδης βάνας **B**) και από εκεί, πίσω στην δεξαμενή αποθήκευσης μέσω του σημείου **22** με ανοιχτή την βάνα **N7**.

Ύστερα από την δεξαμενή αποθήκευσης **A** παίρνουμε το ζεστό νερό από το σημείο **23**, και μπαίνει στην είσοδο της τετράοδης βάνας **B** σημείο **24**. Από εκεί το νερό φεύγει μέσω του σημείου **25** και πάει στο σημείο **26**, όπου είναι και η αναρρόφηση της αντλίας της ενδοδαπέδιας **H** ώστε να γίνει κύκλος.

### Περιγραφή λειτουργίας με ταυτόχρονη καταγραφή της ροής στους συλλέκτες

Βάνες ενδοδαπέδιας κλειστές : **N15** , **N16**

Βάνα ενδοδαπέδιας ανοιχτή : **N14**

Από το σημείο **14** δηλαδή αμέσως μετά την κατάθλιψη της αντλίας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης **H**, έχοντας ανοιχτή την βάνα **N14** και κλειστές τις **N15** και **N16** το νερό πάει μέσω βραχυκυκλώματος στο σημείο **27** και από εκεί στο **28** και μετά **19**→**20**→**21**→**22**→**23**→**24**→**25**→**26**

Ενώ ταυτόχρονα μετράται η ροή των συλλεκτών μέσω της διαδρομής : **1**→**10**→**11**→**12**→**13**→**2**→**3**→**4**;→**5**;→**6**→**7**→**8**→**9**

## ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Η δεξαμενή αποθήκευσης σε περίπτωση που έχει χάσει νερό, το αναπληρώνει από το δίκτυο, σύμφωνα με το παρακάτω κύκλωμα :

Από το σημείο **29** όπου βρίσκεται η παροχή του δικτύου, με ανοιχτή την βάνα **N9** το νερό οδηγείται στο σημείο **30** που έχουμε το σύστημα πλήρωσης (φλοτέρ) βάση της στάθμης της δεξαμενής. Το σύστημα περιέχει και δοχείο διαστολής **I**, πιεσόμετρο **K1** καθώς και βαλβίδα ασφαλείας **O** (βλ. *Εικ. 1.17*).

## ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

Το σύστημα εξαερισμού για κάθε κύκλωμα είναι :

- Για το **κύκλωμα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης** έχουμε χρήση εξαερισμού με ανοιχτή την βάνα **N8** μέσω του **L2** και **L4**.
- Για το **κύκλωμα των συλλεκτών** έχουμε χρήση εξαερισμού μέσω του **L3**. Επίσης στην περίπτωση που λειτουργεί και ο συλλέκτης της στέγης, έχουμε και το εξαεριστικό **L1**.

## ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω θερμοζεύγων για τον Data Logger (μετρήσεις εργαστηρίου) και μέσω thermistor για τον αυτοματισμό του ενδοδαπέδιου συστήματος.

**Θερμοκρασίες Data Logger :**

**A)** Αμέσως μετά την έξοδο από τον συλλέκτη της πρόσοψης **T1**.

**B)** Πριν την είσοδο του νερού στο ενδοδαπέδιου συστήματος **T2**.

**Γ)** Αμέσως πριν την είσοδο του συλλέκτη της πρόσοψης **T3**.

**Δ)** Αμέσως μετά την έξοδο του νερού από το ενδοδαπέδιο σύστημα **T4**.

**Ε)** Αμέσως μετά την έξοδο του συνδυασμού των δύο συλλεκτών, ή λίγο ποιο μετά από την έξοδο του συλλέκτη της πρόσοψης **T5**.

**ΣΤ)** Στο επάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης **T6**.

**Θερμοκρασίες ενδοδαπέδιου αυτοματισμού :**

**A)** Αμέσως μετά την έξοδο του ρευστού από τον συλλέκτη της σκεπής **T7**

**B)** Πριν την είσοδο του νερού στο ενδοδαπέδιο σύστημα **T8**.

**Γ)** Στο επάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης **T9**.

**Δ)** Θερμοκρασία χώρου **T10**

Υπάρχει και μια θέση με τάπα στο σημείο (Π) που μπορεί να μπει ακόμα ένα θερμοζεύγος.

## 2. ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΙΑΣΗΣ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Είναι απαραίτητο σε αυτό το στάδιο της μελέτης μας να αναφερθούμε στην μελέτη σκίασης του ενεργειακού οικίσκου και συγκεκριμένα στις χρονικές περιόδους που ο οικίσκος σκιάζεται από φυσικά εμπόδια, και είναι αδύνατη η λήψη σωστών μετρήσεων καθώς συλλέγουμε και μικρότερη ενέργεια.

Μια μελέτη σκίασης μας επιτρέπει να προβλέψουμε με μεγάλη ακρίβεια τις χρονικές περιόδους που τυχόν σκιάζεται ένα οποιοδήποτε σημείο από τα φυσικά εμπόδια που περιβάλλεται. Μπορούμε κατά συνέπεια να προβλέψουμε πότε ένας ηλιακός συλλέκτης θα σκιάζεται και θα <<χάνει από την ωφέλιμη ενέργεια>> ή πότε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο θα χάνει ισχύ λόγω σκίασης. Ειδικά στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, εκτός από την χαμηλή ενέργεια που παράγεται κατά την σκίαση (πολύ χαμηλή άμεση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας), παρουσιάζονται και άλλα φαινόμενα όπως αυτό της γήρανσης τους όταν σκιάζεται σε επιμέρους σημεία για αρκετό χρόνο. Στην περίπτωση αυτή το ωφέλιμο ρεύμα που εξάγουμε περιορίζεται και δημιουργούνται υψηλές θερμοκρασίες όμως η ανάλυση αυτού του θέματος ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

### 2.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΠΟΛΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Για την σχεδίαση και την ανάγνωση μιας μελέτης σκίασης είναι απαραίτητο αρχικά να ορίσουμε κάποιες βασικές έννοιες γωνιών :

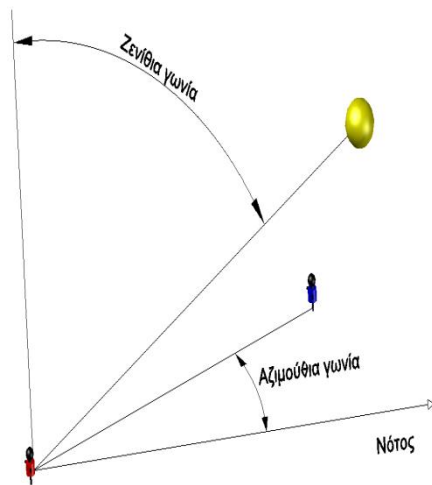
- **Ζενίθια** ονομάζεται η γωνία εκείνη που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα που τέμνει κάθετα τον ορίζοντα της περιοχής, και της ευθείας που ενώνεται με την θέση του σημείου ενδιαφέροντος είτε αναφερόμαστε σε κάποιο αντικείμενο είτε στον ήλιο. Η συμπληρωματική της ονομάζεται **γωνία ύψους**.
- **Αζιμούθια** είναι η γωνία εκείνη που καθορίζει τον προσανατολισμό ενός σημείου σε σχέση με τον Νότο. Είναι η γωνία μεταξύ του μεσημβρινού και της προβολής της καθέτου της επιφάνειας ενδιαφέροντος είτε αναφερόμαστε σε κάποιο αντικείμενο είτε στον ήλιο.

Οι παραπάνω γωνίες είναι απαραίτητο να γνωρίζονται κατά την μελέτη σκίασης ενός σημείου για να μπορούν να αποτυπωθούν στον πολικό χάρτη.

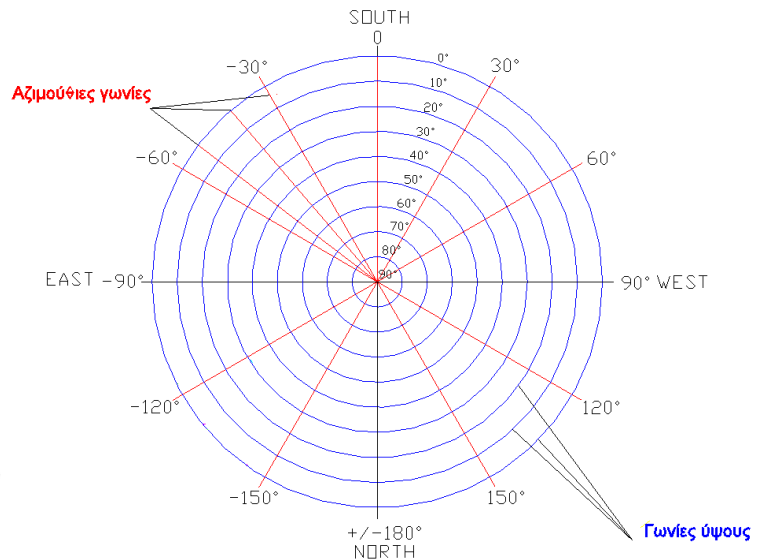
Σαν **Πολικό χάρτη** ορίζουμε ένα σχεδιάγραμμα το οποίο αποτελείται από ομόκεντρους κύκλους οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις γωνίες ύψους (δηλαδή τις συμπληρωματικές γωνίες των ζενιθίων) και από γραμμές με κοινό σημείο το κέντρο των κύκλων που αντιπροσωπεύουν τις αζιμούθιες γωνίες.



Εάν πάρουμε για παράδειγμα κάποια ζευγάρια ζενιθίων και αζιμουθίων γωνιών από ένα κτήριο σε σχέση με έναν παρατηρητή και τα αποτυπώσουμε πάνω στο διάγραμμα, τότε θα έχουμε την αναπαράσταση του σε σχέση με το σημείο αναφοράς που επιλέξαμε (παρατηρητής). Επίσης εάν γνωρίζαμε με κάποιον τρόπο για μια ημερομηνία τα αντίστοιχα ζευγάρια που βρίσκεται ο ήλιος κατά την διάρκεια της ημέρας, θα σχεδιάζονταν μια καμπύλη από την ανατολή μέχρι την δύση που αντιπροσωπεύει την τροχιά του ηλίου. Τα σημεία εκείνα λοιπόν που τέμνει η καμπύλη αυτή (εάν τέμνει) το κτήριο που είναι αποτυπωμένο στον πολικό χάρτη, αντιπροσωπεύουν τις στιγμές σκίασης του παρατηρητή που στον πολικό χάρτη βρίσκεται στο κέντρο των κύκλων.



Σχήμα 2.1 : Αναπαράσταση ζενίθιας και αζιμούθιας γωνίας



Σχήμα 2.2 : Πολικός χάρτης

### 2.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

Ο λόγος που γίνεται η μελέτη σκίασης για τον ενεργειακό οικίσκο, είναι διότι στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας θα διεξαχθούν πειράματα που θέτουν απαραίτητο να γνωρίζουμε εάν υπάρχει ενδεχόμενο σκίασης, καθώς επίσης θα γίνει και μελέτη προσδιορισμού πραγματικής ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Δεκέμβριο.

Παρακάτω αναλύεται κατά βήματα ο τρόπος με τον οποίο πρέπει να γίνεται μια μελέτη για σκίαση :

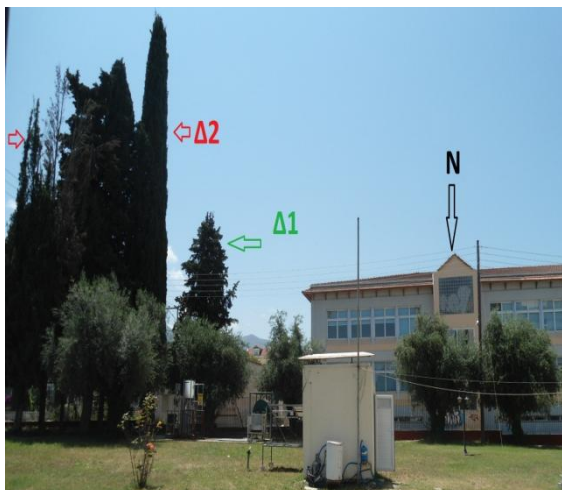
1. Επιλογή σημείων ενδιαφέροντος προς σκίαση.
2. Παρατήρηση φυσικών εμποδίων που πιθανόν σκιάζουν τα σημεία ενδιαφέροντος και καταγραφή τους.
3. Προμήθεια τοπογραφικών της περιοχής.
4. Προμήθεια σχεδίων, από τυχόν κτήρια.
5. Μέτρηση και υπολογισμός διαστάσεων των υπόλοιπων εμποδίων.
6. Υπολογισμός της αζιμούθιας γωνίας (θέση προσανατολισμού) των εμποδίων και της γωνίας του ύψους τους (ύψος).
7. Αναπαράσταση των φυσικών εμποδίων στο πολικό διάγραμμα.

8. Υπολογισμός αζιμούθιας και ζενίθιας γωνίας του ηλίου ανά ώρα για κάποιες ημερομηνίες και αποτύπωση τους στο πολικό διάγραμμα.
9. Συμπεράσματα ημερομηνιών, ώρων και διάρκειας σκίασης του σημείου ενδιαφέροντος.

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

1. Αρχικά αποφασίζουμε να μελετήσουμε την σκίαση σε δύο σημαντικά σημεία. Πρώτον στο χαμηλότερο σημείο του συλλέκτη της πρόσοψης, ώστε να λαμβάνουμε την δυσμενέστερη κατάσταση σκίασης στο κέντρο του, και δεύτερον στο χαμηλότερο σημείο στην μέση από τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά, έτσι ώστε κατά προσέγγιση να έχουμε μια εικόνα και για τα δύο χωρίς να επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία εκ του μηδενός όπως για τον κατακόρυφο συλλέκτη.
2. Τα φυσικά εμπόδια που παρατηρούμε γύρω από τον χώρο των σημείων ενδιαφέροντος είναι :
  - Το απέναντι κτήριο Νοσηλευτικής <<N>> (Νότια)
  - Δέντρο αριστερά από το κτήριο Νοσηλευτικής <<Δ1>> (Νοτιοανατολικά)
  - Συνδυασμός δέντρων στον κήπο. Τα θεωρούμε σαν μια ολότητα <<Δ2>> (Νοτιοανατολικά)
  - Το κτήριο Ηλιακής Ενέργειας στα δεξιά <<A>> (Βόρεια – Βορειοδυτικά)
  - Κολώνα στα αριστερά επί του δρόμου <<K>> ( Βορειοανατολικά)
  - Δέντρο στον κήπο μπροστά από την κολώνα <<Δ3>> (Βορειοανατολικά)
  - Δέντρο - ελιά στον κήπο <<Δ4>> (Βορειοανατολικά)

Τα παραπάνω εμπόδια, φαίνονται με την συντομογραφία που δίνεται παραπάνω στις Εικ. 2.1., Εικ. 2.2, Εικ. 2.3



Εικόνα 2.1 : Διάκριση φυσικών εμποδίων σκίασης οικίσκου

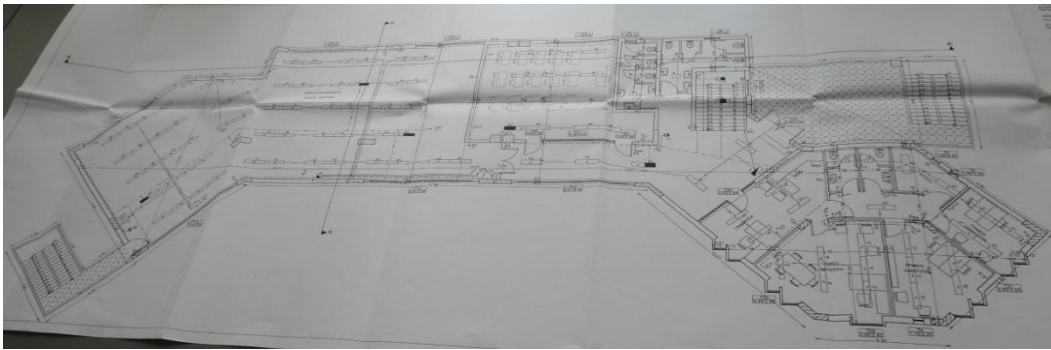


Εικόνα 2.2 : Διάκριση φυσικών εμποδίων σκίασης οικίσκου

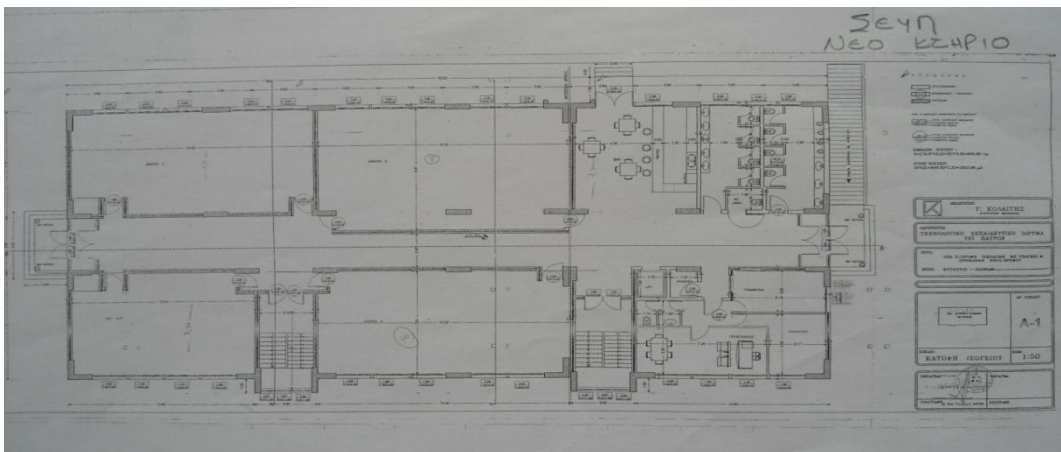


Εικόνα 2.3 : Διάκριση φυσικών εμποδίων σκίασης

3. Δεν υπάρχουν διαθέσιμα τοπογραφικά της περιοχής, οπότε θα υπολογιστούν οι διαστάσεις όλων των φυσικών εμποδίων εκτός των κτηρίων (κολώνα- δέντρα).
4. Προμηθεύομαστε τα σχέδια από το κτήριο Νοσηλευτικής και από το κτήριο Ηλιακής Ενέργειας από το ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας για την αποτύπωση των διαστάσεων τους στον πολικό χάρτη. *Εικ. 2.4 και Εικ. 2.5 :*



Εικόνα 2.4 : Κάτοψη κτηρίου Ηλιακής Ενέργειας



Εικόνα 2.5 : Κάτοψη κτηρίου Νοσηλευτικής

## 2.4 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΜΠΟΔΙΩΝ (Βήμα 5)

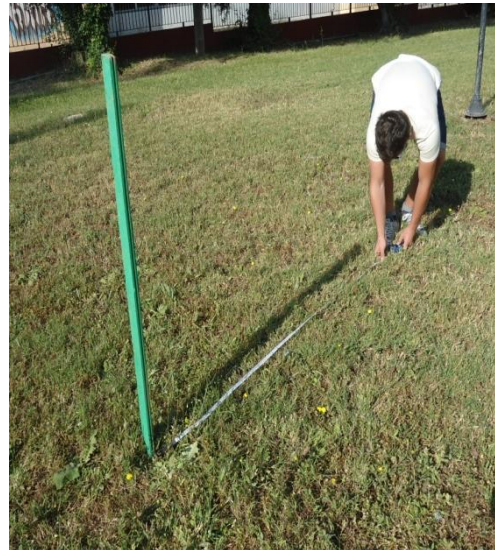
Στα εμπόδια από το οποία δεν διαθέτουμε τις διαστάσεις τους, τις μετράμε εμείς ή εάν αυτό είναι αδύνατον, χρησιμοποιούμε άλλα μέσα όπως την χρήση της σκιάς τους. Για παράδειγμα είναι αδύνατον να μετρήσουμε το ύψος ενός αρκετά ψηλού δέντρου, έτσι ακολουθούμε μεθοδολογία με την χρήση της σκιάς του. Η μέθοδος αυτή ακολουθείται μετρώντας στιγμιαία την σκιά του αντικειμένου που πέφτει στο έδαφος και ταυτόχρονα μετράμε την σκιά ενός βοηθητικού (στύλου) με γνωστό ύψος την ίδια χρονική στιγμή. Ύστερα με την βοήθεια ομοίων τριγώνων υπολογίζεται το ύψος του ψηλού αντικειμένου.

- **Κολώνα <<K>>**

Το ύψος της κολώνας δεν μπορεί να μετρηθεί εύκολα με χρήση μέτρου, λόγω του μεγάλου της ύψους. Για αυτό το λόγο θα υπολογιστεί το ύψος με την χρήση της σκιάς της όπως αναφέρθηκε παραπάνω :



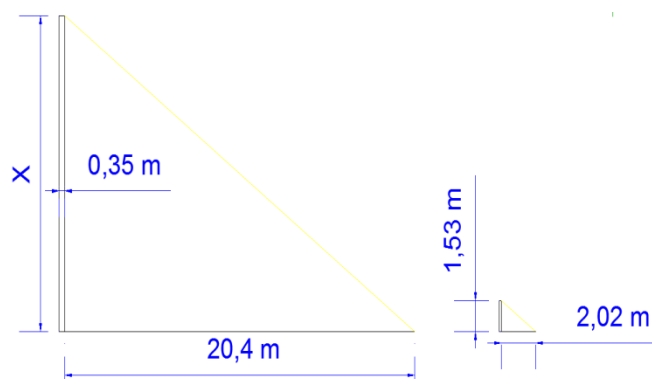
Εικόνα 2.6 : Μέτρηση ύψους βοηθητικού στύλου



Εικόνα 2.7 : Μέτρηση σκιάς βοηθητικού στύλου



Εικόνα 2.8 : Μέτρηση σκιάς κολώνας



Σχήμα 2.3 : Αναπαράσταση μετρήσεων κολώνας

Από τις μετρήσεις που πήραμε όπως φαίνεται και στις *Εικ. 2.6 έως Εικ. 2.8* με όμοια τρίγωνα υπολογίζουμε το ύψος της κολώνας :

Έστω  $X$  το ύψος της κολώνας. Αν εφαρμόσουμε όμοια τρίγωνα προκύπτει :

$$\frac{X}{1,525[m]} = \frac{20,4[m]}{2,02[m]} \Leftrightarrow X = \frac{(20,4[m] \cdot 1,525[m])}{2,02[m]} \Leftrightarrow \mathbf{X = 15,4 [m]}$$

Επομένως το ύψος της κολώνας προκύπτει 15,4 μέτρα.

Όμοια υπολογίζονται τα ύψη και των υπόλοιπων εμποδίων όπως φαίνεται στα παρακάτω βήματα :

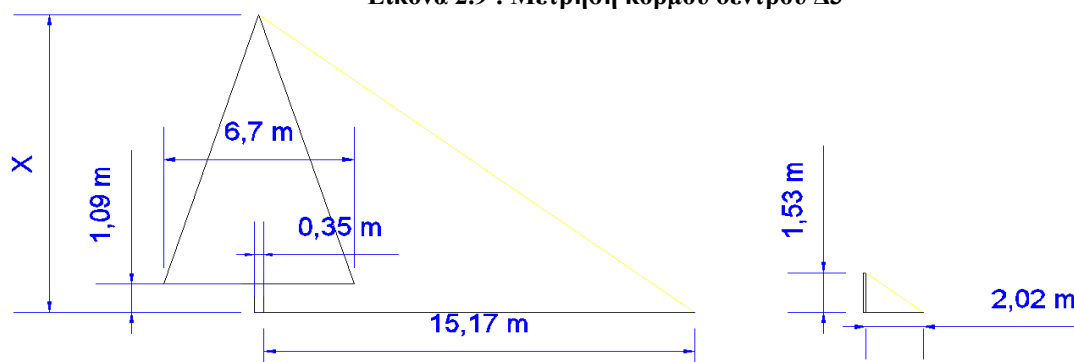
- **Δέντρο <<Δ3>>**

Στην περίπτωση της αποτύπωσης των δέντρων στον ηλιακό χάρτη, πρέπει να φαίνεται και ο κορμός τους για να είναι ευδιάκριτα. Επίσης πρέπει ένα εμπόδιο κάθε φορά να αποτυπώνεται όπως ακριβός έχει, για να μην οδηγούμαστε σε σφάλματα κατά την ανάγνωση του. Για τον λόγο αυτό για το δέντρο <<Δ3>> (δηλαδή αυτό που βρίσκεται μπροστά από την κολώνα) μετράται και ο κορμός του όπως φαίνεται στην *Εικ. 2.9*

Αναλυτικά όλες οι διαστάσεις του δέντρου αναγράφονται στο *Σχ. 2.4*.



**Εικόνα 2.9 : Μέτρηση κορμού δέντρου Δ3**



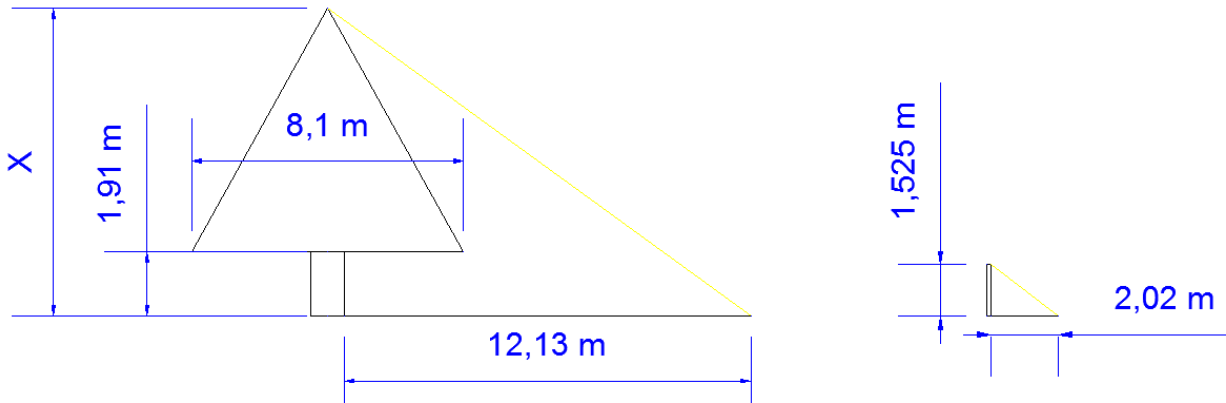
**Σχήμα 2.4 : Αναπαράσταση μετρήσεων δέντρου Δ3**

Με όμοια τρίγωνα :

$$\frac{X}{1,525[m]} = \frac{15,17[m]}{2,02[m]} \Leftrightarrow X = \frac{(15,17[m] \cdot 1,525[m])}{2,02[m]} \Leftrightarrow X = 11,45 [m]$$

- **Δέντρο <<Δ4>>**

Αναλυτικά όλες οι διαστάσεις του δέντρου φαίνονται στο Σχ. 2.5.



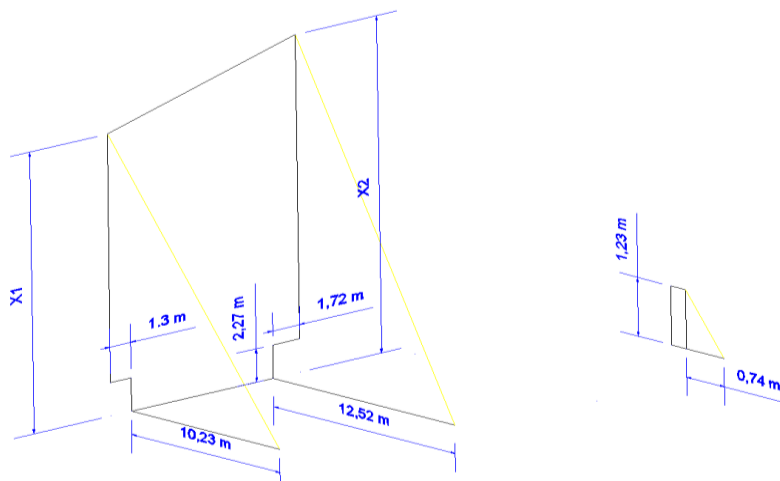
Σχήμα 2.5 : Αναπαράσταση μετρήσεων δέντρου Δ4

Με όμοια τρίγωνα :

$$\frac{X}{1,525[m]} = \frac{12,13[m]}{2,02[m]} \Leftrightarrow X = \frac{(12,13[m] \cdot 1,525[m])}{2,02[m]} \Leftrightarrow X = 9,157 [m]$$

- **Δέντρα Δ2**

Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε σαν μια ολότητα έναν συνδυασμό από δέντρα. Για αυτό τον λόγο θα υπολογιστούν δύο ύψη το μεγάλο και το μικρό και θα τα ενώσουμε με ένα ευθύγραμμο τμήμα όπως ακριβώς φαίνεται πως είναι και στην πραγματικότητα. Η αναπαράσταση φαίνεται στο Σχ. 2.6



Σχήμα 2.6 : Αναπαράσταση μετρήσεων δέντρων Δ2

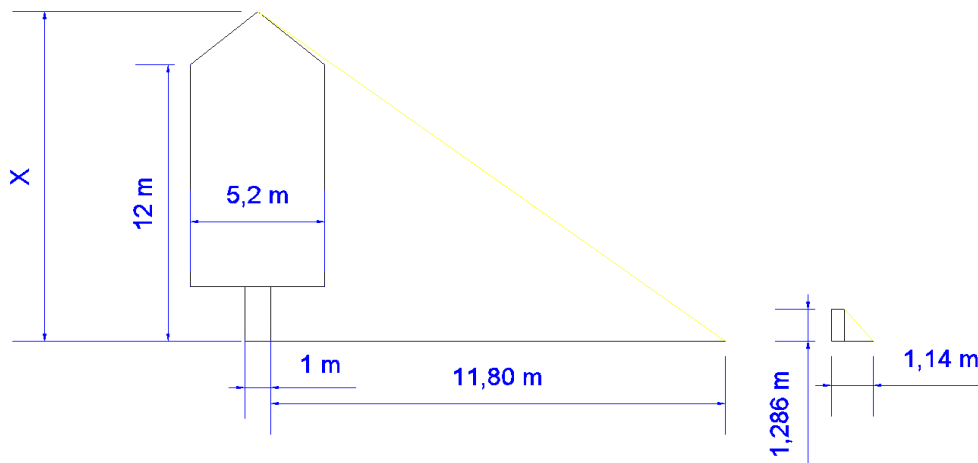
Με όμοια τρίγωνα :

$$\frac{X_1}{1,23[m]} = \frac{10,23[m]}{0,74[m]} \Leftrightarrow X_1 = \frac{(10,23[m] \cdot 1,23[m])}{0,74[m]} \Leftrightarrow X_1 = 17 [m]$$

$$\frac{X_2}{1,23[m]} = \frac{12,52[m]}{0,74[m]} \Leftrightarrow X_2 = \frac{(12,52[m] \cdot 1,23[m])}{0,74[m]} \Leftrightarrow X_2 = 20,81 [m]$$

- **Δέντρο Δ1**

Αναλυτικά όλες οι διαστάσεις του δέντρου φαίνονται στο Σχ. 2.7.



Σχήμα 2.7 : Αναπαράσταση μετρήσεων δέντρου Δ1

Επειδή σχηματικά φαίνεται πως το δέντρο αυτό τείνει να υψώνεται ευθεία και να αρχίζουν να συγκλίνουν οι άκρες του περίπου στο ύψος που βρίσκονται τα αετώματα του κτηρίου Νοσηλευτικής <<N>>, δηλαδή στα 12[m] όπως φαίνεται από τα σχέδια που διαθέτουμε, θεωρούμε πως έως εκείνο το σημείο το δέντρο υψώνεται ευθεία και ύστερα συγκλίνει ομαλά προς το κέντρο του Σχ. 2.7

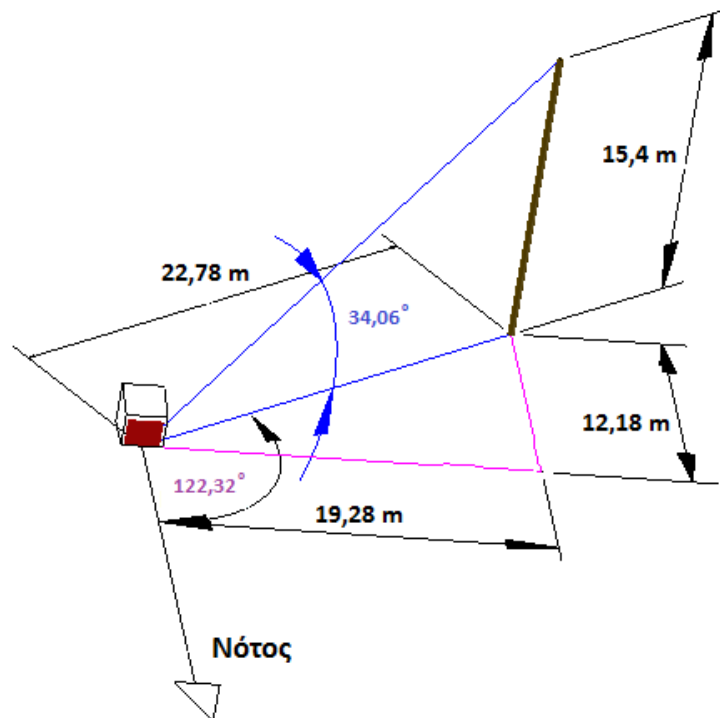
Με όμοια τρίγωνα :

$$\frac{X}{1,286[m]} = \frac{11,8[m]}{1,14[m]} \Leftrightarrow X = \frac{(11,8[m] \cdot 1,286[m])}{1,14[m]} \Leftrightarrow X = 13,31 [m]$$

Για τα κτήρια <<N>> και <<A>> δεν χρειάζεται να μετρήσουμε κάποια διάσταση διότι υπάρχουν τα σχέδια τους και είναι γνωστές σε εμάς όλες οι διαστάσεις.

## 2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΣ – ΓΩΝΙΑΣ ΥΨΟΥΣ ΕΜΠΟΔΙΩΝ (Βήμα 6)

Ο Υπολογισμός των γωνιών ύψους και της αζιμούθιας γωνίας κάθε σημείου του εκάστοτε εμποδίου είναι απαραίτητες για την αποτύπωση τους στο πολικό διάγραμμα. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά ο υπολογισμός της αζιμούθιας και της γωνίας ύψους για την κολώνα και για το κτήριο νοσηλευτικής σε σχέση με το κατώτερο σημείο του κάθετου συλλέκτη Σχ. 2.8, Σχ. 2.9 και Σχ. 2.10 αντίστοιχα.



Σχήμα 2.8 : Παράδειγμα αζιμούθιας και γωνίας ύψους για την κολώνα K

Όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.8, η ζενιθία γωνία μετράται με βάση τον Νότο, αυτό το κανόνα θα ακολουθήσουμε για τον υπολογισμό όλων των ζενιθίων γωνιών για τα εμπόδια.

Για τον υπολογισμό των αζιμουθίων γωνιών των κύριων σημείων του κτηρίου Νοσηλευτικής Σχ. 2.9, χρησιμοποιούμε τον νόμο των συνημίτονων αφού βρίσκεται υπό κλίση  $5^\circ$  Νοτιοανατολικά. Ο υπολογισμός θα γίνει μέσω προγράμματος που κατασκευάστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 95. Ο κώδικας βρίσκεται στο Παράρτημα σελ 107.

Στην Εικ. 2.10 φαίνεται μια εφαρμογή του προγράμματος για τον υπολογισμό της αζιμούθιας γωνίας της αριστερής άκρης του κτηρίου, αφού μετρήθηκαν οι αποστάσεις :

- I. Κάθετος από το κέντρο του συλλέκτη προς το κτήριο <<N>>  $\rightarrow$  26,5 [m]
- II. Απόσταση από το κέντρο του συλλέκτη προς την αριστερή ακμή του κτηρίου << N>>  $\rightarrow$  27 [m]
- III. Απόσταση μεταξύ του σημείου της καθέτου και της αριστερής ακμής του κτηρίου <<N>>  $\rightarrow$  4,8 [m]

```

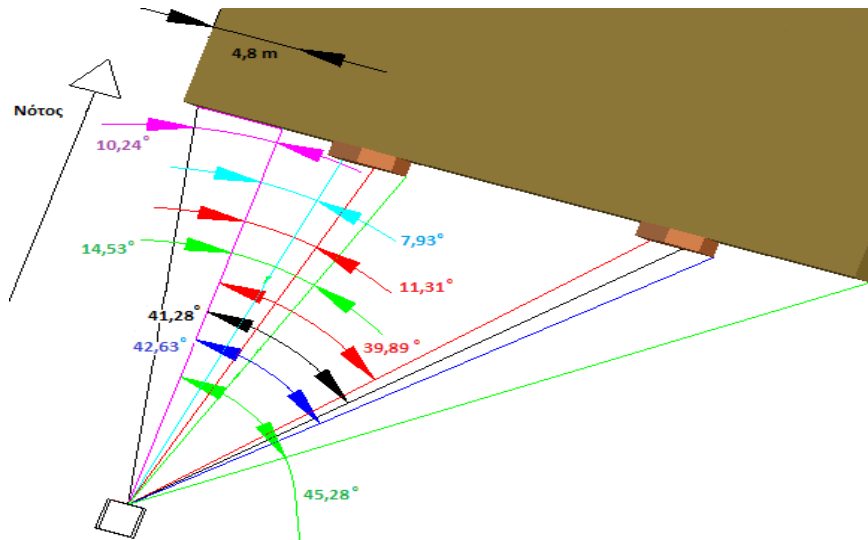
dase thn aristerh pleura
27
dase thn apenanti pleura
4.8
dase thn de3ia pleura
26.5
h gwnia einai 18.2444 moires
gia na termathsei o programa pata @ allios allon arithmo

```

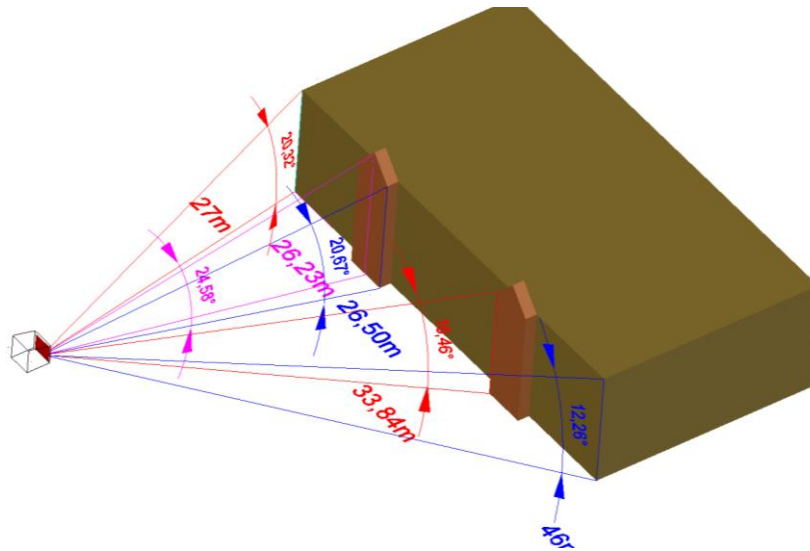
Εικόνα 2.10 Εφαρμογή προγράμματος εύρεσης γωνίας με τον νόμο των συνημίτονων

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζονται γρήγορα και οι υπόλοιπες γωνίες σε σχέση με την κάθετο του συλλέκτη προς το κτήριο ή με άλλα λόγια σε σχέση με τον Νοτιά.





Σχήμα 2.9 : Αζιμούθιες γωνίες κύριων σημείων κτηρίου Νοσηλευτικής Ν



Σχήμα 2.10 : Μερικές κύριες γωνίες ύψους και οι αποστάσεις των σημείων τους από το σημείο ενδιαφέροντος για το κτήριο Νοσηλευτικής Ν

Όμοια υπολογίζονται οι γωνίες για όλα τα φυσικά εμπόδια για τον κατακόρυφο συλλέκτη και κατασκευάζεται ο Πίνακας 2.1 που περιέχει όλα τα ζευγάρια αζιμούθιων και γωνιών ύψους για διάφορα σημεία των εμποδίων. Ο πίνακας αυτός είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε να ταιριάζουν τα ζευγάρια της δεύτερης στήλης με τα αντίστοιχα της τρίτης. Για παράδειγμα για το φυσικό εμπόδιο Α η αζιμούθια γωνία 86,43 [°] αντιστοιχεί στην γωνία ύψους 13,29 [°] (δηλαδή το δεύτερο στοιχείο του κελίου των αζιμουθίων γωνιών με το δεύτερο στοιχείο του αντίστοιχου κελιού με τις γωνίες ύψους). Για να γίνει πιο εύκολη η ανάγνωση του πίνακα, ακολουθείται και ο χρωματικός κώδικας.

Φυσικό Εμπόδιο	Αζιμούθια γωνία με βάση τον Νότο [°]	Γωνία ύψους [°]
Κολώνα Κ	(-121.57), (-122.32), (-123.06)	34.06

Δέντρο Δ3	(-116.53), (-123.88), (-124.65), (-125.50),(-131.39)	(4.11),(4.11), (28.12), (4.11),(4.11)
Δέντρο Δ4	(-128.93),(-137.00), (-138.00), (-138.94),(-144.72)	(5.47),(5.47), (24.62), (5.47), (5.47)
Δέντρα Δ2	(-41.64 ),(-44.86), (-71.75),(-72.85)	(42.85),(5.72), (6.59),(40.25)
Δέντρο Δ1	(-28.43),(-32.90), (-33.56), (-34.21),(-38.16)	(5.18),(5.18), (27.53), (5.18), (5.18)
Κτήριο Ν	(-10.24),(7.93),(11.31), (14.53),(39.89), (41,28),(42,63),(45.28)	(20.33),(21.37),(24.69), (20.70),(16,54), (18,88),(15,44),(12,28)
Κτήριο Α	(82.85),(86.43),(110.16), (142.00),(142.00),(154.12)	(11.55),(13.29),(42.75), (41.61),(34.16),(26.66)

Πίνακας 2.1 : Ζευγάρια αζιμούθιων – γωνιών ύψους για τα κύρια σημεία των εμποδίων του συλλέκτη της πρόσοψης για τον ενεργειακό οικίσκο

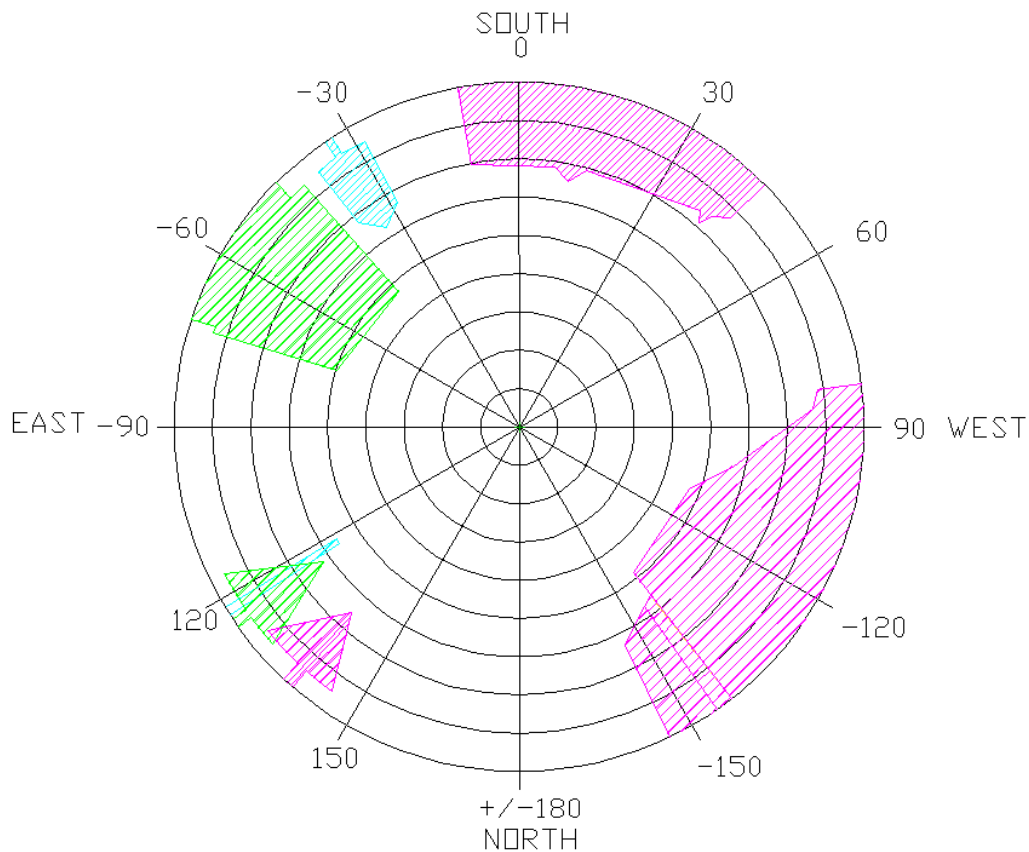
Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και για τον υπολογισμό των ζευγαριών (αζιμούθιας – γωνίας ύψους) για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2.2.

Φυσικό Εμπόδιο	Αζιμούθια γωνία με βάση τον Νότο [°]	Γωνία ύψους [°]
Κολώνα Κ	(-121.57), (-122.32), (-123.06)	30.64
Δέντρο Δ3	(-116.53), (-123.88) , (-124.65), (-125.50), (-131.39)	(0),(0), (23.90), (0), (0)
Δέντρο Δ4	(-128.93),(-137.00), (-138.00), (-138.94),(-144.72)	(0),(0), (19.81), (0), (0)
Δέντρα Δ2	(-41.64 ),(-44.86), (-71.75),(-72.85)	(39.47),(0.78), (0.91),(37.19)
Δέντρο Δ1	(-28.43),(-32.90), (-33.56), (-34.21),(-38.16)	(0.56),(0.56), (24.10), (0.56), (0.56)
Κτήριο Ν	(-10.24),(7.93),(11.31) ,(14.53),(39.89), (41,28),(42,63),(45.28)	(16.63),(17.49),(21.07) ,(16.97),(13.51), (16.09),(12.52),(9.96)
Κτήριο Α	(82.85),(86.43),(110.16), (142.00),(142.00),(154.12)	(9.47),(11.00),(36.61), (36.21),(28.75),(22.36)

Πίνακας 2.2 : Ζευγάρια αζιμούθιων – γωνιών ύψους για τα κύρια σημεία των εμποδίων για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά του οικίσκου

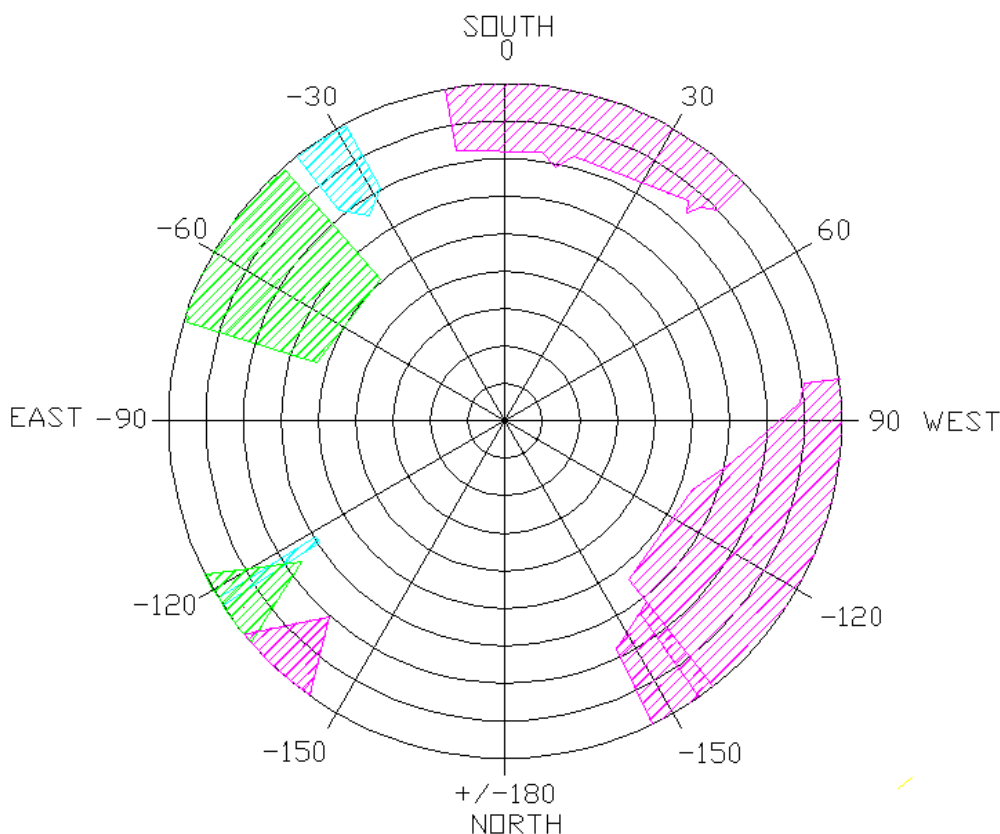
## 2.6 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΕΜΠΟΔΙΩΝ ΣΤΟ ΠΟΛΙΚΟ ΧΑΡΤΗ (Βήμα 7)

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω γωνίες, αποτυπώνουμε τα φυσικά εμπόδια στον πολικό χάρτη για τον συλλέκτη της πρόσοψης Σχ. 2.11 και για τον συλλέκτη της στέγης – φωτοβολταϊκά Σχ. 2.12 με τον τρόπο που περιγράψαμε στην *Ενότητα 2.2*



**Σχήμα 2.11 : Αποτύπωση εμποδίων στον πολικό χάρτη για τον συλλέκτη της πρόσοψης του οικίσκου**

Στην περίπτωση της σκίασης του συλλέκτη της πρόσοψης, όλη η περιοχή που ορίζεται πίσω από το ευθύγραμμο τμήμα των γωνιών 90 και -90 μοιρών σκιάζει τον συλλέκτη διότι βρίσκεται ενσωματωμένος στον νότιο τοίχο του οικίσκου, και έτσι δεν το βλέπει ο ήλιος πριν από αυτό το διάστημα. Αυτό γίνεται ορατό κατά τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες που ο ήλιος ανατέλλει και δύει πίσω από αυτό το ευθύγραμμο τμήμα και εξακολουθεί να επικρατεί φαινόμενο σκίασης.



**Σχήμα 2.12 : Αποτύπωση εμποδίων στον πολικό χάρτη για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά του οικίσκου**

## 2.7 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΗΛΙΟΥ (Βήμα 8)

Είναι απαραίτητο αφού έχουμε αποτυπώσει όλα τα εμπόδια στον ηλιακό χάρτη, να προσθέσουμε σε αυτόν τις θέσεις του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας που ενδιαφερόμαστε. Για να αποτυπωθεί λοιπόν η τροχιά που ακολουθεί ο ήλιος κατά την διάρκεια μιας ημέρας, πρέπει να γνωρίζουμε ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά ώρα) σε τι ύψος βρίσκεται ο ήλιος σε σχέση με το οριζόντιο (γωνία ύψους) καθώς επίσης και τον προσανατολισμό που βρίσκεται την ίδια χρονική στιγμή (αζιμούθια γωνία). Είναι εύκολο μετά ενώνοντας τα σημεία αυτά μεταξύ τους, να μπορούμε με σχετική ακρίβεια να προσδιορίσουμε την θέση του για κάθε χρονική στιγμή που επιθυμούμε.

Ο υπολογισμός της αζιμούθιας και της γωνίας ύψους του ηλίου (δηλαδή η θέση που βρίσκεται ο ήλιος) στην περίπτωση μας γίνεται μέσω ενός προγράμματος που κατασκευάστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 95 και έχει την δυνατότητα για κάθε ημερομηνία του χρόνου, να μπορεί να βρίσκει τα ζευγάρια αυτά ανά ώρα από την ανατολή έως και την δύση, και ύστερα να μπορούμε να τα προβάλλουμε μέσω του AutoCAD στον πολικό χάρτη. Το πρόγραμμα αυτό κάνει τους υπολογισμούς μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα, και το μόνο που ζητάει από τον χρήστη είναι το Γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και την επιθυμητή ημερομηνία. Ο κώδικας του παραπάνω προγράμματος βρίσκεται στο Παράρτημα (σελ 107). Να σημειωθεί πως το πρόγραμμα υπολογίζει τα ζευγάρια αυτά για αληθή ηλιακό χρόνο (ΑΗΧ).

Στην *Εικ. 2.11* γίνεται εφαρμογή του προγράμματος για το γεωγραφικό πλάτος που βρίσκεται ο οικίσκος, για τις 21 Ιανουαρίου.

```

Pillkteleghate to geografilis plates tis periodas
21.1.78
Pillkteleghate tin hmera tou adna
21
Pillkteleghate ton adna
1
n= 21
hlikh apaklish d= -28.2
ws= 73.2
wsad= 4.88385 [h] prin kai meta to H.H
parakalw pragce to dakadilo masce tou arithmou 4.88385
8.88385
4. [h] kai 53. [min]
prin kai meta to hliko mesimwri
anatelh stis: 7. [h] kai 7. [min]
dush stis: 16. [h] kai 53. [min]
metreie tis gunies ge do3ia kai aristere apo ton neto

anatelh hliou 7. [h] kai 7. [min]

ypoc hliou a= 8.8
th= 98.8
h azimouthia gunia:gsa= -64.14

8.88 :00

ypoc hliou a= 8.9
th= 81.1
h azimouthia gunia:gsa= -55.38 meires

9.88 :00

ypoc hliou a= 17.9
th= 72.1
h azimouthia gunia:gsa= -44.24 meires

10.88 :00

ypoc hliou a= 25.2
th= 64.8
h azimouthia gunia:gsa= -31.24 meires

11.88 :00

ypoc hliou a= 29.9
th= 60.1
h azimouthia gunia:gsa= -16.28 meires

12.88 :00

ypoc hliou a= 31.6
th= 58.4
h azimouthia gunia:gsa= 0.88 meires

ypoc hliou a= 29.9
th= 60.1
h azimouthia gunia:gsa= 13.88 :00

ypoc hliou a= 25.2
th= 64.8
h azimouthia gunia:gsa= 16.28 meires

ypoc hliou a= 17.9
th= 72.1
h azimouthia gunia:gsa= 14.88 :00

ypoc hliou a= 8.9
th= 81.1
h azimouthia gunia:gsa= 31.24 meires

ypoc hliou a= 8.8
th= 98.8
h azimouthia gunia:gsa= 15.88 :00

ypoc hliou a= 8.9
th= 81.1
h azimouthia gunia:gsa= 44.24 meires

16.88 :00

ypoc hliou a= 8.9
th= 81.1
h azimouthia gunia:gsa= 55.38 meires

17.88 :00

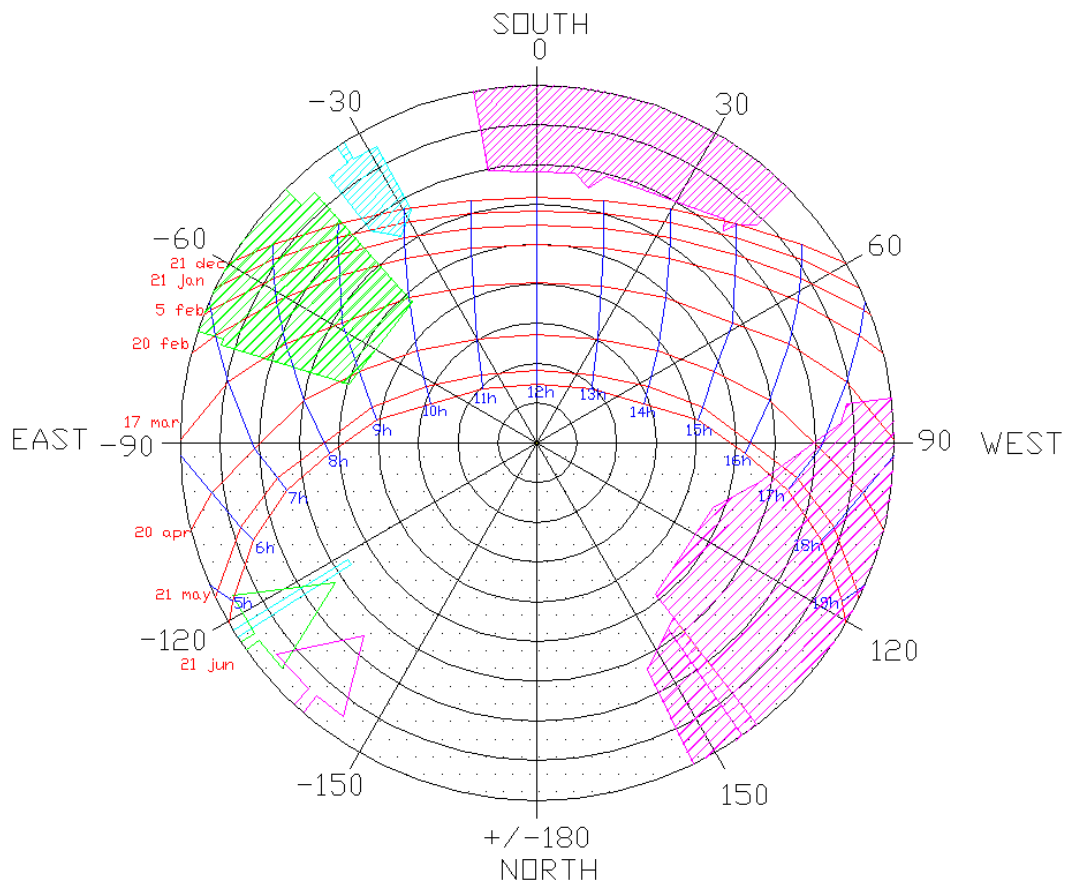
dush stis: 16. [h] kai 53. [min]
ypoc hliou a= 8.8
th= 98.8
h azimouthia gunia:gsa= -64.14

Poulwmenos spyridwv AM:6242

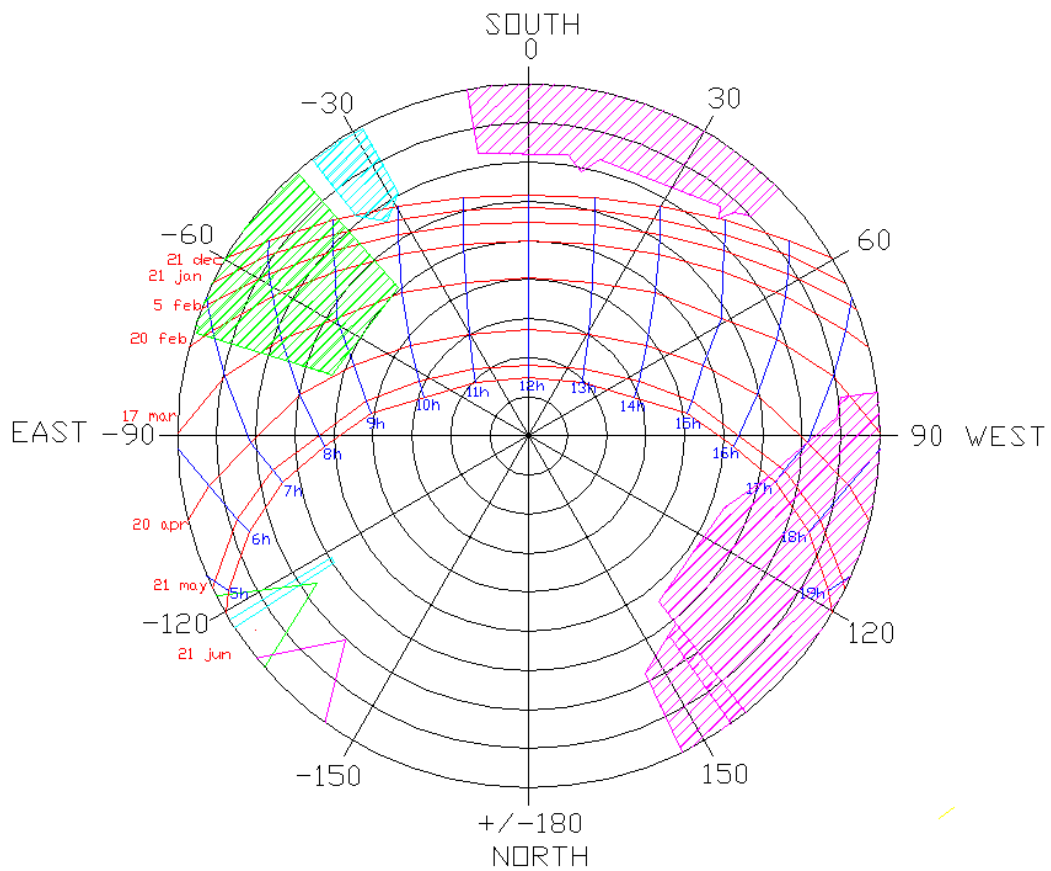
anawonh
pathete 8 gia terwatismo
    
```

Εικόνα 2.11 : Εφαρμογή προγράμματος εύρεσης ζευγαριών τροχιάς του ηλίου για την 21/1 στον οικίσκο

Επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία και για άλλες ενδεικτικές ημερομηνίες και αποτυπώνονται στους πολικούς χάρτες όπως φαίνεται στα *Σχ. 2.13* και *Σχ. 2.14*



**Σχήμα 2.13 : Ολοκληρωμένος πολικός χάρτης για τον συλλέκτη της πρόσοψης του οικίσκου**



**Σχήμα 2.14 : Ολοκληρωμένος πολικός χάρτης για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά του οικίσκου**

## 2.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΗΣ (Βήμα 9)

Παρακολουθώντας προσεκτικά το πολικό διάγραμμα για τον κατακόρυφο συλλέκτη, μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις ώρες που σκιάζεται από το κάθε εμπόδιο ξεχωριστά. Για παράδειγμα κατά την ημερομηνία 21 Ιανουαρίου που εξετάσαμε και παραπάνω οι ώρες σκίασης είναι :

- Από την ανατολή έως τις 9 :13 (ΑΗΧ) ο συλλέκτης σκιάζεται από τα δέντρα Δ2.
- Από τις 9:30 (ΑΗΧ) έως τις 10:01 (ΑΗΧ) ο συλλέκτης σκιάζεται από το δέντρο Δ1.

Τις υπόλοιπες ώρες για την συγκεκριμένη ημερομηνία, δεν σκιάζει κάποιο εμπόδιο τον συλλέκτη.

Παρακολουθώντας προσεκτικά το πολικό διάγραμμα για τον συλλέκτη της στέγης και τα φωτοβολταϊκά αυτή την φορά, προσδιορίσουμε τις ώρες που σκιάζεται από το κάθε εμπόδιο ξεχωριστά. Για παράδειγμα κατά την ημερομηνία 21 Ιανουαρίου που εξετάσαμε και παραπάνω οι ώρες σκίασης είναι :

- Από την ανατολή έως τις 9 :14 (ΑΗΧ) ο συλλέκτης σκιάζεται από τα δέντρα Δ2.

Τις υπόλοιπες ώρες για την συγκεκριμένη ημερομηνία, δεν σκιάζει κάποιο εμπόδιο τον συλλέκτη και τα φωτοβολταϊκά.

## 3. ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Από την αρχαιότητα συναντάμε την επιθυμία του ανθρώπου να χρησιμοποιεί την ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος προκειμένου να εξυπηρετεί τις ανάγκες του. Φωτεινό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του μεγάλου μαθηματικού Αρχιμήδη στην αρχαία Ελλάδα, όπου χρησιμοποίησε καθρέπτες (κάτοπτρα) ώστε να εκμεταλλευτεί τις <<φονικές ακτίνες>> του ηλίου για να πυρπολήσει τα ρωμαϊκά πλοία που πολιορκούσαν τις Συρακούσες κατά τον 3<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ όπως αναφέρεται στον θρύλο.

Με την πάροδο των χρόνων, ο άνθρωπος συνέχισε να επινοεί τρόπους για να εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία όπως για παράδειγμα να θερμαίνει νερό, να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα κτλ. Συγκεκριμένα σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στους τρόπους με τους οποίους μπορούμε εκμεταλλευόμενοι τον ήλιο να θερμάνουμε νερό για κάθε χρήση, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες τους οποίους διαθέτει ιδιοκατασκευασμένους και ο ενεργειακός οικίσκος που μελετάμε.

### 3.2 ΕΙΔΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι κατασκευές που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ζεστού νερού ή άλλου υγρού προς χρήση. Ειδικότερα, οι ηλιακοί συλλέκτες δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνουν την θερμοκρασία του μέσου που διέρχεται από το εσωτερικό των σωλήνων τους και με την σειρά του το μέσο αυτό θερμαίνει το χρησιμοποιούμενο νερό ή ότι άλλο επιθυμούμε.

Το μέσο που διέρχεται από το εσωτερικό των σωληνώσεων εντός ηλιακού συλλέκτη μπορεί να είναι (νερό, αέρας, φρέον, αντιπηκτικό υγρό κ.α) συνηθέστερη περίπτωση όμως για τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες αποτελεί η χρήση νερού ή αντιπηκτικού υγρού.

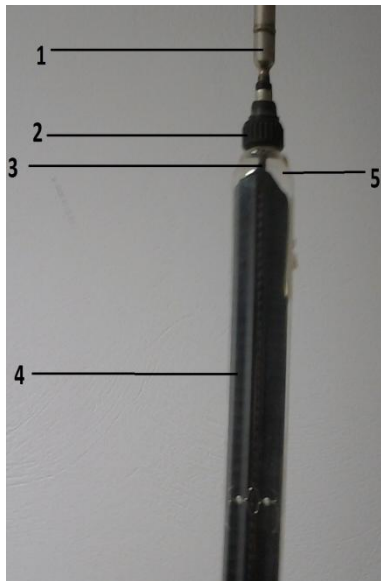
Οι ηλιακοί συλλέκτες με κριτήριο τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά αλλά και την θερμική τους συμπεριφορά διακρίνονται σε :

- i. **Συλλέκτες κενού**
- ii. **Συγκεντρωτικούς συλλέκτες**
- iii. **Επίπεδους συλλέκτες**

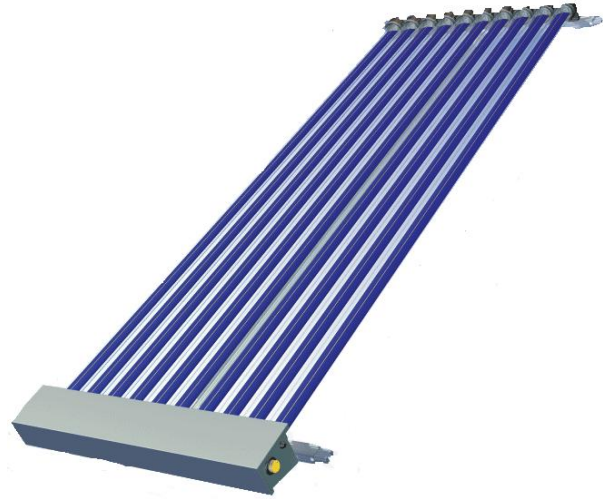
Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα επικεντρωθούμε στην ανάλυση και συμπεριφορά των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, ενώ θα γίνει σύντομη αναφορά για τους άλλους δυο τύπους.



- i) **Συλλέκτες κενού** : Οι συλλέκτες αυτοί αποτελούνται από ένα σύστημα με παράλληλους σωλήνες *Εικ. 3.2* που συνδέονται μεταξύ τους. Τα επιμέρους στοιχεία ενός τέτοιου συλλέκτη φαίνονται στην *Εικ. 3.1* :



Εικόνα 3.1 : Μέρη σωλήνα κενού από συλλέκτη του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



Εικόνα 3.2 : Σύστημα σωλήνων κενού

1. Εξάρτημα σύνδεσης στον κεντρικό σωλήνα εναλλάκτη
2. Θερμικά μονωμένο εξάρτημα σύνδεσης σωλήνα
3. Κυλινδρικός αγωγός διέλευσης ρευστού
4. Απορροφητική επιφάνεια συλλογής ακτινοβολίας
5. Γυάλινος σωλήνας

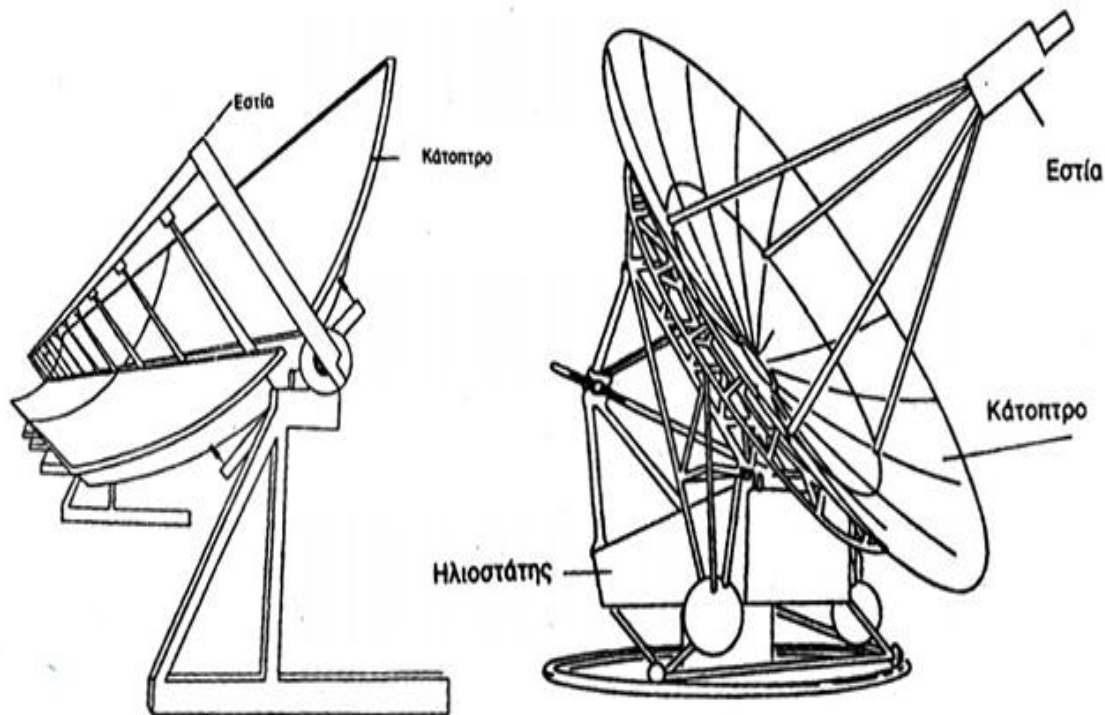
#### Αρχή λειτουργίας συλλεκτών κενού.

Οι συλλέκτες αυτοί λειτουργούν υπό συνθήκες <<κενού>> αέρα στο εσωτερικό του γυάλινου σωλήνα τους. Συγκεκριμένα λειτουργούν υπό πίεση μικρότερη των  $1,32 \cdot 10^{-9}$  [atm] και στο εσωτερικό τους περιλαμβάνεται μια απορροφητική επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Στο πίσω μέρος της επιφάνειας αυτής βρίσκεται κυλινδρικός αγωγός που στο εσωτερικό του διέρχεται ρευστό φρέον υπό πίεση τέτοια ώστε να βρίσκεται σε κατάσταση βρασμού. Όταν η απορροφητική επιφάνεια θερμανθεί λόγω της ακτινοβολίας του ήλιου, θερμαίνεται λόγω αγωγής και το ρευστό φρέον εντός του αγωγού που αρχίζει να εξατμίζεται. Το φρέον με την σειρά του ρέει προς το ένα άκρο του αγωγού και εισέρχεται εντός ενός εναλλάκτη θερμότητας που στο άλλο του τμήμα ρέει το νερό που θέλουμε να θερμάνουμε. Έτσι το νερό θερμαίνεται και αποκτάει υψηλή θερμοκρασία και αποθηκεύεται σε δεξαμενή.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως στην περίπτωση των σωλήνων κενού, σε ελάχιστα λεπτά επαφής με την ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να επιτευχθεί θερμοκρασία μεγαλύτερη των  $60$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Αυτό συμβαίνει διότι οι θερμικές απώλειες ενός τέτοιου σωλήνα είναι ελάχιστες εφόσον δεν μεταφέρεται θερμότητα από την συλλεκτική επιφάνεια προς το περιβάλλον με αγωγή και συναγωγή εξαιτίας του <<κενού>> αέρα.

- ii) **Συγκεντρωτικοί συλλέκτες**: Είναι συστήματα που έχουν ως βασικό αντικείμενο την συγκέντρωση μεγάλου ποσού ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρό τμήμα. Το

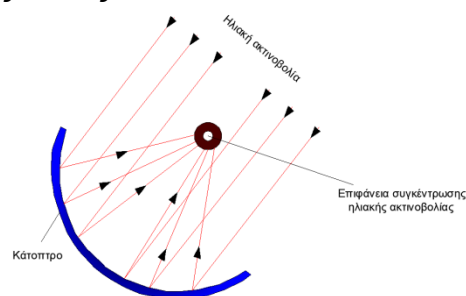
αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής επιτυγχάνει την θέρμανση του εργαζόμενου μέσου σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200 [°C]. Σχηματικά μπορούν να λάβουν μια από τις μορφές που φαίνονται στην *Εικ.3.3*.



Εικόνα 3.3 : Τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών. Πηγή [29]

#### Αρχή λειτουργίας συγκεντρωτικών συλλεκτών.

Όπως φαίνεται και στην *Εικ.3.3*, οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες μπορούν να έχουν παραβολικό ημικυκλικό, ή παραβολικό κυκλικό κάτοπτρο. Και στις δύο περιπτώσεις όμως υπάρχει μια εστία όπου προσπίπτουν οι ακτινοβολίες είτε αυτή είναι σημειακή είτε κατά μήκος ενός φορέα. Στο εσωτερικό της εστίας ή του κυλινδρικού σωλήνα διέρχεται ρευστό το οποίο θερμαίνεται μέσω της ακτινοβολίας που δέχεται από το κάτοπτρο. Ο κυλινδρικός σωλήνας βρίσκεται εντός της εστιακής γραμμής του παραβολικού κατόπτρου και δέχεται όλο το σύνολο της ακτινοβολίας που συγκεντρώνεται σε αυτό μέσω αντανάκλαστικών επιφανειών. Έτσι με αυτή την απλή αλλά σημαντική διαδικασία επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες ρευστού που μπορεί να προσεγγίζουν και τους 3000 [°C] ανάλογα με τον λόγο της επιφάνειας του κατόπτρου προς αυτήν της εστίας.

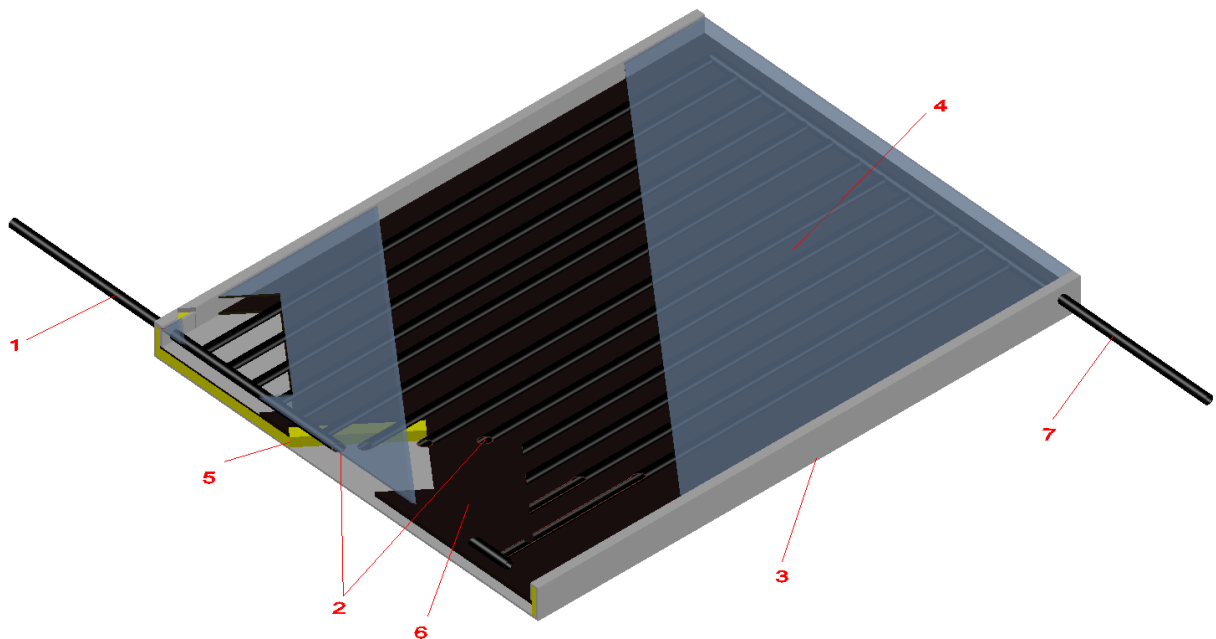


Σχήμα 3.1 : Αρχή λειτουργίας συγκεντρωτικών συλλεκτών

Υπάρχει δυνατότητα σε ένα τέτοιο σύστημα, να παρακολουθεί την τροχιά του ήλιου μέσω ενός ηλιοστάτη έτσι ώστε να πέφτουν πάντα κάθετα οι ηλιακές ακτίνες για ακόμα μεγαλύτερη απόδοση. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε συστήματα ψύξης εσωτερικών χώρων αλλά και σε βιομηχανικές εφαρμογές.

**iii) Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες:** Αποτελεί την συνηθέστερη περίπτωση ηλιακού συλλέκτη σε πλειοψηφία και χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού σε βιομηχανικό αλλά και σε οικιακό τομέα. Μέσω των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών μπορεί να επιτευχθεί θέρμανση χώρου, ξήρανση αλλά και γεωργικές εφαρμογές που αυξάνουν την παραγωγικότητα. Η θερμοκρασία που μπορεί να φθάσει το ζεστό νερό για χρήση στην περίπτωση των επίπεδων συλλεκτών είναι περίπου 70 [°C].

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης φαίνονται αναλυτικά στο Σχ.3.2 το οποίο βρίσκεται επιλεκτικά σε τομή για την καλύτερη κατανόηση του εσωτερικού του.



Σχήμα 3.2 : Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης σχεδιασμένος με επιλεκτικές τομές

1. Είσοδος <<κρύου>> νερού
2. Σωλήνες κυκλοφορίας νερού
3. Μεταλλικό περίβλημα
4. Γυάλινο κάλυμμα
5. Μονωτικό υλικό
6. Συλλεκτική φωτοαπορροφητική επιφάνεια
7. Έξοδος θερμού νερού

#### Αρχή λειτουργίας ηλιακού συλλέκτη.

Το νερό ή το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη, εισέρχεται αρχικά από το κατώτερο μέρος του τμήματος του και διέρχεται μέσω των σωληνώσεων σε όλο το μήκος και πλάτος της ηλιακής επιφάνειας. Οι σωλήνες είναι σε άμεση επαφή με την συλλεκτική φωτοαπορροφητική επιφάνεια (είτε από μπροστά είτε από την

πίσω πλευρά) η οποία βρίσκεται σε θερμή κατάσταση λόγω της ακτινοβολίας του ηλίου και ανταλλάσει θερμότητα με το ρευστό που τελικά εξέρχεται από το ψηλότερο σημείο θερμότερο.

Η συλλεκτική επιφάνεια καθώς και το σύστημα σωληνώσεων, είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή χάλυβα και είναι βαμμένα με σκούρο χρώμα (συνήθως μαύρο) ώστε να βελτιώνεται η απορροφητικότητα τους.

Το γυάλινο κάλυμμα εμποδίζει την μεταφορά θερμότητας προς το περιβάλλον από την μπροστινή όψη, προστατεύει το εσωτερικό του συλλέκτη και ταυτόχρονα <<παγιδεύει>> μέρος της ακτινοβολίας που αντανακλάται από την συλλεκτική πλάκα επιστρέφοντας μέρος αυτής. Μάλιστα συναντάμε πολύ συχνά σε επίπεδους συλλέκτες διπλό τζάμι μειώνοντας ακόμα περισσότερο τις απώλειες θερμότητας και συγκεντρώνοντας περισσότερη ακτινοβολία στην συλλεκτική επιφάνεια. Το υλικό του καλύμματος είναι κατασκευασμένο έτσι ώστε να πληροί τις θερμικές απαιτήσεις του συλλέκτη. Ειδικότερα έχει μεγάλη διαπερατότητα στην ορατή ακτινοβολία, ενώ η διαπερατότητα στην θερμική ακτινοβολία είναι μικρή (μετάδοση θερμότητας από τον συλλέκτη στο περιβάλλον μέσω ακτινοβολίας). Με άλλα λόγια θα μπορούσαμε να πούμε πως οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του συλλέκτη είναι αντίστοιχες με αυτές του «φαινομένου του θερμοκηπίου».

Η σημασία του μονωτικού στρώματος στους ηλιακούς συλλέκτες είναι πολύ σημαντική, εφόσον εμποδίζει την μεταφορά θερμότητας από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια και τους σωλήνες νερού προς το περιβάλλον από τις πίσω και πλάγιες όψεις αυξάνοντας έτσι την απόδοση του. Η θερμομόνωση γίνεται συνήθως με χρήση πολυουρεθάνης, υαλοβάμβακα, πετροβάμβακα ή συνδυασμό αυτών. Αναλυτικότερα οι απώλειες θερμότητας του συλλέκτη αναφέρονται στο *Κεφάλαιο 4*.

Το προστατευτικό πλαίσιο (μεταλλικό περίβλημα) προστατεύει τον συλλέκτη από ακραία καιρικά φαινόμενα και ενισχύει την αντοχή του. Είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο ή άλλο αντιδιαβρωτικό υλικό ώστε να μην φθείρεται με την πάροδο του χρόνου.

### 3.3 ΚΥΡΙΑ ΜΕΓΕΘΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Πριν μπούμε στην διαδικασία να αναλύσουμε τα στάδια που περνάει μια ακτίνα ηλίου για να φθάσει στην μαύρη απορροφητική πλάκα, πρέπει να ορίσουμε κάποια βασικά μεγέθη για την συλλεκτική επιφάνεια και το τζάμι :

Ορίζουμε ως :

**$\tau$**  → Την διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας από το γυάλινο κάλυμμα. Λόγω του φαινομένου της μερικής διαπερατότητας ο συντελεστής αυτός είναι πάντα μικρότερος της μονάδας ( $\tau < 1$ ).

**$\alpha$**  → Τον συντελεστή απορρόφησης των ηλιακών ακτίνων από την απορροφητική επιφάνεια. (η ύπαρξη του οφείλεται στην ιδιότητα που έχουν τα υλικά να απορροφούν κατά ποσοστό την ακτινοβολία είτε είναι άμεση είτε διάχυτη. Έτσι θα είναι ένας συντελεστής  $\alpha < 1$ ).

**$\epsilon$**  → Τον συντελεστή εκπομπής ακτινοβολίας της απορροφητικής επιφάνειας. Κάθε υλικό με μεγαλύτερη θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος, ακτινοβολεί βάσει του νόμου  $Q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$  (Stefan Boltzmann).

**( $\tau\alpha$ )** → Τον παράγοντα οπτικών απωλειών (το γινόμενο διαπερατότητας και απορρόφησης συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης  $\varphi$ ).

### **λδ → Τον συντελεστή ανακλαστικότητας γυάλινου καλύμματος για την διάχυτη ακτινοβολία.**

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης θα πρέπει να έχει τις καλύτερες δυνατές οπτικές ιδιότητες. Στην προκειμένη περίπτωση για την μεγιστοποίηση των ηλιακών ακτίνων στην απορροφητική επιφάνεια θα πρέπει ο ηλιακός συλλέκτης να έχει μεγάλη τιμή της διαπερατότητας του τζαμιού ώστε να εισέρχεται περισσότερη ακτινοβολία στο εσωτερικό του συλλέκτη, μεγάλο συντελεστή απορρόφησης της φωτοαπορροφητικής επιφάνειας έτσι ώστε να απορροφάται μεγάλο ποσό της ακτινοβολίας αυτής και μικρό συντελεστή εκπομπής.

Τιμές που συναντάμε συνήθως στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες από τα παραπάνω μεγέθη είναι :

$$\tau = (0,9 \div 0,99)$$

$$\alpha = (0,9 \div 0,95)$$

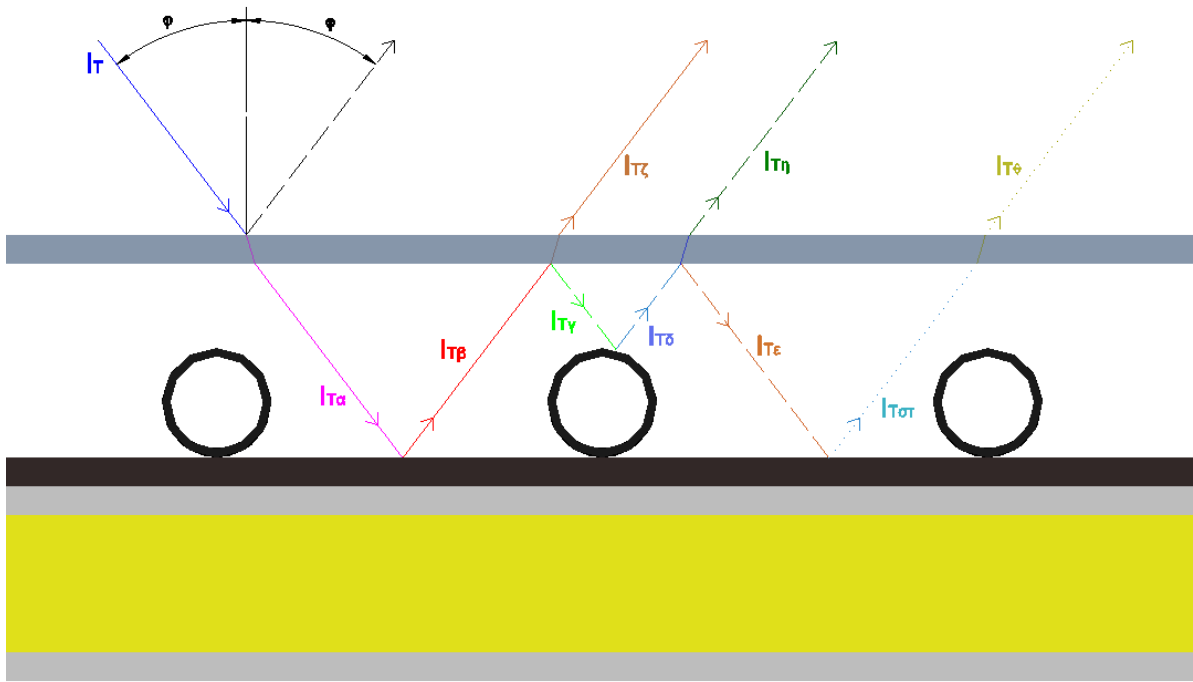
$\epsilon = (0,6 \div 0,65)$  και για επιλεκτικές επιφάνειες περίπου 0,1. Περισσότερα για τις επιλεκτικές επιφάνειες περιγράφονται στην *Ενότητα 3.5*.

### **3.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΑΔΙΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟΥΣ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ**

Αρχικά οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν στο γυάλινο κάλυμμα υπό κάποια κλίση  $\varphi$  Σχ.3.3 και ένα μέρος αυτών ανακλάται προς το περιβάλλον ενώ το υπόλοιπο διαθλάται μέσω του υαλοπίνακα και εισέρχεται στο εσωτερικό του συλλέκτη. Το ποσό ανάκλασης και διάθλασης εξαρτάται κάθε φορά από την διαπερατότητα του τζαμιού και την γωνία πρόσπτωσης  $\varphi$ . Στην συνέχεια η ακτινοβολία αυτή προσπίπτει στην απορροφητική μαύρη επιφάνεια και μέρος αυτής ανακλάται ξανά με κατεύθυνση προς το τζάμι ενώ το υπόλοιπο μέρος απορροφάται και γίνεται θερμότητα. Το υπόλοιπο ανακλώμενο ποσό της ακτινοβολίας όταν έρχεται σε επαφή με τον υαλοπίνακα, μέρος αυτού με την σειρά του διαθλάται και εξέρχεται από τον συλλέκτη με κατεύθυνση προς το περιβάλλον ενώ ένα άλλο μέρος ανακλάται ξανά και προσπίπτει κατ' επανάληψη στην απορροφητική πλάκα κ.ο.κ. Επίσης κατά την λειτουργία του συλλέκτη, και αφού αυτός αναπτύσσει θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτήν του περιβάλλοντος ακτινοβολεί στο υπέρυθρο κατά Stefan Boltzmann και δημιουργείται ένα ενεργειακό ισοζύγιο. Για αυτόν τον λόγο ο κατασκευαστής κάθε συλλέκτη σχεδιάζει την απορροφητική επιφάνεια με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο συντελεστής εκπομπής.

Έστω τώρα πως έχουμε την περίπτωση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη που προσπίπτει στο γυάλινο κάλυμμα του ηλιακή ακτίνα έντασης  $I_T$ , υπό κλίση γωνίας  $\varphi$  σε σχέση με την κάθετο του επιπέδου του Σχ. 3.4. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, μόνο ένα μέρος αυτής εισέρχεται στο εσωτερικό του συλλέκτη ενώ το υπόλοιπο επιστρέφει στο περιβάλλον λόγω ανάκλασης στον υαλοπίνακα. Έτσι η ακτίνα θα έχει πλέον τιμή  $I_{T\alpha}$  όπου θα ισχύει λόγω διαπερατότητας ( $I_{T\alpha} = I_T \cdot \tau$ ).

Ύστερα η ακτίνα αυτή θα προσκρούσει στην απορροφητική επιφάνεια και θα απορροφηθεί με τιμή ( $q(I_{T\alpha}) = I_{T\alpha} \cdot \alpha$ ) με αποτέλεσμα να ανακλάται ακτίνα τιμής  $I_{T\beta} = I_{T\alpha} \cdot (1-\alpha)$  με κατεύθυνση τον υαλοπίνακα. Όταν η ακτίνα αυτή έρθει σε επαφή με τον υαλοπίνακα, ανακλάται από αυτόν υπό μορφή διάχυτης με τιμή ( $I_{T\gamma} = I_{T\beta} \cdot \lambda\delta$ ) με κατεύθυνση ξανά την απορροφητική επιφάνεια ή κάποιον σωλήνα, ενώ ένα μέρος διαθλάται προς το περιβάλλον με τιμή ( $I_{T\zeta} = I_{T\beta} \cdot (1-\lambda\delta)$ ).



Σχήμα 3.3 : Διαδρομή ηλιακής ακτίνας στο εσωτερικό και το εξωτερικό επίπεδο συλλέκτη

Ακολουθείται κατ' επανάληψη η ίδια διαδικασία με τιμές που φαίνονται στον Πίν. 3.1:

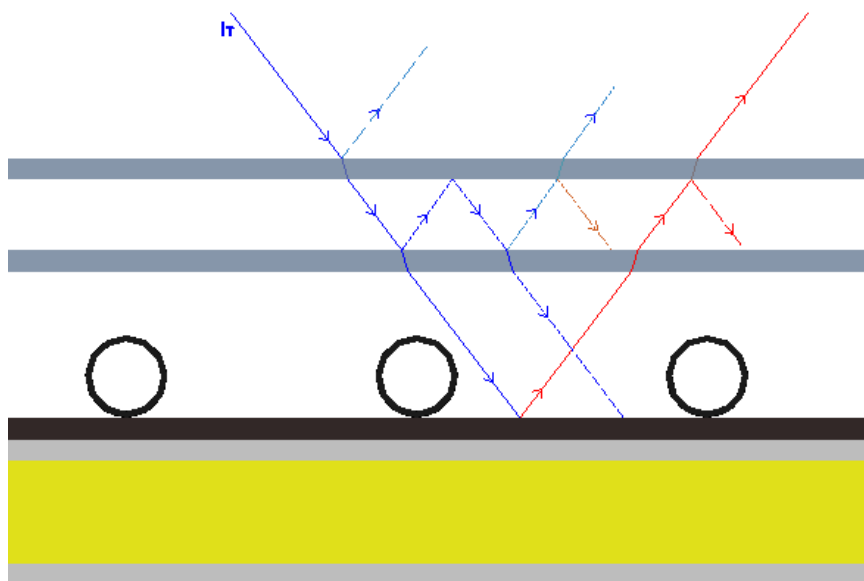
Ακτίνα	Φυσικό φαινόμενο
$q(I_{\tau\gamma}) = I_{\tau\gamma} \cdot \alpha$	Απορρόφηση
$I_{\tau\delta} = I_{\tau\gamma} \cdot (1-\alpha)$	Ανάκλαση συλλεκτικής επιφάνειας
$I_{\tau\eta} = I_{\tau\delta} \cdot (1-\lambda\delta)$	Διάθλαση προς το περιβάλλον από τον υαλοπίνακα
$I_{\tau\epsilon} = I_{\tau\delta} \cdot \lambda\delta$	Ανάκλαση από τον υαλοπίνακα
$q(I_{\tau\epsilon}) = I_{\tau\epsilon} \cdot \alpha$	Απορρόφηση
$I_{\tau\sigma\tau} = I_{\tau\epsilon} \cdot (1-\alpha)$	Ανάκλαση συλλεκτικής επιφάνειας

Πίνακας 3.1 : Μέτρο ηλιακής ακτίνας σε διάφορες περιπτώσεις

Με αντικατάσταση των παραπάνω σχέσεων ώστε να είναι συναρτήσεως της αρχικής ακτινοβολίας  $I_{\tau}$  προκύπτει πως το σύνολο των απορροφήσεων της μαύρης επιφάνειας μετά από διαδοχικές ανακλάσεις θα έχει την τιμή :

$$q = I_{\tau} \cdot \tau \cdot \alpha + I_{\tau} \cdot \tau \cdot \alpha \cdot (1-\alpha) \cdot \lambda\delta + I_{\tau} \cdot \tau \cdot \alpha \cdot (1-\alpha)^2 \cdot \lambda\delta^2 + \dots + I_{\tau} \cdot \tau \cdot \alpha \cdot (1-\alpha)^y \cdot \lambda\delta^y \quad (3.1)$$

Προφανώς στην περίπτωση επίπεδου ηλιακού συλλέκτη με διπλό υαλοπίνακα η ποσότητα απορρόφησης θα ήταν μεγαλύτερη όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και από το Σχ. 3.4.



Σχήμα 3.4 : Διαδρομή ηλιακής ακτίνας στο εσωτερικό και το εξωτερικό επίπεδο συλλέκτη με διπλό τζάμι

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό των οπτικών χαρακτηριστικών ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, αποτελεί ο λόγος  $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$ . Ο όρος  $(\tau\alpha)$  είναι η ενεργός τιμή του γινομένου  $\tau \cdot \alpha$  και περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ακτίνες που καταλήγουν στην απορροφητική επιφάνεια και γίνονται θερμότητα. Με άλλα λόγια στον όρο  $(\tau\alpha)$  περιλαμβάνονται όλες οι διάχυτες, οπισθοανακλώμενες και άμεσες ακτίνες που καταλήγουν σε ωφέλιμη θερμότητα σε οποιαδήποτε κλίση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη (προφανώς  $(\tau\alpha) > \tau \cdot \alpha$ ).

Από την άλλη, ο παρανομαστής δηλαδή ο όρος  $(\tau\alpha)_n$  παριστάνει την ποσότητα εκείνη των ακτινών που προσπίπτουν κάθετα στον ηλιακό συλλέκτη μέσω του υαλοπίνακα και δεν υπάρχουν σημαντικές ανακλάσεις (γωνία πρόσπτωσης  $\varphi=0$  [°]).

Προφανώς ο λόγος  $(\tau\alpha) / (\tau\alpha)_n$  εκφράζει τις ακτίνες εκείνες που απορροφούνται από την συλλεκτική επιφάνεια προς εκείνες που θα απορροφούνταν σε περίπτωση ιδανικής κλίσης, δηλαδή κάθετα προς τον συλλέκτη. Φυσικά ο συντελεστής αυτός έχει διαφορετική τιμή σε σχέση με την ημέρα, τον μήνα, την κλίση και την κατασκευή του συλλέκτη. Για αυτό τον λόγο πολύ συχνά τον συναντάμε υπό την μορφή  $(\overline{\tau\alpha}) / (\overline{\tau\alpha})_n$  όπου οι παράγοντες  $(\overline{\tau\alpha})$  και  $(\overline{\tau\alpha})_n$  είναι οι μέσες τιμές για κάθε μήνα του χρόνου.

### 3.5 ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Ως επιλεκτικές επιφάνειες ορίζουμε εκείνες τις απορροφητικές επιφάνειες που υπόκεινται σε κάποια στάδια επεξεργασίας, ώστε να βελτιώσουν αισθητά το βαθμό απόδοσης του συλλέκτη μειώνοντας τις οπτικές απώλειες. Συγκεκριμένα τα στάδια αυτά είναι :

1. **Βαφή.** Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την επίστρωση της συλλεκτικής επιφάνειας με οξείδια μετάλλων για την καλύτερη λειτουργία και απορρόφηση.
2. **Χημική και μηχανική επεξεργασία.** Μετά το στάδιο της βαφής ακολουθεί η μηχανική και χημική επεξεργασία της επιφάνειας, όπου με χημικά και μηχανικά μέσα δημιουργούνται οπές και τραχύτητες στην επιφάνεια ώστε να εμποδίζεται η άμεση ανάκλαση προς το περιβάλλον.
3. **Απόθεση οξειδίων.** Στο στάδιο αυτό επιτυγχάνεται η απόθεση οξειδίων χρωμίου – νικελίου διαμορφώνοντας την τραχύτητα της απορροφητικής επιφάνειας.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας της συλλεκτικής επιφάνειας με τα παραπάνω στάδια αποσκοπούν στην ορατή βελτίωση των συντελεστών απορρόφησης ( $\alpha$ ) και εκπομπής ( $\epsilon$ ) σε τιμές που φθάνουν έως 0,95 και 0,1 αντίστοιχα μειώνοντας κατά μεγάλο ποσοστό τις οπτικές ηλιακές απώλειες.

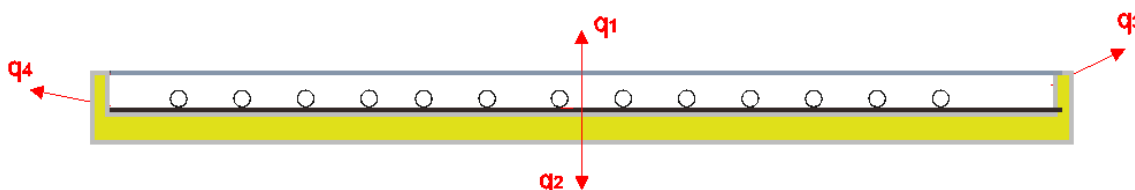


## 4. ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

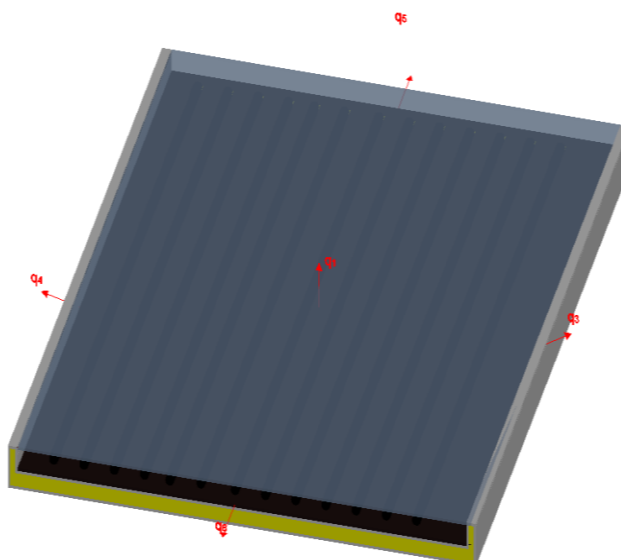
### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι απώλειες ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι κυρίως ενεργειακές απώλειες που χάνονται υπό την μορφή θερμότητας και ακτινοβολίας προς τον περιβάλλοντα χώρο μέσω των μηχανισμών της μετάδοσης θερμότητας. Ο συλλέκτης χάνει θερμότητα από την μπροστινή του μεριά, αλλά και από τις πλάγιες και πίσω όψεις του με αγωγή Σχ. 4.1 και Σχ. 4.2. Συγκεκριμένα όσον αφορά τις απώλειες από τις πλάγιες και πίσω όψεις, δεν είναι μεγάλες λόγω των κατασκευαστικών προδιαγραφών τους που προβλέπουν μόνωση.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα ενεργειακών απωλειών συναντάται κατά την μεταφορά θερμότητας διαμέσου του υαλοπίνακα που υστερεί σε μόνωση (για αυτό άλλωστε συναντάμε όλο και πιο συχνά συλλέκτες με διπλό τζάμι). Εκτός των άλλων θερμότητα χάνεται και υπό την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια μέσω του υαλοπίνακα όπως ορίζει ο νόμος Stefan – Boltzmann, για αυτόν το λόγο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών.



Σχήμα 4.1 : Ροή ενεργειακών απωλειών ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη σε τομή.



Σχήμα 4.2 : Ροή ενεργειακών απωλειών ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη από κάθε όψη.

## 4.2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΙΣΩ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΕΣ ΟΨΕΙΣ $U_{\mu}$

Οι θερμικές απώλειες από τις πλάγιες και πίσω όψεις ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, γίνονται μέσω του μηχανισμού της αγωγής εφόσον παρεμβάλλονται τα υλικά κατασκευής του ανάμεσα στην μαύρη συλλεκτική επιφάνεια και το περιβάλλον. Προκειμένου να προσδιορίσουμε αναλυτικά την διαδικασία υπολογισμού των θερμικών απωλειών μέσω αγωγής ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, θα αναφερθούμε στον νόμο του Fourier που περιγράφει πως :

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας  $q$  από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Ειδικότερα ισχύει ...

$$q = k \cdot A \cdot \frac{|\Delta T|}{X} \quad (4.1)$$

Όπου :

$q$  : Η ροή της θερμότητας από την πλάκα προς το περιβάλλον [W].

$k$  : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού [ $\frac{W}{m \cdot ^\circ K}$ ].

$A$  : Η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας [ $m^2$ ].

$X$  : Το πάχος της επιφάνειας μεταφοράς [m].

$\Delta T$  : Η διαφορά θερμοκρασίας [K].

Όπως προκύπτει από την Εξ. (4.1) η ροή θερμότητας έχει μονάδες [W] και είναι λογικό, διότι είναι μορφή ενέργειας. Θέλοντας να απλοποιήσουμε την παραπάνω σχέση εργαζόμενοι προκειμένου να ορίσουμε έναν συντελεστή ο οποίος να είναι χαρακτηριστικός και ορισμένος ανεξάρτητα από την θερμοκρασιακή διαφορά και την επιφάνεια μετάδοσης ώστε να είναι χρήσιμος μελλοντικά στον προσδιορισμό των θερμικών απωλειών :

$$q = k \cdot A \cdot \frac{|\Delta T|}{X} \text{ [W]} \Leftrightarrow q \cdot X = k \cdot A \cdot \Delta T \text{ [W} \cdot \text{m]} \Leftrightarrow \frac{q}{A \cdot \Delta T} = \frac{k}{X} \text{ [} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \text{]} \quad (4.2)$$

Ορίζουμε την ποσότητα  $\frac{q}{A \cdot \Delta T}$  με μονάδες [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ] ως **συντελεστή θερμοδιαφυγής  $\Lambda$**  του υλικού μεταφοράς, ο οποίος εκφράζει το μεταδιδόμενο ποσό θερμότητας ανά τετραγωνικό μέτρο και θερμοκρασιακή μονάδα και ως **θερμική αντίσταση  $R_T$**  το αντίστροφο αυτού

$$R_T = \frac{X}{k} \text{ [} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \text{]} \quad (4.3)$$

### Συντελεστής Θερμοπερατότητας $U$

Η θερμοπερατότητα  $U$  εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από το ένα άκρο του υλικού-κατασκευής στο άλλο, όταν και από τα δυο αυτά άκρα έρχεται σε επαφή αέρας. Δηλαδή η θερμοπερατότητα περιλαμβάνει την θερμοδιαφυγή του υλικού και την θερμική μετάβαση για τις δυο πλευρές. Οι μονάδες μέτρησης του είναι [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ] και υπολογίζεται ανάλογα με τα στρώματα υλικών που έχει από την Εξ. (4.4)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \dots + \frac{X_n}{k_n} + \frac{1}{a_o}} \quad (4.4)$$

Όπου :

$\frac{X}{k}$  προφανώς είναι οι επιμέρους θερμικές αντιστάσεις  $R_T$  των στρωμάτων της κατασκευής ή στην περίπτωση του συλλέκτη η μόνωση και το εξωτερικό κέλυφος.

$a_i$  και  $a_o$  είναι συντελεστές θερμικής μετάβασης στην επαφή με τον αέρα από την μια και την άλλη άκρη αντίστοιχα. Τιμές των συντελεστών αυτών βρίσκονται στην βιβλιογραφία ή προσδιορίζονται πειραματικά.

### Συντελεστές απωλειών (θερμοπερατότητας) πίσω και πλάγιων επιφανειών

Προφανώς και ο συντελεστής απωλειών για την πίσω επιφάνεια προκύπτει :

$$U_{\pi} = \frac{1}{\frac{X_{\pi, \mu}}{k_{\mu}} + \frac{X_{\mu \epsilon \tau}}{k_{\mu \epsilon \tau}}} \quad (4.5)$$

Και για τις πλάγιες όψεις :

$$U_{\pi \lambda} = \frac{\left( \frac{1}{\frac{X_{\pi \lambda, \mu}}{k_{\mu}} + \frac{X_{\mu \epsilon \tau}}{k_{\mu \epsilon \tau}}} \right) \cdot S \cdot d}{A_c} \quad (4.6)$$

Όπου :

$k_{\mu}$  : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της μόνωσης που χρησιμοποιείται  $\left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

$k_{\mu \epsilon \tau}$  : Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εξωτερικού μετάλλου  $\left[ \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right]$

$X_{\pi, \mu}$  : Το πάχος της μόνωσης στην πίσω όψη [m]

$X_{\pi \lambda, \mu}$  : Το πάχος της μόνωσης στις πλάγιες όψεις [m]

$X_{\mu \epsilon \tau}$  : Το πάχος του εξωτερικού μετάλλου [m]

$S$  : Το μήκος της περιμέτρου του συλλέκτη [m]

$d$  : Το πάχος του συλλέκτη [m]

$A_c$  : Η επιφάνεια του συλλέκτη [m<sup>2</sup>]

Υπολογίζοντας τον συντελεστή απωλειών για τις πλάγιες  $U_{\pi \lambda}$  και πίσω  $U_{\pi}$  όψεις του συλλέκτη, προκύπτει ο συνολικός συντελεστής απωλειών  $U_{\mu}$  των μεταλλικών όψεων και ισχύει :

$$U_{\mu} = U_{\pi \lambda} + U_{\pi}$$

### 4.3 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΑ $U_{\tau \zeta}$

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών από τον υαλοπίνακα, αποτελεί μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας συναγωγής και ακτινοβολίας. Οι απώλειες θερμότητας από την μπροστινή μεριά ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, οφείλονται στους εξής παράγοντες :

- Έχουμε απώλειες κατά την ροή της θερμότητας από την μαύρη συλλεκτική επιφάνεια προς τον υαλοπίνακα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής.

- Η μαύρη συλλεκτική επιφάνεια εφόσον έχει θερμοκρασία υψηλότερη από εκείνη του υαλοπίνακα, ακτινοβολεί προς αυτόν σύμφωνα με τον νόμο των Stefan – Boltzmann.
  - Θερμότητα μεταφέρεται μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και από τον υαλοπίνακα προς το περιβάλλον.
  - Επίσης ισχύει πως ο υαλοπίνακας ακτινοβολεί όπως και στην παραπάνω περίπτωση κατά Stefan – Boltzmann θερμότητα προς το περιβάλλον.
- Παρακάτω αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού των απωλειών που προαναφέραμε σχετικά με την συμπεριφορά του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη προς το περιβάλλον μέσω του υαλοπίνακα.

### 1. Απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι.

Οι απώλειες αυτές χωρίζονται όπως αναφέραμε σε απώλειες :

- 1.α) Λόγω συναγωγής
- 1.β) Λόγω ακτινοβολίας

**1.α)** Στην περίπτωση της μεταφοράς θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι μέσω συναγωγής, ορίζουμε τον συντελεστή απωλειών  $h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$  και ο υπολογισμός του προκύπτει από τον ορισμό του αριθμού Nusselt λύνοντας ως προς τον συντελεστή  $h$  Έξ. (4.7) :

$$h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.7)$$

Όπου :

**Nu** Είναι ο αριθμός Nusselt που παριστάνει την δυναμικότητα του μηχανισμού της συναγωγής σε σχέση με την αγωγή. Είναι αδιάστατος αριθμός μικρότερος της μονάδας και τυπικά εάν ο αριθμός αυτός γίνει μονάδα, τότε αυτό σημαίνει πως ισχύουν οι νόμοι της αγωγής.

**k** Παριστάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αέρα ανάμεσα από το τζάμι και την συλλεκτική επιφάνεια. Δηλαδή του μέσου που μεταφέρεται η θερμότητα. Μονάδες του συντελεστή αυτού είναι  $[\frac{W}{m \cdot ^\circ K}]$

**L** Αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ των δύο επιφανειών που ανταλλάσσουν θερμότητα. Στην προκειμένη περίπτωση το L είναι η απόσταση μεταξύ του υαλοπίνακα και της μαύρης επιφάνειας σε [m].

**1.β)** Κατά το ακτινοβολούμενο ποσό θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι, ορίζουμε τον συντελεστή απωλειών  $h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$  που προφανώς υπολογίζεται μέσω του νόμου του Planck και Stefan – Boltzmann :

$$h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau \zeta} = \frac{(T_{\sigma} + T_{\tau \zeta}) \cdot (T_{\sigma}^2 + T_{\tau \zeta}^2) \cdot \sigma}{\frac{1}{\epsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\epsilon_{\tau \zeta}} - 1} \quad (4.8)$$

Όπου:

**T<sub>σ</sub>** Είναι η θερμοκρασία που βρίσκεται η συγκεντρωτική πλάκα σε [°C]

**T<sub>τζ</sub>** Είναι η θερμοκρασία του γυάλινου καλύμματος σε [°C]

**σ** Αντιπροσωπεύει την σταθερά Stefan – Boltzmann σε  $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4}]$

**ε<sub>σ</sub>** και **ε<sub>τζ</sub>** Θεωρούνται οι αδιάστατοι συντελεστές εκπομπής της απορροφητικής επιφάνειας και του τζαμιού αντίστοιχα.

## 2. Απώλειες θερμότητας από το τζάμι προς το περιβάλλον.

Τέτοιες απώλειες συναντάμε στην περίπτωση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη δυο φύσεων:

2.α) Λόγω συναγωγής

2.β) Λόγω ακτινοβολίας

2.α) Όπως είναι λογικό, η θερμότητα μεταφέρεται από το γυάλινο κάλυμμα του συλλέκτη προς το περιβάλλον μέσω του οριακού στρώματος του. Κατά συνέπεια αυτού του είδους η μετάδοση της θερμότητας εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και από άλλες περιβαλλοντολογικές καταστάσεις όπως π.χ την βροχή.

Κατά κανόνα, οι συνθήκες που επικρατούν στον εξωτερικό χώρο και κατά συνέπεια στο περιβάλλον ενός ηλιακού συλλέκτη αντιστοιχούν σε τυρβώδης ροή. Έτσι όπως και σε κάθε νόμο μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή θα ορίσουμε τον συντελεστή απωλειών από το τζάμι στο περιβάλλον  $h_{\sigma, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon}$ .

$$h_{\sigma, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (4.9)$$

Οι όροι της παραπάνω Έξ (4.9) έχουν αναλυθεί στην περίπτωσης συναγωγής μεταξύ τζαμιού και συλλεκτικής επιφάνειας. Η διαφορά στην περίπτωση αυτή όμως θα είναι στον υπολογισμό του Nu που αντιστοιχεί για τυρβώδη ροή.

2.β) Οι απώλειες θερμότητας από το τζάμι στο περιβάλλον μέσω του μηχανισμού της ακτινοβολίας, εξαρτάται προφανώς από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι θα ισχύουν τα ίδια με την περίπτωση ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια, με την διαφορά ότι εδώ δεν περιλαμβάνεται ο συντελεστής εκπομπής της μαύρης πλάκας. Ορίζουμε επί το πλείστον τον συντελεστή απωλειών μέσω ακτινοβολίας  $h_{\alpha, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon}$  που υπολογίζεται από την Έξ. (4.10).

$$h_{\alpha, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon} = \epsilon_{\tau \zeta} \cdot \sigma \cdot (T_{\tau \zeta} + T_{\text{ουρ}}) \cdot (T_{\tau \zeta}^2 + T_{\text{ουρ}}^2) \quad (4.10)$$

Όπου :

$T_{\text{ουρ}}$  Είναι η θερμοκρασία του ουράνιου θόλου για ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος.

Οι υπόλοιποι όροι έχουν αναλυθεί παραπάνω.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, προκύπτει πως ο συντελεστής θερμικών απωλειών της εμπρόσθιας επιφάνειας υπολογίζεται από την Έξ. (4.11).

$$U_{\tau \zeta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta} + h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau \zeta}} + \frac{1}{h_{\sigma, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon} + h_{\alpha, \tau \zeta \rightarrow \pi \epsilon}}} \quad (4.11)$$

Προφανώς και ο ολικός συντελεστής απωλειών του συλλέκτη θα είναι το άθροισμα όλων των συντελεστών απωλειών.

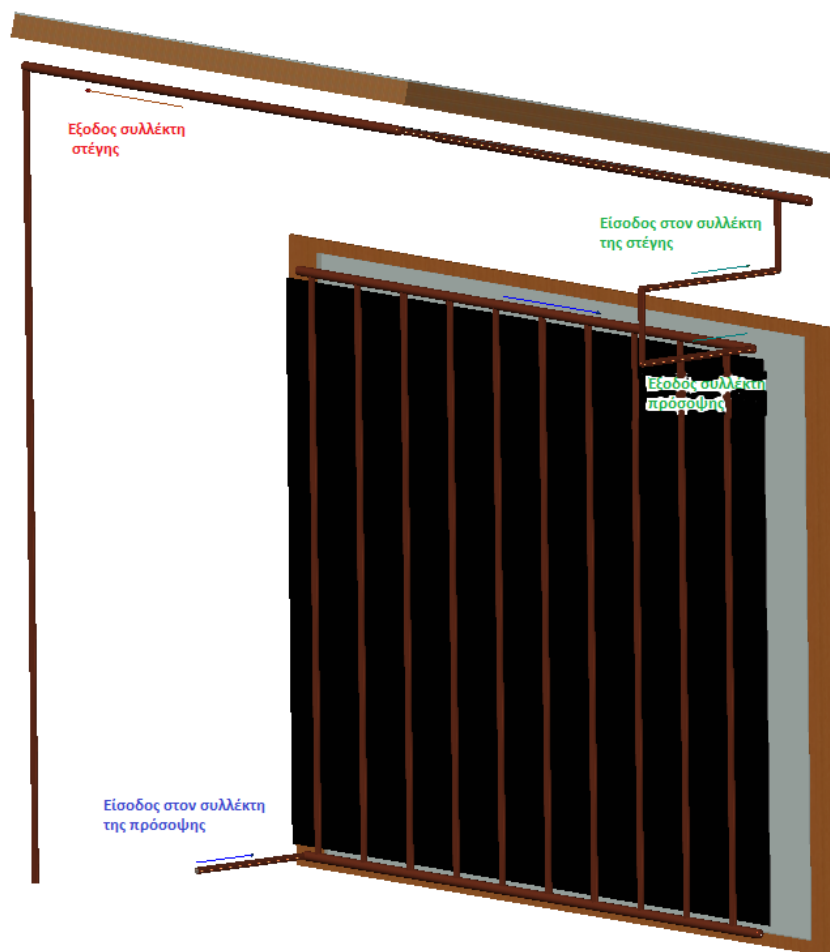
Δηλαδή :

$$U_o = U_{\mu} + U_{\tau \zeta} \Leftrightarrow U_o = U_{\pi \lambda} + U_{\pi \iota} + U_{\tau \zeta} \quad (4.12)$$

## 5. ΙΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

### 5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΙΔΙΟΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

Όπως έχουμε αναφέρει στο *Κεφάλαιο 1* ο ενεργειακός οικίσκος, περιλαμβάνει δύο ιδιοκατασκευασμένους ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού προς χρήση και θέρμανση χώρου μέσω του ενδοδαπέδιου συστήματος. Χαρακτηριστικό και των δύο αυτών συλλεκτών είναι πως βρίσκονται προσανατολισμένοι στον Νότο για να μεγιστοποιούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο ένας συλλέκτης (της πρόσοψης) αποτελεί μέρος της νότιας πρόσοψης του οικίσκου, ενώ ο άλλος αποτελεί τμήμα της οροφής του. Οι συλλέκτες αυτοί συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά, συγκεκριμένα η έξοδος του συλλέκτη της πρόσοψης είναι η είσοδος του συλλέκτη της οροφής όπως φαίνεται και στο Σχ. 5.1.



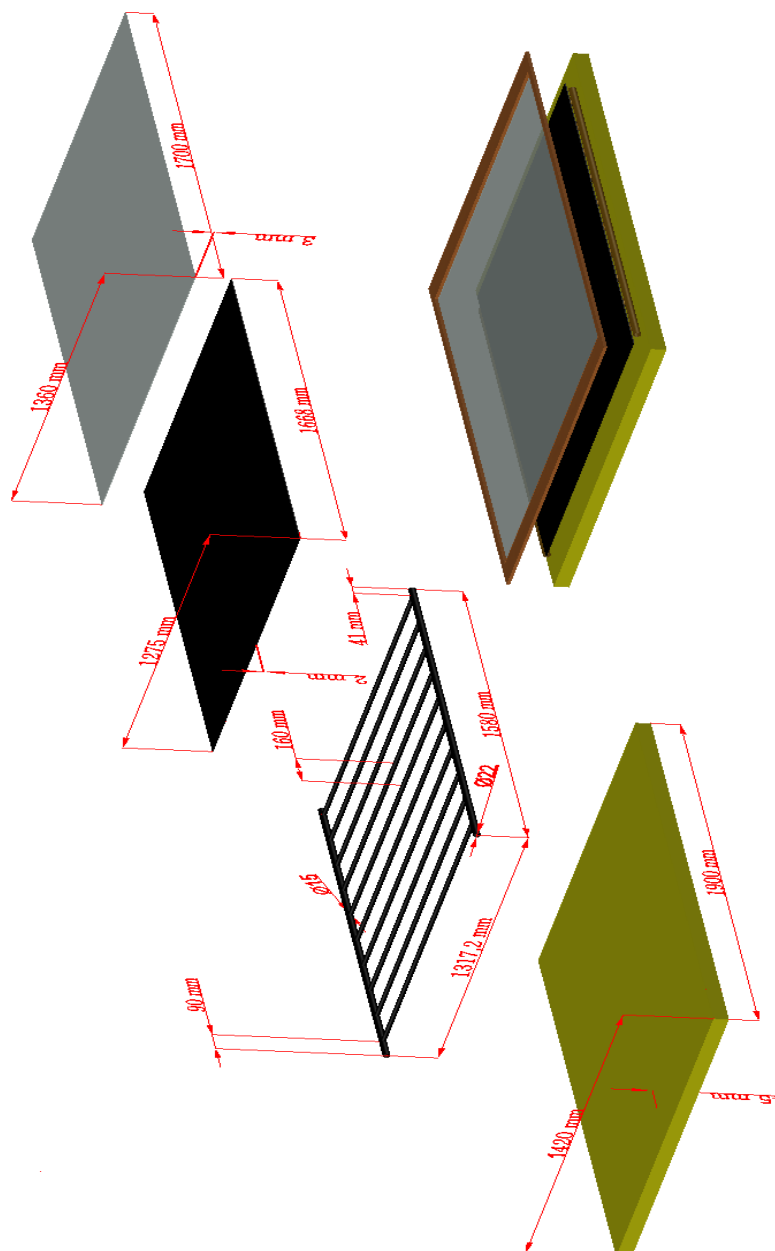
Σχήμα 5.1 : Συνδεσμολογία ιδιοκατασκευής συλλεκτών οικίσκου

## Συλλέκτης πρόσοψης

Ο συλλέκτης της πρόσοψης, αποτελεί μέρος του νότιου τοίχου του ενεργειακού οικίσκου, δηλαδή θα μπορούσαμε να πούμε πως στην θέση της τουβλοδομής βρίσκεται το σύστημα του συλλέκτη. Κατά συνέπεια στέκεται υπό κλίση 90 [°] σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και αποτελείται όπως ο κάθε συλλέκτης από :

- Υαλοπίνακα πάχους 3 [mm]
- Μαύρη συλλεκτική επιφάνεια πάχους 2 [mm]
- 10 κάθετους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 15$  [mm]
- 2 οριζόντιους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 22$  [mm]
- Μόνωση πετροβάμβακα πάχους 45 [mm]

Αναλυτικότερα οι διαστάσεις του κάθετου συλλέκτη φαίνονται στο Σχ.5.2.



Σχήμα 5.2 : Αναλυτικές διαστάσεις μερών της ιδιοκατασκευής συλλέκτη πρόσοψης του οικίσκου

Εξωτερικά η ιδιοκατασκευή του συλλέκτη αυτού έχει επενδυθεί περιμετρικά με ξύλινο προστατευτικό πλαίσιο, προκειμένου να αποτελεί μια ολότητα με το υπόλοιπο του εξωτερικού τοίχου για θερμικούς και αισθητικούς λόγους.

Σχετικά με την θερμική συμπεριφορά αυτού του ηλιακού συλλέκτη, δεν θα ασχοληθούμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία, αντιθέτως στην *Ενότητα 5.2* θα μελετήσουμε ενεργειακά την απόδοση του συλλέκτη της στέγης.

### Συλλέκτης στέγης

Ο συλλέκτης της στέγης εκτός από την ιδιότητα του να μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, αποτελεί και ένα μεγάλο μέρος της οροφής του οικίσκου αφού το υπόλοιπο είναι τα δυο φωτοβολταϊκά πλαίσια και ένα μικρό υάλινο κάλυμμα. Η εφαρμογή αυτή βρίσκει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα ενεργειακά κτήρια κατά τους χειμερινούς μήνες, αφού το ποσό θερμότητας που χάνεται από την πίσω όψη του συλλέκτη μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο μειώνοντας τις θερμικές απαιτήσεις του χώρου. Από την άλλη κατά το διάστημα του καλοκαιριού αποτελεί επιπλέον θερμικό κέρδος αυξάνοντας την κατανάλωση των κλιματιστικών.

Επί το πλείστον στο εσωτερικό του οικίσκου αμέσως μετά το ξύλινο κάλυμμα στην οροφή ακολουθεί η μόνωση του συλλέκτη, οι σωληνώσεις κτλ. Ο συλλέκτης της στέγης όπως και ο συλλέκτης της πρόσοψης, είναι προσανατολισμένος στον νότο υπό κλίση  $\varphi = 13,58$  [°] σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο και αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία :

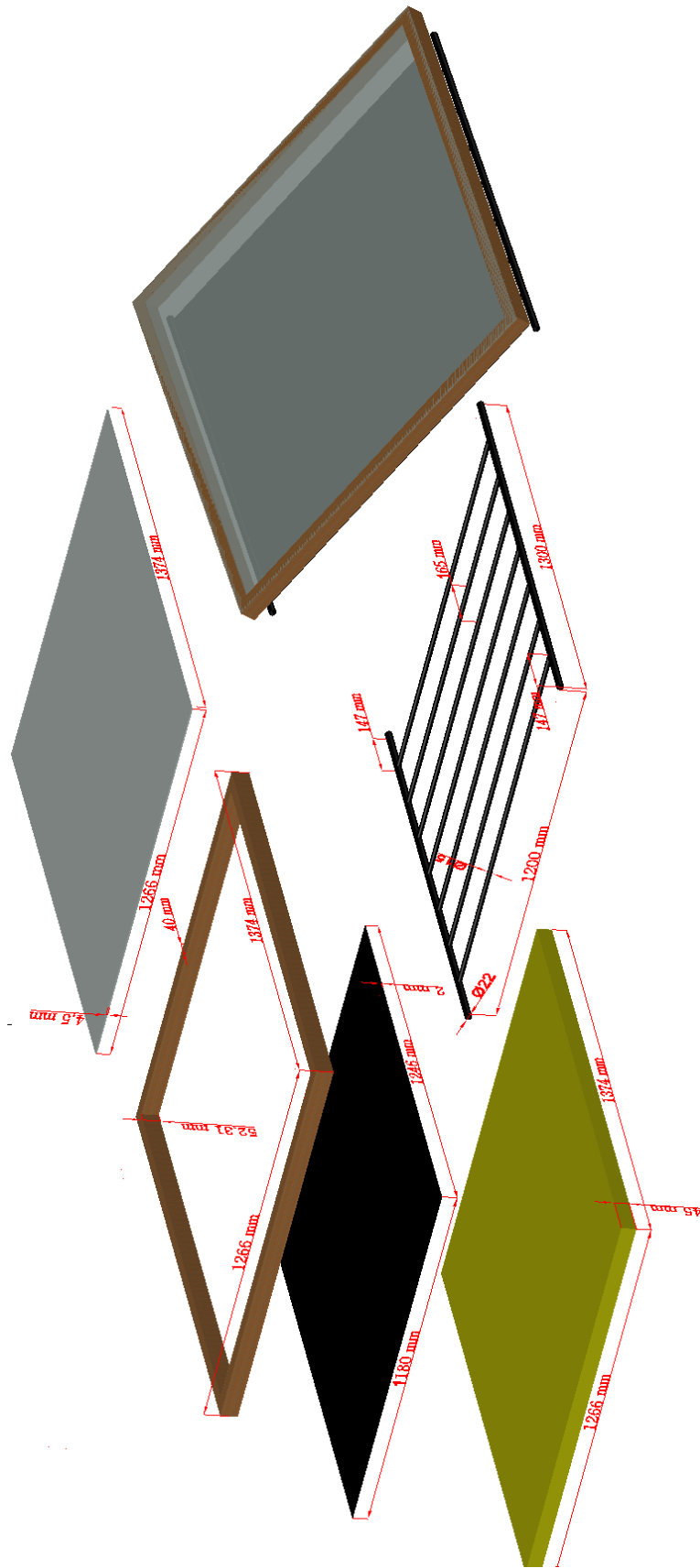
- Υαλοπίνακα πάχους 4,5 [mm]
- Ξύλινο περιφερικό περίβλημα και πλαίσιο στήριξης υαλοπίνακα πάχους 40 [mm]
- Μαύρη συλλεκτική επιφάνεια πάχους 2 [mm]
- 7 κάθετους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 15$  [mm]
- 2 οριζόντιους σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου  $\Phi 22$  [mm]
- Μόνωση πετροβάμβακα πάχους 45 [mm]

Αναλυτικότερα οι διαστάσεις του συλλέκτη της στέγης φαίνονται στο Σχ. 5.3.

Εξωτερικά ο συλλέκτης αυτός έχει επενδυθεί περιμετρικά με πλαίσιο αλουμινίου για την αντοχή του στον χρόνο.

Η συμπεριφορά του συγκεκριμένου συλλέκτη θα αναλυθεί παρακάτω σχετικά με το θερμικό κέρδος που παράγει κατά μια μέρα ενός καλοκαιρινού μήνα και θα βρεθεί η απόδοση του κατά τις ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι.





Σχήμα 5.3 : Αναλυτικές διαστάσεις μερών ιδιοκατασκευής συλλέκτη στέγης του οικίσκου.

## 5.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΣΤΕΓΗΣ (ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ)

### 5.2.1 Ενεργειακές απώλειες από τον υαλοπίνακα

Για τον υπολογισμό των ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη της στέγης πραγματοποιήθηκε πειραματική διαδικασία αποσκοπώντας στον προσδιορισμό των θερμοκρασιών του τζαμιού και της συλλεκτικής επιφάνειας  $T_{τζ}$  και  $T_{\sigma}$  αντίστοιχα για κάθε χρονική στιγμή γύρω από το ηλιακό μεσημέρι.

Εάν δεν ακολουθούσαμε αυτήν την πειραματική διαδικασία θα έπρεπε να ακολουθήσουμε μια μεθοδολογία αλγορίθμου εύρεσης των παραπάνω θερμοκρασιών μέσω του ενεργειακού ισοζυγίου που περιγράφεται στην (Εξ.5.1).

$$(h_{\sigma,\sigma \rightarrow τζ} + h_{\alpha,\sigma \rightarrow τζ}) \cdot (T_{\sigma} - T_{τζ}) = U_o \cdot (T_{\sigma} - T_{\alpha}) \quad (5.1)$$

Ο αλγόριθμος αυτός δέχεται αρχικά μια φανταστική τιμή θερμοκρασίας τζαμιού και συλλεκτικής επιφάνειας  $T_{τζ}$  και  $T_{\sigma}$  υπολογίζοντας έτσι τα  $h_{\sigma,\sigma \rightarrow τζ}$ ,  $h_{\alpha,\sigma \rightarrow τζ}$ . Στην συνέχεια υπολογίζεται νέα θερμοκρασία του τζαμιού σύμφωνα με την Εξ. (5.2).

$$T_{τζ} = T_{\sigma} - \frac{U_o \cdot (T_{\sigma} - T_{\alpha})}{h_{\sigma,\sigma \rightarrow τζ} + h_{\alpha,\sigma \rightarrow τζ}} \quad (5.2)$$

Τότε γίνεται έλεγχος εάν το  $T_{τζ}$  είναι κοντά στην αρχική υπόθεση και εάν ισχύει αυτό τότε η διαδικασία σταματά. Από την άλλη εάν διαφέρουν οι τιμές με την νέα  $T_{τζ}$  υπολογίζονται εκ νέου οι απώλειες και επαναλαμβάνεται η διαδικασία έως ότου να συγκλίνουν.

Η παραπάνω διαδικασία απαιτεί την εύρεση κάθε φορά και της θερμοκρασίας της συλλεκτικής επιφάνειας  $T_{\sigma}$ , κάτι το οποίο είναι αρκετά χρονοβόρο να υπολογιστεί στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Αναλυτικότερα στοιχεία για την διαδικασία αυτή αναγράφονται στο παράρτημα του βιβλίου [4].

Για το λόγο αυτό ακλουθήσαμε την διαδικασία του πειράματος για να πάρουμε τις θερμοκρασίες  $T_{τζ}$  και  $T_{\sigma}$  με την βοήθεια θερμοζευγών όπου η φύση και η λειτουργία τους περιγράφεται στην *Εισαγωγή του τεύχους*.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις 7 και 8/7/2015 και ακολούθησε τα εξής στάδια :

**7/7/2015**

Στις 7/8/2015 πραγματοποιήθηκαν προεργασίες για την λήψη μετρήσεων :

- Καθάρισμα της συλλεκτικής επιφάνειας στο εσωτερικό του οικίσκου.
- Καθάρισμα του υαλοπίνακα του ηλιακού συλλέκτη *Εικ. 5.1*.
- Τοποθέτηση θερμοζεύγους στην επιφάνεια του τζαμιού με χρήση ταινίας και σύνδεση του στον Data Logger.
- Τοποθέτηση θερμοζεύγους από την εσωτερική πλευρά της συλλεκτικής επιφάνειας με χρήση ταινίας και σύνδεση του στον Data Logger *Εικ.5.2*.



Εικόνα 5.1 : Καθαρισμός συλλέκτη στέγης του Ενεργειακού οικίσκου



Εικόνα 5.2 : Τοποθέτηση θερμοζεύγους στην συλλεκτική επιφάνεια

**8/7/2015**

Κατά τις 8/8/2015 ελήφθησαν οι μετρήσεις των θερμοκρασιών και παρακολουθούνταν το σύστημα για την ορθή του λειτουργία, συγκεκριμένα :

**12:27** → Καθαρίστηκε ο υαλοπίνακας του για να μην υπάρχουν απώλειες στην ακτινοβολία λόγω του στρώματος σκόνης στην επιφάνεια του.

**12:39** → Παρατηρήθηκε ότι ο κυκλοφορητής του συστήματος των συλλεκτών δεν ήταν σε λειτουργία. Αυτό συνέβη διότι η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής ήταν αρκετά μεγάλη και δεν εξυπηρετούσε να περάσει ξανά από τον συλλέκτη. Ο έλεγχος γίνεται μέσω ηλεκτρονικού συστήματος που διαθέτει ο οικίσκος και περιγράφεται στο *Κεφάλαιο 1*.

Έτσι προκειμένου να λειτουργήσει ο κυκλοφορητής και να διέρχεται το νερό από τον συλλέκτη για να πάρουμε σωστές μετρήσεις από τις θερμοκρασίες των θερμοζευγών, αδειάσαμε την δεξαμενή που περιείχε το <<καυτό>> νερό το οποίο αντικαταστάθηκε με ψυχρότερο από το δίκτυο μέσω του αυτόματου πλήρωσης *Εικ. 5.3*.



Εικόνα 5.3 : Άδειασμα δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού του οικίσκου κατά την πειραματική διαδικασία

**12:48** → Η δεξαμενή είχε γεμίσει από το νερό του δικτύου, ελέγχθηκε από το ηλεκτρονικό σύστημα του οικίσκου και ο κυκλοφορητής μπήκε σε λειτουργία.

**14:42** → Παρατηρήθηκε πως ο κυκλοφορητής σταμάτησε να λειτουργεί επειδή το νερό είχε ζεσταθεί αρκετά οπότε ξανά αδειάσαμε την δεξαμενή για να αναπληρωθεί.

**16:01** → Ο κυκλοφορητής ήταν σε λειτουργία, όπου και στην ίδια ώρα σταμάτησε και η πειραματική διαδικασία.

Κατά την διαδικασία του πειράματος είχε τοποθετηθεί στο εσωτερικό του οικίσκου ένα πολύμετρο *Εικ. 5.4* που με την βοήθεια ενός thermistor κατέγραφε την θερμοκρασία του δωματίου. Η αρχή λειτουργίας του thermistor είναι παρόμοια με αυτή των θερμοζευγών.



**Εικόνα 5.4 :** Καταγραφή θερμοκρασίας δωματίου του οικίσκου με χρήση πολυμέτρου

Ωρα	T <sub>δ</sub> [°C]
12:50	32
13:27	33
13:44	33
14:06	32
14:31	32
14:56	33
15:20	33
15:42	35
16:01	36

**Πίνακας 5.1 :** Τιμές θερμοκρασίας δωματίου του οικίσκου

Τιμές της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του οικίσκου ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια του πειράματος φαίνονται στον *Πίνακα 5.1*.

Έτσι κατά την διάρκεια όλης της ημέρας, καταγράφονταν οι μετρήσεις των θερμοκρασιών του τζαμιού και της μαύρης επιφάνειας μέσω του Data Logger, καθώς επίσης καταγράφονταν από το σύστημα και οι τιμές της ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη με την βοήθεια του πυρανομέτρου του οικίσκου (αναφορά για το πυρανόμετρο αυτό έχει γίνει στην *εισαγωγή* του τεύχους). Επίσης καταγράφονταν θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού από τον συλλέκτη της στέγης καθώς και η παροχή του ρευστού με την βοήθεια του ροόμετρου που περιγράφηκε επίσης στην *Εισαγωγή*. Μέρος των μετρήσεων αυτών γύρω από το ηλιακό μεσημέρι φαίνονται στο *Παράρτημα (σελ 109)*.

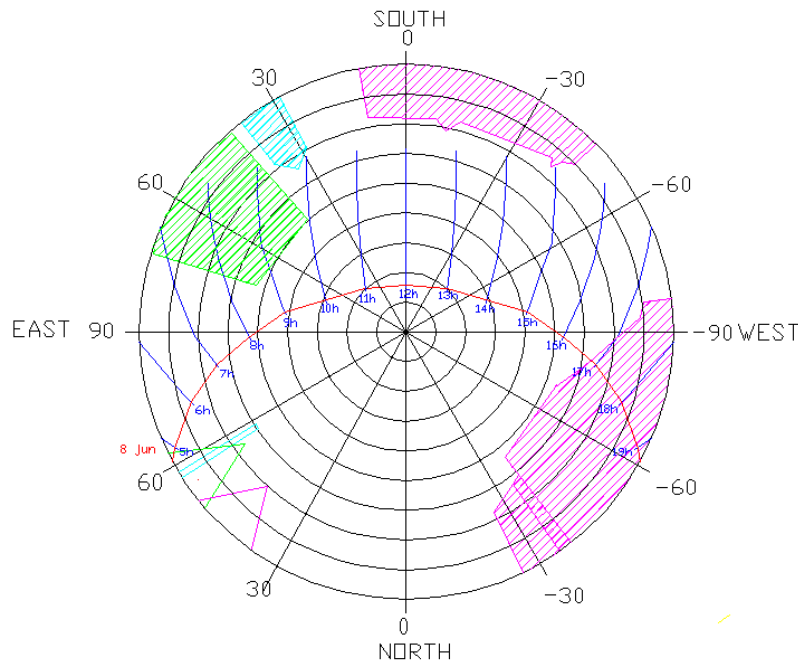
Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως στις 8/7/2015 οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες δεν ήταν τελείως αίθριες διότι υπήρχε αραιή συννεφιά σε όλο το εύρος του ουρανού. Αυτό φαίνεται και από τις τιμές της ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη που πότε είναι υψηλές και πότε χαμηλότερες.

Πριν την πειραματική διαδικασία συμβουλευτήκαμε τον πολικό χάρτη για την στέγη του οικίσκου. Συγκεκριμένα, τρέξαμε το πρόγραμμα που κατασκευάσαμε σε Fortran 95 (*Ενότητα 2.3*) και βρήκαμε για τις 8/7/2015 τα ζευγάρια αζιμούθιας – γωνία ύψους του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας *Εικ. 5.5*.

<pre> Pillirologhete to gongorino plakes tas perionas 90.2170 Pillirologhete tin hmera tou sidu 9 Pillirologhete tou sidu 7 a= 199 hlikh apoklith d= 22.5           tlu= 180.1           a= 7.27170 [h] yrdi kai nota to H.M           paxothla gregto to dekadiko meros tou arithmou 7.27170 9.27170           7. [h] kai 16. [kata]           yrdi kai nota to hliko mesimori. [kata]           anasth stis: 4. [h] kai 44. [kata]           dshh stis: 19. [h] kai 16. [kata]  notreze tis gundes ge dshia kai aridtare apo tou bore hmeri etim anasth kai st ka dshh gure apo to hliko mesimori notreze apo tou nota            anasth hliko 4. [h] kai 44. [kata]           space hliko a= 8.8           tlu= 98.8           h azimothia gundia:gea= -61.88            5.88 :88           space hliko a= 2.8           tlu= 87.2           h azimothia gundia:gea= -63.37 noires            6.88 :88           space hliko a= 13.7           tlu= 76.3           h azimothia gundia:gea= -72.88 noires            7.88 :88           space hliko a= 25.1           tlu= 64.9           h azimothia gundia:gea= -88.22 noires            8.88 :88           space hliko a= 36.8           tlu= 53.2           h azimothia gundia:gea= -87.88 noires            9.88 :88           space hliko a= 48.6           tlu= 41.4           h azimothia gundia:gea= -88.72 noires            18.88 :88           space hliko a= 59.9           tlu= 38.1           h azimothia gundia:gea= -67.84 noires </pre>	<pre>           11.88 :88           space hliko a= 69.7           tlu= 28.3           h azimothia gundia:gea= -49.88 noires            12.88 :88           space hliko a= 74.3           tlu= 15.7           h azimothia gundia:gea= 8.88 noires            13.88 :88           space hliko a= 69.7           tlu= 28.3           h azimothia gundia:gea= -49.88 noires            14.88 :88           space hliko a= 59.9           tlu= 38.1           h azimothia gundia:gea= -67.84 noires            15.88 :88           space hliko a= 48.6           tlu= 41.4           h azimothia gundia:gea= -88.72 noires            16.88 :88           space hliko a= 36.8           tlu= 53.2           h azimothia gundia:gea= -87.88 noires            17.88 :88           space hliko a= 25.1           tlu= 64.9           h azimothia gundia:gea= -88.22 noires            18.88 :88           space hliko a= 13.7           tlu= 76.3           h azimothia gundia:gea= -72.88 noires            19.88 :88           space hliko a= 2.8           tlu= 87.2           h azimothia gundia:gea= -63.37 noires            28.88 :88           dshh stis: 19. [h] kai 16. [kata]           space hliko a= 8.8           tlu= 98.8           h azimothia gundia:gea=-61.88            Poullozese apovithu off:G342           zamech           politho 8 gia touz timou </pre>
---	---

Εικόνα 5.5 : Εφαρμογή προγράμματος εύρεσης ζευγαριών τροχιάς του ηλίου για τις 8/7 στον οικίσκο

Αποτυπώσαμε μέσω του AutoCAD τα ζευγάρια αυτά στον πολικό χάρτη που κατασκευάσαμε στην Ενότητα 2.3.



Σχήμα 5.4 : Πολικός χάρτης για τον συλλέκτη της στέγης - φωτοβολταϊκά στις 8/7

Αφού εξετάστηκε, παρατηρήθηκε πως κατά τις ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι

που πραγματοποιήθηκε το πείραμα δεν σκιάζονταν ο συλλέκτης.

Στην επόμενη ενότητα θα υπολογιστεί η απόδοση του συλλέκτη για κάποιες συγκεκριμένες ώρες. Έτσι θα πρέπει αυτές τις ώρες να υπολογιστούν και οι απώλειες θερμότητας του. Στον Πίνακα 5.2 φαίνονται οι ώρες αυτές και οι αντίστοιχες μετρήσεις θερμοκρασιών, ακτινοβολίας στο επίπεδο του και ταχύτητας ανέμου.

8/7/2015 Ωρα	T <sub>τζ</sub> [°C]	T <sub>σ</sub> [°C]	T <sub>εισ</sub> [°C]	T <sub>εξ</sub> [°C]	T <sub>δ</sub> [°C]	T <sub>α</sub> [°C]	u <sub>meteo</sub> [m/s]	u [m/s]	I <sub>τ</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
12:50	48,24	68,66	52,09	62,08	32	30,92	1,787	0,596	939
13:27	49,74	68,26	48,68	61,41	34	31,62	1,138	0,379	969
13:44	48,67	68,76	50,08	61,51	34	31,87	2,574	0,858	976
14:06	47,37	68,85	52,82	63,89	33	31,54	3,110	1,037	612,6
14:31	48,44	67,78	53,84	62,10	34	31,01	4,015	1,338	1072
14:56	49,10	69,15	55,81	62,23	35	33,03	1,610	0,537	990
15:20	49,18	65,48	52,24	64,50	36	34	4,575	1,525	338,8
15:42	49,29	65,83	50,70	59,71	36	34,34	5,852	1,951	619
16:01	46,69	60,31	50,07	57,00	36	34,75	3,866	1,289	397,7

Πίνακας 5.2 : Πειραματικές μετρήσεις για την εύρεση της απόδοσης του συλλέκτη της στέγης

Οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (Παράρτημα σελ 112). Όμως η στέγη βρίσκεται σε μικρότερο ύψος σε σχέση με τον σταθμό, καθώς επίσης ο οικίσκος βρίσκεται σε προστατευμένη περιοχή από τον άνεμο λόγω των φυσικών εμποδίων (δέντρα, κτήρια κτλ). Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να γίνει μια μείωση στην τιμή της ταχύτητας του ανέμου κατά 66,67% καθώς η ίδια μεθοδολογία μείωσης ακολουθείται και στην περίπτωση των κολυμβητικών δεξαμενών για προστατευμένη περιοχή.

#### πχ για τις 14:06 ΤΩΧ

$$u' = \frac{u_{\text{meteo}}}{3} = \frac{3,11 \text{ [m/s]}}{3} \rightarrow u' = 1,037 \text{ [m/s]}$$

Αριθμητική εφαρμογή για τον υπολογισμό των απωλειών θα γίνει για την **ώρα (14:06 ΤΩΧ)**. Για τον υπολογισμό των απωλειών για τις υπόλοιπες ώρες θα χρησιμοποιήσουμε ένα πρόγραμμα σε Excel που κατασκευάσαμε προκειμένου να μην χάσουμε χρόνο σε υπολογισμούς (Παράρτημα σελ 115).

#### Υπολογισμός θερμικών απωλειών από τον υαλοπίνακα (14:06 ΤΩΧ) :

Όπως έχουμε αναφέρει και στο *Κεφάλαιο 4*, οι απώλειες θερμότητας από τον υαλοπίνακα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών του συλλέκτη. Ο υπολογισμός τους γίνεται με βάση τις ιδιότητες του τζαμιού, της μαύρης επιφάνειας, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες (θερμοκρασίες, άνεμος κλπ).

Οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας που λαμβάνουν χώρα κατά την μεταφορά της θερμότητας από το εσωτερικό του συλλέκτη προς το περιβάλλον μέσω του υαλοπίνακα, όπως έχουμε αναφέρει είναι:

1. Απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι.
  - 1.α) Λόγω συναγωγής
  - 1.β) Λόγω ακτινοβολίας
2. Απώλειες θερμότητας από το τζάμι προς το περιβάλλον.
  - 2.α) Λόγω συναγωγής
  - 2.β) Λόγω ακτινοβολίας

Παρακάτω ακολουθεί ο αναλυτικός προσδιορισμός των επιμέρους απωλειών :

**1.α) Απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι λόγω συναγωγής  $h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$**

Οι απώλειες αυτές θα υπολογιστούν με την βοήθεια του ορισμού του αριθμού Nusselt

$$h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta} = \frac{Nu \cdot k}{L} \quad (5.3)$$

Ο συντελεστής  $L$  αντιπροσωπεύει σε αυτή την περίπτωση την απόσταση μεταξύ της μαύρης επιφάνειας και του τζαμιού σε [m]. Η απόσταση αυτή μετρήθηκε με παχύμετρο από το εσωτερικό του οικίσκου και ισούται με  $L=101$  [mm] ή  $L=0,101$  [m]  
*Εικ. 5.6*



**Εικόνα 5.6 : Μέτρηση απόστασης μεταξύ υαλοπίνακα και συλλεκτικής επιφάνειας ιδιοκατασκευής συλλέκτη στέγης**

Ο συντελεστής  $k$  που αναφέρεται στην Έξ.(5.3), αντιπροσωπεύει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του αέρα που υπάρχει μεταξύ της μαύρης επιφάνειας και του υαλοπίνακα. Ο συντελεστής αυτός βρίσκεται προσδιορίζοντας την θερμοκρασία του αέρα από Πίνακες θερμοφυσικών στοιχείων σύμφωνα με την *σελίδα 989 του βιβλίου [12]* ο οποίος βρίσκεται και στο *παράρτημα* αυτού του τεύχους *σελ 142*.

Για δικιά μας ευκολία στους υπολογισμούς, θα θεωρήσουμε την θερμοκρασία του αέρα ανάμεσα στο τζάμι και την συλλεκτική επιφάνεια την μέση τιμή αυτών, που προκύπτει από τις μετρήσεις του πειράματος. Σύμφωνα με αυτήν την τιμή με γραμμική παρεμβολή, υπολογίζεται η ακριβής τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Επομένως έχουμε :  $T_{\tau \zeta} = 47,37$  [°C] ,  $T_{\sigma} = 68,85$  [°C] →

$$T_{m, \text{αέρα}} = \frac{47,37[\text{°C}] + 68,85[\text{°C}]}{2} \Leftrightarrow T_{m, \text{αέρα}} = 58,11[\text{°C}]$$

Με γραμμική παρεμβολή :  $k_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = k_{50 [^{\circ}\text{C}]} + \frac{k_{60 [^{\circ}\text{C}]} - k_{50 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,11 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}])$

$$\Leftrightarrow k_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = 0,02735 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right] + \frac{0,02808 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right] - 0,02735 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,11 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$k_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = \mathbf{0,02794 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]}$$

Ο συντελεστής Nusselt για τον αέρα μεταξύ συλλεκτικής επιφάνειας και τζαμιού σε κεκλιμένο επίπεδο όπως δηλαδή στην περίπτωση του συλλέκτη μας, υπολογίζεται με την μέθοδο που ακολουθείται στο βιβλίο [12] σελ 606, Έξ. (5.4)

$$Nu = 1 + 1,44 \cdot \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\theta} \right]^+ \cdot \left[ 1 - \frac{1708 \cdot \sin^2(1,8 \cdot \theta)}{Ra \cdot \cos\theta} \right]^+ + \left[ \frac{(Ra \cdot \cos\theta)^{1/3}}{18} - 1 \right]^+ \quad (5.4)$$

Για  $Ra < 10^8$

Όπου  $Ra$  είναι ο αριθμός Rayleigh (το γινόμενο των αριθμών Grashof και Prandtl) επομένως μπορεί να θεωρηθεί ο λόγος των δυνάμεων άνωσης και του γινομένου της θερμικής διαχυτότητας της ορμής Έξ. (5.5).

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta_v \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2} \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta_v \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot a} \quad (5.5)$$

Όπου :

**Gr** Ο αριθμός Grashof που αντιπροσωπεύει τις επιδράσεις της φυσικής συναγωγής.

**Pr** Ο αριθμός Prandtl που ορίζεται ως ο λόγος της ορμής διαχυσιμότητας (κινηματικό ιξώδες) σε θερμική διαχύσεως. Η τιμή του βρίσκεται από τους θερμοφυσικούς πίνακες με γραμμική παρεμβολή για τους  $58,11 [^{\circ}\text{C}]$ , ήτοι:

$$Pr_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = Pr_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \frac{Pr_{50 [^{\circ}\text{C}]} - Pr_{60 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,11 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$Pr_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = 0,7228 - \frac{0,7228 - 0,7202}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,11 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \rightarrow Pr_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = \mathbf{0,7207}$$

**g** Η επιτάχυνση της βαρύτητας  $g = \mathbf{9,81 [m/s^2]}$

$\beta_v$  Ο συντελεστής επέκτασης όγκου (για ιδανικά αέρια ισχύει  $\beta_v = 1/T_b$  με  $T_b$  θεωρούμε την θερμοκρασία λεπτής στιβάδας σε [K] που είναι το ημίθροισμα των θερμοκρασιών του αέρα και της επιφάνειας.  $T_b = \frac{T_{\alpha\epsilon\rho\alpha} + T_{\sigma}}{2} = \frac{58,11 [^{\circ}\text{C}] + 68,85 [^{\circ}\text{C}]}{2} \rightarrow$

$$T_b = 63,48 [^{\circ}\text{C}] + 273 \left[ \frac{\text{K}}{^{\circ}\text{C}} \right] = 336,48 [\text{K}] \quad \text{Άρα } \beta_v = \frac{1}{T_b} = \frac{1}{336,48 [\text{K}]} \rightarrow \beta = \mathbf{0,002972 \left[ \frac{1}{\text{K}} \right]}$$

$\Delta T$  Είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και της επιφάνειας του τζαμιού.  $\Delta T = (T_{\sigma} - T_{\tau\zeta}) = (68,85 [^{\circ}\text{C}] - 47,37 [^{\circ}\text{C}]) \rightarrow \Delta T = \mathbf{21,48 [^{\circ}\text{C}]}$

$\nu$  Το κινηματικό ιξώδες του αέρα που υπολογίζεται διαιρώντας το δυναμικό ιξώδες του με την πυκνότητα του  $\nu = \mu/\rho$  ή πιο σύντομα από τον πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή :

$$\nu_{58,11 [^{\circ}\text{C}]} = \nu_{50 [^{\circ}\text{C}]} + \frac{\nu_{60 [^{\circ}\text{C}]} - \nu_{50 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,11 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$



$$v_{58,11} [^\circ\text{C}] = 1,798 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right] + \frac{1,896 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right] - 1,798 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right]}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (58,11 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \rightarrow$$

$$v_{58,11} [^\circ\text{C}] = 1,877 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \right]$$

$\alpha_\delta$  Η θερμική διαχυτότητα του αέρα που είναι ίση με  $\alpha_\delta = \frac{k}{c_p \cdot \rho}$  ή προσεγγίζεται από τον πίνακα θερμοφυσικών ιδιοτήτων για τον αέρα επίσης με γραμμική παρεμβολή. Έτσι :

$$\alpha_{\delta 58,11} [^\circ\text{C}] = \alpha_{\delta 50} [^\circ\text{C}] + \frac{\alpha_{\delta 60} [^\circ\text{C}] - \alpha_{\delta 50} [^\circ\text{C}]}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (58,11 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\alpha_{\delta 58,11} [^\circ\text{C}] = 2,487 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] + \frac{2,632 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] - 2,487 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (58,11 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \rightarrow$$

$$\alpha_{\delta 58,11} [^\circ\text{C}] = 2,605 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$\theta$  Είναι η κλίση του συλλέκτη σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Στην περίπτωση μας  $\theta = 13,58 [^\circ]$

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών υπολογίζουμε τον αριθμό Nusselt από την Έξ. (5.4) και μετά βρίσκουμε τις απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι μέσω συναγωγής  $h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$  Έξ. (5.3).

$$(5.2.1.3) \rightarrow Ra = \frac{g \cdot \beta_v \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} = \frac{9,81 \cdot 0,002972 \cdot 21,48 \cdot 0,101^3}{1,877 \cdot 10^{-5} \cdot 2,605 \cdot 10^{-5}} = 1,3194 \cdot 10^6 \quad Ra < 10^8$$

$$Nu = 1 + 1,44 \cdot \left[ 1 - \frac{1708}{1,3194 \cdot 10^6 \cdot \cos(13,58)} \right]^+ \cdot \left[ 1 - \frac{1708 \cdot \sin(1,8 \cdot 13,58)}{1,3194 \cdot 10^6 \cdot \cos(13,58)} \right]^{1,6} + \left[ \frac{(1,3194 \cdot 10^6 \cdot \cos(13,58))^{1/3}}{18} - 1 \right]^+ \Leftrightarrow Nu = 7,474$$

$$h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta} = \frac{Nu \cdot k}{L} = \frac{7,474 \cdot 0,02794 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]}{0,101 [\text{m}]} \rightarrow h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau \zeta} = 2,068 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

### 1.β) Απώλειες θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι λόγω ακτινοβολίας $h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau \zeta}$

Σύμφωνα με τον νόμο του Planck και Stefan – Boltzmann ακτινοβολείται ποσό υπέρυθρης ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια προς το τζάμι, έτσι προκύπτει πως οι απώλειες λόγω της ακτινοβολίας αυτής είναι :

$$h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau \zeta} = \frac{(T_\sigma + T_{\tau \zeta}) \cdot (T_\sigma^2 + T_{\tau \zeta}^2) \cdot \sigma}{\frac{1}{\epsilon_\sigma} + \frac{1}{\epsilon_{\tau \zeta}} - 1} \quad (5.6)$$

$\sigma$  Είναι η σταθερά Stefan – Boltzmann που ισούται με  $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

$T_\sigma$  Η θερμοκρασία της συλλεκτικής επιφάνειας,  $T_\sigma = 68,85 [^\circ\text{C}]$  ή  $341,85 [\text{K}]$

$T_{\tau \zeta}$  Η θερμοκρασία του τζαμιού,  $T_{\tau \zeta} = 47,37 [^\circ\text{C}]$  ή  $320,37 [\text{K}]$

$\epsilon_{\sigma}$  Ο συντελεστής εκπομπής της συλλεκτικής επιφάνειας για την μαύρη λάκα που έχει επιστρωθεί στην επιφάνεια της εκτιμάται από μελέτες και μετρήσεις του Εργαστηρίου  $\epsilon_{\sigma} = 0,88$  καθώς επίσης και από πίνακα (Παράρτημα σελ 141)

$\epsilon_{\tau\zeta}$  Ο συντελεστής εκπομπής του τζαμιού κυμαίνεται από 0,90 έως 0,95. Στην περίπτωση μας θα πάρουμε μια ενδιάμεση τιμή, έστω  $\epsilon_{\tau\zeta} = 0,925$  (Παράρτημα σελ 141)

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών υπολογίζουμε τις απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από την συλλεκτική επιφάνεια στο τζάμι μέσω της Έξ. (5.6).

$$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{(341,85[\text{K}] + 320,37[\text{K}]) \cdot ((341,85[\text{K}])^2 + (320,37[\text{K}])^2) \cdot 5,6703 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]}{\frac{1}{0,88} + \frac{1}{0,925} - 1} \Leftrightarrow$$

$$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = 6,77 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

## 2.α) Απώλειες θερμότητας από το τζάμι προς το περιβάλλον λόγω συναγωγής $h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon}$

Οι απώλειες αυτές θα υπολογιστούν ξανά με την βοήθεια του ορισμού του αριθμού Nusselt :

$$h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon} = \frac{\text{Nu} \cdot k}{L_{\mu}} \quad (5.7)$$

$L_{\mu}$  Είναι το μήκος του συλλέκτη. Στην περίπτωση του συλλέκτη της στέγης του οικίσκου το μήκος του είναι  $L_{\mu} = 1378 [\text{mm}] \rightarrow L_{\mu} = 1,378 [\text{m}]$  Σχ. 5.1.3.

$k$  Είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ του τζαμιού και του ατμοσφαιρικού αέρα. Υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή από τους θερμοφυσικούς πίνακες :

$$T_{\alpha,\tau\zeta} = \frac{31,54[^\circ\text{C}] + 47,37[^\circ\text{C}]}{2} \rightarrow T_{\alpha,\tau\zeta} = 39,46[^\circ\text{C}].$$

$$K_{39,46[^\circ\text{C}]} = k_{35[^\circ\text{C}]} + \frac{k_{40[^\circ\text{C}]} - k_{35[^\circ\text{C}]}}{40[^\circ\text{C}] - 35[^\circ\text{C}]} \cdot (39,46[^\circ\text{C}] - 35[^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$K_{39,46[^\circ\text{C}]} = 0,02625 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] + \frac{0,02662 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] - 0,02625 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]}{40[^\circ\text{C}] - 35[^\circ\text{C}]} \cdot (39,46[^\circ\text{C}] - 35[^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$K_{39,46[^\circ\text{C}]} = 0,02658 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Στην περίπτωση αυτή όμως, η ροή του αέρα στο περιβάλλον είναι τυρβώδης και ο τύπος του Nusselt θα δίνεται από την παρακάτω σχέση που έχει προσεγγιστεί πειραματικά για ροή πάνω σε επίπεδη πλάκα στο βιβλίο [12] σελ 480.

$$\text{Nu} = \frac{h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon} \cdot L_{\mu}}{k} = 0,0296 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{1/3} \quad 0,6 \leq \text{Pr} \leq 60, \quad 5 \cdot 10^3 \leq \text{Re} \leq 10^7 \quad (5.8)$$

Όπου  $\text{Re}$  ο αδιάστατος αριθμός Reynolds εξωτερικής ροής βιβλίο [12] σελ 462.

$$\text{Re} = \frac{u \cdot L_{\mu}}{\nu} \quad (5.9)$$

$u$  Είναι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια του τζαμιού.  $u = 1,037 [\text{m/s}]$

Ο αριθμός **Prandtl** υπολογίζεται για θερμοκρασία που προκύπτει από την μέση τιμή του τζαμιού και του περιβάλλοντος. Έτσι από τους θερμοφυσικούς πίνακες με γραμμική παρεμβολή για την συγκεκριμένη θερμοκρασία προκύπτει :

$$\text{Pr}_{39,46 [^\circ\text{C}]} = \text{Pr}_{35 [^\circ\text{C}]} - \frac{\text{Pr}_{35 [^\circ\text{C}]} - \text{Pr}_{40 [^\circ\text{C}]}}{40 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]} \cdot (39,46 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\text{Pr}_{39,46 [^\circ\text{C}]} = 0,7268 - \frac{0,7268 - 0,7255}{40 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]} \cdot (39,46 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]) \rightarrow \text{Pr}_{39,46 [^\circ\text{C}]} = \mathbf{0,7256}$$

**v** Το κινηματικό ιξώδες του αέρα ενδιάμεσα από το τζάμι και τον ατμοσφαιρικό αέρα από τον πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή για  $T_{\alpha,\tau\zeta} = 39,46 [^\circ\text{C}]$  :

$$V_{39,46 [^\circ\text{C}]} = V_{35 [^\circ\text{C}]} + \frac{V_{40 [^\circ\text{C}]} - V_{35 [^\circ\text{C}]}}{40 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]} \cdot (39,46 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$V_{39,46 [^\circ\text{C}]} = 1,655 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right] + \frac{1,702 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right] - 1,655 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]}{40 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]} \cdot (39,46 [^\circ\text{C}] - 35 [^\circ\text{C}]) \rightarrow$$

$$\mathbf{V_{39,46 [^\circ\text{C}]} = 1,697 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]}$$

Με αντικατάσταση των τιμών στην Έξ. (5.9) προκύπτει :

$$\mathbf{Re = \frac{1,037 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 1,378 [\text{m}]}{1,697 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]} = 77347,82}$$

Έτσι υπολογίζεται και ο αριθμός Nusselt Έξ. (5.8)

$$\mathbf{Nu = 0,0296 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} = 0,0296 \cdot (77347,82)^{0,8} \cdot (0,7256)^{1/3} \Leftrightarrow}$$

$$\mathbf{Nu = 216,5}$$

Με αντικατάσταση στην Έξ. (5.7) υπολογίζονται οι απώλειες θερμότητας από το τζάμι στο περιβάλλον μέσω συναγωγής :

$$\mathbf{h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow \text{πε}} = \frac{216,5 \cdot 0,02658 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]}{1,266 [\text{m}]} \rightarrow h_{\sigma,\tau\zeta \rightarrow \text{πε}} = 4,5464 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]}$$

## 2.β) Απώλειες θερμότητας από το τζάμι προς το περιβάλλον λόγω ακτινοβολίας $h_{\alpha,\tau\zeta \rightarrow \text{πε}}$

Το τζάμι, ακτινοβολεί στο υπέρυθρο προς το περιβάλλον θερμότητα που μειώνει την απόδοση του συλλέκτη. Επομένως αναφερόμαστε σε απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας που υπολογίζονται βάση την Έξ. (5.10).

$$\mathbf{h_{\alpha,\tau\zeta \rightarrow \text{πε}} = \epsilon_{\tau\zeta} \cdot \sigma \cdot (T_{\tau\zeta} + T_{\text{ουρ}}) \cdot (T_{\tau\zeta}^2 + T_{\text{ουρ}}^2)} \quad (5.10)$$

$\sigma$  η σταθερά Stefan – Boltzmann,  $\sigma = 5,6703 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right]$

$\epsilon_{\tau\zeta}$  Ο συντελεστής εκπομπής του τζαμιού  $\epsilon_{\tau\zeta} = \mathbf{0,925}$

$T_{\tau\zeta}$  Η θερμοκρασία του τζαμιού  $T_{\tau\zeta} = \mathbf{47,37 [^\circ\text{C}]}$ .

$T_{\text{ουρ}}$  είναι η θερμοκρασία του ουράνιου θόλου για ισοδύναμη θερμοκρασία μέλανος σώματος συναρτήσει της θερμοκρασίας περιβάλλοντος Έξ. (5.11).

$$T_{\text{ouρ}} = 0,0552 \cdot (T_{\alpha})^{1,5} \quad (5.11)$$

Οπότε για θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{\alpha}=31,54$  [°C] ή 304,54 [K] βάση της Έξ. (5.11).

$$T_{\text{ouρ}} = 0,0552 \cdot (304,54[\text{K}])^{1,5} \rightarrow T_{\text{ouρ}} = 293,36[\text{K}]$$

Αντικαθιστώντας τις τιμές στην Έξ. (5.10), προκύπτει πως οι απώλειες θερμότητας μέσω ακτινοβολίας από το τζάμι στο περιβάλλον είναι :

$$h_{\alpha, \tau\zeta \rightarrow \text{πε}} = 0,925 \cdot 5,6703 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right] \cdot (320,37[\text{K}] + 293,36[^\circ\text{C}]) \cdot ((320,37[\text{K}])^2 + (293,36[^\circ\text{C}])^2) \rightarrow$$

$$h_{\alpha, \tau\zeta \rightarrow \text{πε}} = 6,074 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Με βάση την παραπάνω ανάλυση, προκύπτει πως ο συντελεστής θερμικών απωλειών της εμπρόσθιας επιφάνειας με χρήση της Έξ. (5.12).

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\sigma, \sigma \rightarrow \tau\zeta} + h_{\alpha, \sigma \rightarrow \tau\zeta}} + \frac{1}{h_{\sigma, \tau\zeta \rightarrow \text{πε}} + h_{\alpha, \tau\zeta \rightarrow \text{πε}}}} \quad (5.12)$$

$$U_{\tau\zeta} = \frac{1}{\frac{1}{2,068 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] + 6,77 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]} + \frac{1}{4,546 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] + 6,074 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]}} \rightarrow U_{\tau\zeta} = 4,824 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

## 5.2.2 Ενεργειακές απώλειες από την πίσω και τις πλάγιες πλευρές

### Απώλειες από την πίσω όψη

Ο συλλέκτης της στέγης, στην πίσω του επιφάνεια διαθέτει μόνωση πετροβάμβακα 45 [mm] όπως φαίνεται και στις *Εικ. 5.7*, *Εικ. 5.8*



Εικόνα 5.7 : Μόνωση συλλέκτη στέγης οικίσκου

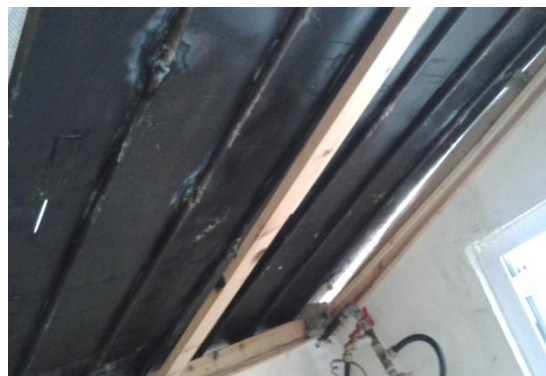


Εικόνα 5.8 : Μόνωση συλλέκτη στέγης οικίσκου

Όμως κατά την διάρκεια του πειράματος που πραγματοποιήθηκε, δεν υπήρχε μόνωση στην πίσω πλευρά του συλλέκτη (*Εικ. 5.10*). Αυτό συνέβη διότι πρόσφατα πραγματοποιήθηκαν επισκευές στον συγκεκριμένο συλλέκτη λόγω διαρροής νερού από τους κάθετους σωλήνες του (*Εικ 5.9*). Έτσι ο συλλέκτης για κάποιες ημέρες βρίσκονταν υπό παρακολούθηση και για να είναι αυτό δυνατό αφαιρέθηκε η μόνωση και το πίσω περίβλημα.



Εικόνα 5.9 : Επισκευές στον συλλέκτη της στέγης



Εικόνα 5.10 : Μορφή συλλέκτη στέγης πριν το πείραμα

Συνεπώς οι απώλειες θερμότητας από την πίσω επιφάνεια πραγματοποιούνται μέσω του μηχανισμού της συναγωγής για φυσική συναγωγή, με μεταφορά θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια στο εσωτερικό του οικίσκου. Σε αντίθετη περίπτωση θα υπολογίζαμε τις απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής συμπεριλαμβάνοντας την μόνωση και το εξωτερικό περίβλημα.

Έτσι ορίζουμε τον συντελεστή απωλειών από την συλλεκτική επιφάνεια προς τον εσωτερικό αέρα του δωματίου  $U_{\pi}$

$$U_{\pi} = \frac{Nu \cdot k}{L_{\mu, \text{συλ}}} \quad (5.13)$$

Όπου :  $L_{\mu, \text{συλ}}$  είναι το μήκος της συλλεκτικής επιφάνειας Σχ. 5.3.

$$L_{\mu, \text{συλ}} = 1180 \text{ [mm]} \text{ ή } 1,18 \text{ [m]}$$

$k$  Είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του στρώματος του αέρα κοντά στην συλλεκτική επιφάνεια. Η θερμοκρασία του αέρα στο σημείο αυτό θα θεωρηθεί ως η μέση τιμή μεταξύ της συλλεκτικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας του δωματίου :

$$T_{\sigma, \delta} = \frac{68,85 [^{\circ}\text{C}] + 33 [^{\circ}\text{C}]}{2} \rightarrow T_{\sigma, \delta} = 50,93 [^{\circ}\text{C}].$$

Με γραμμική παρεμβολή για την θερμοκρασία αυτή:

$$K_{50,93 [^{\circ}\text{C}]} = k_{50 [^{\circ}\text{C}]} + \frac{k_{60 [^{\circ}\text{C}]} - k_{50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (50,93 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}])}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \Leftrightarrow$$

$$K_{50,93 [^{\circ}\text{C}]} = 0,02735 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] + \frac{0,02808 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] - 0,02735 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] \cdot (50,93 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}])}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \Leftrightarrow$$

$$K_{50,93 [^{\circ}\text{C}]} = 0,02742 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Ο αριθμός Nusselt, στην περίπτωση της απλής συναγωγής σε κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται σύμφωνα με την Έξ.(5.14) από το βιβλίο [12] σελ 594.

$$Nu = 0,1 \cdot Ra^{1/3} \quad 10^{10} < Ra < 10^{13} \quad (5.14)$$

**Ra** είναι ο αριθμός **Reyleigh** και στην περίπτωση του κεκλιμένου συλλέκτη με απλή συναγωγή υπολογίζεται από την Έξ. (5.15) που ουσιαστικά λόγω κλίσης ο όρος  $g$  αντικαθιστάται από τον  $g \cdot \cos\theta$

$$R_a = \frac{(g \cdot \cos\theta) \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_{\mu, \text{συλ}}^3}{\nu \cdot a} \quad (5.15)$$

$\beta$  Ο συντελεστής επέκτασης όγκου, ισχύει  $\beta = 1/T_{\sigma, \delta}$  με  $T_{\sigma, \delta}$  θεωρούμε την θερμοκρασία λεπτής στιβάδας σε [K] που είναι το ημίθροισμα των θερμοκρασιών του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας που υπολογίσαμε παραπάνω.

$$T_{\sigma, \delta} = 50,93[^\circ\text{C}] \text{ ή } = 50,93[^\circ\text{C}] + 273 \left[ \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}} \right] = 323,93 \text{ [K]} \quad \text{Άρα } \beta = \frac{1}{T_{\sigma, \delta}} = \frac{1}{323,93[\text{K}]} \rightarrow$$

$$\beta = 0,003087 \left[ \frac{1}{\text{K}} \right]$$

$\Delta T$  Είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και της θερμοκρασίας δωματίου.  $\Delta T = (T_{\sigma} - T_{\delta}) = (68,85[^\circ\text{C}] - 33[^\circ\text{C}]) \rightarrow \Delta T = 35,85[^\circ\text{C}]$

$\nu$  Το κινηματικό ιξώδες του αέριου στρώματος, από τον Πίνακα των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα. Με γραμμική παρεμβολή :

$$\nu_{50,93 [^\circ\text{C}]} = \nu_{50 [^\circ\text{C}]} + \frac{\nu_{60 [^\circ\text{C}]} - \nu_{50 [^\circ\text{C}]}}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (50,93 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\nu_{50,93 [^\circ\text{C}]} = 1,798 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right] + \frac{1,896 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right] - 1,798 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (50,93 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \rightarrow$$

$$\nu_{50,93 [^\circ\text{C}]} = 1,807 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \right]$$

$\alpha_{\delta}$  Η θερμική διαχυτότητα του αέριου στρώματος και προσεγγίζεται από τον πίνακα θερμοφυσικών ιδιοτήτων για τον αέρα επίσης με γραμμική παρεμβολή. Ήτοι :

$$\alpha_{50,93 [^\circ\text{C}]} = \alpha_{50 [^\circ\text{C}]} + \frac{\alpha_{60 [^\circ\text{C}]} - \alpha_{50 [^\circ\text{C}]}}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (50,93 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\alpha_{50,93 [^\circ\text{C}]} = 2,487 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] + \frac{2,632 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right] - 2,487 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (50,93 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \rightarrow$$

$$\alpha_{50,93 [^\circ\text{C}]} = 2,5 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$\theta$  Είναι η κλίση του συλλέκτη  $\theta = 13,58[^\circ]$

$L_{\mu, \text{συλ}}$  Το μήκος της συλλεκτικής επιφάνειας  $L_{\mu, \text{συλ}} = 1180 \text{ [mm]}$  ή  $L_{\mu, \text{συλ}} = 1,18 \text{ [m]}$   
Με αντικατάσταση στην Έξ. (5.15).

$$R_a = \frac{(g \cdot \cos\theta) \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_{\mu, \text{συλ}}^3}{\nu \cdot a} = \frac{(9,81 \cdot \cos 13,58) \cdot 3,087 \cdot 10^{-3} \cdot 35,85 \cdot (1,18)^3}{1,807 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}} \rightarrow$$

$$R_a = 3834924360$$

Άρα βάσει της Έξ. (5.14):

$$Nu = 0,1 \cdot Ra^{1/3} = 0,1 \cdot 3834924360^{1/3} \rightarrow Nu = 156,53$$

Τέλος ο συντελεστής θερμικών απωλειών από την συλλεκτική επιφάνεια προς τον εσωτερικό αέρα του δωματίου θα υπολογιστεί από την Έξ. (5.13).

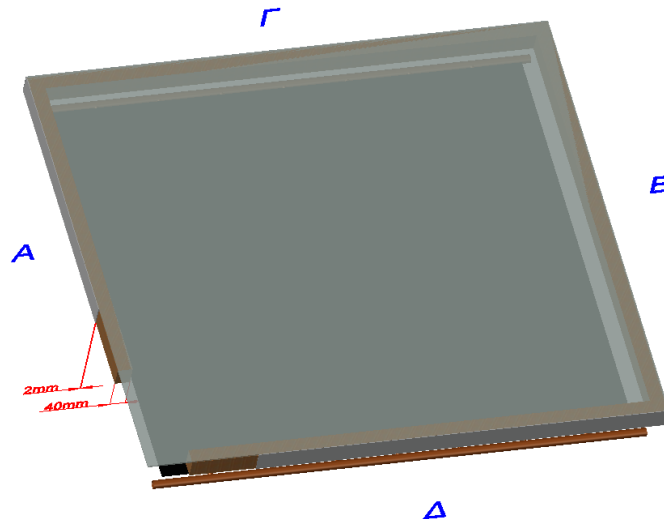
$$U_{\pi} = \frac{Nu \cdot k}{L_{\mu, \text{συλ}}} = \frac{156,53 \cdot 0,02742 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}{1,18[m]} \rightarrow U_{\pi} = 3,637 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Επομένως ο συντελεστής θερμικών απωλειών της πίσω επιφάνειας είναι:

$$U_{\pi} = 3,637 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

### Απώλειες από τις πλάγιες όψεις

Στις πλάγιες όψεις του συλλέκτη της στέγης του οικίσκου, δεν υπάρχει κάποια μόνωση πετροβάμβακα για να εμποδίζει την μεταφορά της θερμότητας προς το περιβάλλον. Οι πλάγιες όψεις περιλαμβάνουν περιμετρικά σαν μόνωση ένα πάχος ξύλου 45 [mm] και το εξωτερικό προστατευτικό περίβλημα 2[mm] κράμα αλουμινίου Σχ. 5.4.



Σχήμα 5.4 : Μόνωση στις πλάγιες όψεις του συλλέκτη της στέγης του ενεργειακού οικίσκου

Επίσης στην δεξιά μεριά (B) Σχ. 5.4 του συλλέκτη, βρίσκονται τοποθετημένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και ως επί το πλείστον η μεταφορά θερμότητας με αγωγή από εκείνη την πλευρά μηδενίζεται. Ανατρέχοντας στο Σχ. 5.3 βλέπουμε όλα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά για τον υπολογισμό των απωλειών από τα πλάγια τοιχώματα. Επίσης στο Κεφάλαιο 4 βλέπουμε πως ο συντελεστής απωλειών σε αυτήν την περίπτωση βρίσκεται από την Έξ. (5.16).

$$U_{\pi\lambda} = \frac{\left( \frac{1}{\frac{\chi_{\pi\lambda, \mu}}{k_{\mu}} + \frac{\chi_{\mu\epsilon\tau}}{k_{\mu\epsilon\tau}}} \right) \cdot S \cdot d}{Ac} \quad (5.16)$$

$\chi_{\pi\lambda, \mu}$  Είναι το πάχος μόνωσης δηλαδή του ξύλου :  $\chi_{\pi\lambda, \mu} = 40[\text{mm}]$  ή  $0,04[\text{m}]$

$\chi_{\mu\epsilon\tau}$  Το πάχος του περιβλήματος δηλαδή του αλουμινίου  $\chi_{\mu\epsilon\tau} = 2[\text{mm}]$  ή  $0,002[\text{m}]$

$k_{\mu}$  Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας μόνωσης, για το ξύλο  $k_{\mu} = 0,159 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

$k_{\text{μεΤ}}$  Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μετάλλου, για κράμα αλουμινίου

$$k_{\text{μεΤ}} = 168 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$$

**S** Το μήκος της περιμέτρου του συλλέκτη που ανταλλάσει θερμότητα με το περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή θα συμπεριλάβουμε μόνο τις 3 πλευρές του συλλέκτη διότι η τέταρτη βρίσκεται σε επαφή με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία είναι και πηγή θερμότητας.

$$S = A + \Gamma + \Delta = 1,266[m] + 1,374[m] + 1,374[m] \rightarrow S = 4,014[m] \quad \text{Σχ.5.3}$$

**d** Είναι το πάχος του συλλέκτη.  $d = 0,05231 [m]$  Σχ.5.3

$$A_c \text{ Η επιφάνεια του συλλέκτη. } A_c = 1,266[m] \cdot 1,374[m] \rightarrow A_c = 1,7395[m^2]$$

Οι συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας ελήφθησαν από το βιβλίο [12] σελ 977,972 όπου βρίσκεται και στο παράρτημα σελ 139 και 140 αυτού του τεύχους.

Αντικαθιστώντας στην Έξ.(5.16)

$$U_{\text{πλ}} = \frac{\left( \frac{1}{\frac{0,04[m]}{0,159 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]} + \frac{0,002[m]}{168 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]}} \right) \cdot 4,014[m] \cdot 0,05231 [m]}{1,7395 [m^2]} \rightarrow U_{\text{πλ}} = 0,4798 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Είμαστε πλέον στην θέση να υπολογίσουμε τον ολικό συντελεστή απωλειών θερμοκρασίας για τον κεκλιμένο συλλέκτη  $U_o$  :

$$U_o = U_{\text{πλ}} + U_{\text{πι}} + U_{\text{τζ}} \Leftrightarrow U_o = 0,4798 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] + 3,637 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] + 4,824 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \Leftrightarrow$$

$$U_o = 8,941 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

### 5.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

Στην ενότητα αυτή, θα αναλύσουμε θεωρητικά την θερμική συμπεριφορά του συλλέκτη της στέγης του ενεργειακού οικίσκου και θα βρούμε την απόδοση του, βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του με την μέθοδο που εφαρμόζεται στον τόμο [4] σελ 296.

Έτσι θα προχωρήσουμε στον υπολογισμό της απόδοσης πτερυγίου **F** και στον συντελεστή **F'**. Συγκεκριμένα η απόδοση του πτερυγίου είναι ο λόγος της θερμότητας που λαμβάνει το νερό του συλλέκτη διαμέσου των σωλήνων του, προς την ιδανική θερμότητα που θα απορροφούσε εάν θεωρούσαμε τέλεια θερμική αγωγιμότητα. Ενώ ο συντελεστής **F'** εκφράζει τον λόγο της θερμικής αντίστασης της επιφάνειας του σε σχέση με το περιβάλλον, προς αυτήν του νερού με το περιβάλλον αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός των παραπάνω συντελεστών υπολογίζεται βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κάθε συλλέκτη και ισούνται με :

$$F = \frac{\tanh \left[ m \cdot \frac{(I' - D)}{2} \right]}{m \cdot \frac{(I' - D)}{2}} \quad (5.17)$$



$$F' = \frac{\frac{1}{U_o}}{I' \cdot \left[ \frac{1}{U_o \cdot (D+2W \cdot F)} + \frac{1}{h_{c,i} \cdot \pi \cdot D} \right]} \quad (5.18)$$

Όπου :

**m** Ένας βοηθητικός συντελεστής της συλλεκτικής επιφάνειας, η τιμή του οποίου υπολογίζεται όπως παρακάτω :

$$m = \sqrt{\frac{U_o}{k \cdot t}} \quad (5.19)$$

**U<sub>o</sub>** Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του συλλέκτη.

**k** Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας της μαύρης συλλεκτικής επιφάνειας.

**t** Το πάχος της συλλεκτικής επιφάνειας.

**h<sub>c,i</sub>** Ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη.

**D** Η εξωτερική διάμετρος των σωληνώσεων.

**2W** Η απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων των σωληνώσεων.

**I'** Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των σωληνώσεων.

Εφόσον υπολογίσουμε τον συντελεστή  $F'$  μπορούμε να υπολογίσουμε τον θερμικό συντελεστή του ηλιακού συλλέκτη  $F_R$  σχετικά με την θερμική απολαβή του.

Ο συντελεστής αυτός είναι χαρακτηριστικός για τον κάθε συλλέκτη, και με την βοήθεια του μπορούμε να προσεγγίσουμε την ωφέλιμη θερμότητα που αποδίδει.

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p}{U_o \cdot A_c} \cdot \left[ 1 - e^{-\left( \frac{U_o \cdot F' \cdot A_c}{\dot{m} \cdot C_p} \right)} \right] \quad (5.20)$$

Όπου :

**$\dot{m}$**  Η μαζική παροχή του νερού που διέρχεται από τον συλλέκτη.

**A<sub>c</sub>** Η επιφάνεια του συλλέκτη (μαύρης επιφάνειας)

**C<sub>p</sub>** Η ειδική θερμότητα του νερού.

Έτσι υπολογίζεται η ωφέλιμη θερμότητα από τον συλλέκτη :

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau \alpha) - [(U_o - U_{\pi}) \cdot (T_{εισ} - T_{α}) + U_{\pi} \cdot (T_{εισ} - T_{δ})]] \quad (5.21)$$

Η σχέση (5.21) δεν ισχύει σε ηλιακούς συλλέκτες που βρίσκονται στον εξωτερικό χώρο. Σε αυτή την περίπτωση η θερμική απολαβή συναντάται με την μορφή :

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau \alpha) - U_o \cdot (T_{εισ} - T_{α})] \quad (5.22)$$

Ο όρος  $U_o \cdot (T_{εισ} - T_{α})$  υποδηλώνει τις απώλειες θερμότητας του συλλέκτη που έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον  $\left[ \frac{W}{m^2} \right]$  εννοώντας πως όλες οι επιφάνειες του συλλέκτη ανταλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον.

Στην δική μας περίπτωση όμως η πίσω πλευρά ανταλλάσσει θερμότητα με τον εσωτερικό χώρο του οικίσκου. Για αυτόν τον λόγο χωρίζουμε τις απώλειες θερμότητας σε δυο κομμάτια που αθροίζονται μεταξύ τους  $(U_o - U_{\pi}) \cdot (T_{εισ} - T_{α})$  ως οι απώλειες από τα πλάγια τοιχώματα και τον υαλοπίνακα, και  $U_{\pi} \cdot (T_{εισ} - T_{δ})$  ως οι απώλειες από την πίσω πλευρά του συλλέκτη.

Όπου :

$I_T$  Η προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία που λαμβάνει ο συλλέκτης την δεδομένη χρονική στιγμή.

( $\tau_a$ ) Η ενεργός τιμή του γινομένου  $\tau \cdot \alpha$  (διαπερατότητας υαλοπίνακα επί συντελεστή απορρόφησης συλλεκτικής επιφάνειας)

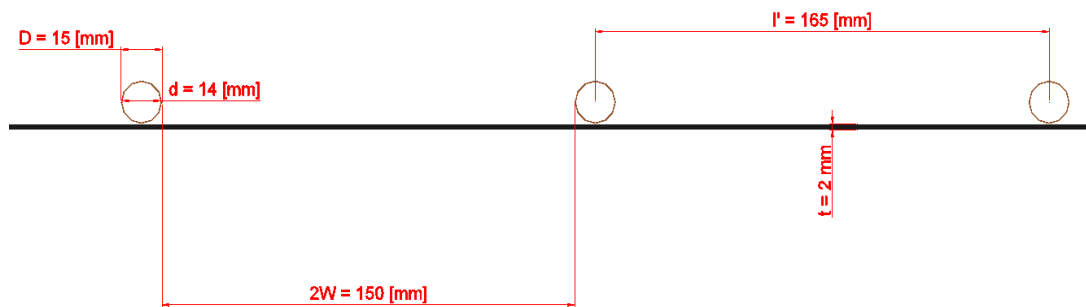
$T_i$  Η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη.

$T_a$  Η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Έχοντας δεδομένη την ωφέλιμη θερμική ενέργεια από τον συλλέκτη υπολογίζουμε εύκολα εξορισμού την απόδοση του την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η απόδοση θα είναι το ποσό της θερμότητας που παίρνουμε από αυτόν, δηλαδή το  $Q_u$  προς την ενέργεια που πέφτει στην επιφάνεια του δηλαδή την ακτινοβολία επί την επιφάνεια του συλλέκτη :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_T} \quad (5.23)$$

Παρακάτω γίνεται εφαρμογή της μεθόδου που αναφέραμε για την περίπτωση του συλλέκτη της στέγης, συγκεκριμένα έχουμε :



Σχήμα 5.5 : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά συλλέκτη της στέγης του οικίσκου.

Εξωτερική διάμετρος σωλήνων  $\rightarrow D = 15[\text{mm}]$  ή  $0,015[\text{m}]$

Απόσταση σωλήνων  $\rightarrow 2W = 150[\text{mm}]$  ή  $0,15[\text{m}]$

Πάχος απορροφητικής πλάκας  $\rightarrow t = 2[\text{mm}]$  ή  $0,002[\text{m}]$

Απόσταση μεταξύ των κέντρων των σωλήνων  $\rightarrow l' = 165[\text{mm}]$  ή  $0,165[\text{m}]$

Ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του συλλέκτη υπολογίστηκε στην Ενότητα 5.2.2 και ισούται με  $\rightarrow U_o = 8,941 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $k$  της συλλεκτικής επιφάνειας θα είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του χαλκού από τον οποίο είναι κατασκευασμένος. Για τον καθαρό χαλκό Παράρτημα σελ 140 ισχύει  $k = 401 \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

Ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του συλλέκτη, υπολογίζεται με βάση τον ορισμό του αριθμού Nusselt :

$$Nu = \frac{h_{c,i} \cdot d}{k_w} \rightarrow h_{c,i} = \frac{Nu \cdot k_w}{d} \quad (5.24)$$

Ο αριθμός Nusselt σε αυτή την περίπτωση βρίσκεται από την εξίσωση <<Dittus-Boelter>> Έξ. (5.25) για θέρμανση και αφορά την μεταφορά θερμότητας από την συλλεκτική επιφάνεια (σωλήνες) στο ρευστό. Βιβλίο [12] σελ 548

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \quad (5.25)$$

Όπου ο αριθμός Reynolds (Re) βρίσκεται από την γνωστή σχέση Έξ. (5.26).

$$\text{Re} = \frac{u_w \cdot d}{\nu} \quad (5.26)$$

Για τον υπολογισμό των θερμοφυσικών μεγεθών του νερού ( $\rho, \nu, \text{Pr}, k_w$ ), θα χρησιμοποιήσουμε τους πίνακες ιδιοτήτων κορεσμένου νερού παράρτημα σελ 143 με γραμμική παρεμβολή για θερμοκρασία εισόδου του νερού  $52,82 [^{\circ}\text{C}]$  και θερμοκρασία εξόδου  $63,89 [^{\circ}\text{C}]$  δηλαδή μέση τιμή νερού συλλέκτη

$$T_w = \frac{52,82 [^{\circ}\text{C}] + 63,89 [^{\circ}\text{C}]}{2} \rightarrow T_w = 58,36 [^{\circ}\text{C}]$$

$$\text{Πυκνότητα : } \rho_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = \rho_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \frac{\rho_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \rho_{60 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\rho_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 988,1 [\text{Kg}/\text{m}^3] - \frac{988,1 [\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}] - 983,3 [\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}]}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \rightarrow$$

$$\rho_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 984,1 [\text{Kg}/\text{m}^3]$$

**Δυναμικό ιξώδες :**

$$\mu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = \mu_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \frac{\mu_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \mu_{60 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\mu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 0,547 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}] - \frac{0,547 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}] - 0,467 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}]}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \rightarrow$$

$$\mu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 0,48 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}]$$

$$\text{Κινηματικό ιξώδες } \nu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = \mu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} / \rho_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} \Leftrightarrow \nu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = \frac{0,48 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}]}{984,1 [\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}]} \Leftrightarrow$$

$$\nu_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 4,878 \cdot 10^{-7} [\frac{\text{s}}{\text{m}^2}]$$

**Αριθμός Prandtl (Pr)**

$$\text{Pr}_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = \text{Pr}_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \frac{\text{Pr}_{50 [^{\circ}\text{C}]} - \text{Pr}_{60 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$\text{Pr}_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 3,55 - \frac{3,55 - 2,99}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \rightarrow \text{Pr}_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 3,08$$

**Θερμική αγωγιμότητα νερού  $k_w$**

$$k_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = k_{50 [^{\circ}\text{C}]} + \frac{k_{60 [^{\circ}\text{C}]} - k_{50 [^{\circ}\text{C}]}}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$k_{58,36 [^{\circ}\text{C}]} = 0,644 [\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}] + \frac{0,654 [\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}] - 0,644 [\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}]}{60 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]} \cdot (58,36 [^{\circ}\text{C}] - 50 [^{\circ}\text{C}]) \rightarrow$$

$$k_{58,36} [^{\circ}\text{C}] = 0,652 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]$$

Σε αυτή την περίπτωση όμως όπου  $u_w$  είναι η ταχύτητα του νερού διαμέσου του σωλήνα. Εμείς γνωρίζουμε πως η παροχή νερού στο σύστημα συλλεκτών ήταν κατά μέσο όρο 40 [L/h] μέσω του ροόμετρου που έδειχνε την τιμή κατά την διάρκεια του πειράματος, επομένως η μαζική παροχή σε δευτερόλεπτα  $\rightarrow$

$$\dot{m} = \frac{40 \left[ \frac{\text{L}}{\text{h}} \right]}{3600 \left[ \frac{\text{s}}{\text{h}} \right]} = 0,0111 [\text{L/s}] \text{ ή για το νερό } \rightarrow \dot{m} = 0,0111 [\text{Kg/s}]$$

Έτσι η ταχύτητα του νερού στους σωλήνες του συλλέκτη θα είναι :

$$\dot{m} = \rho \cdot u_w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Leftrightarrow u_w = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,0111 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]}{984,1 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 3,14 \cdot (0,014 [\text{m}])^2} \rightarrow u_w = 0,073 [\text{m/s}]$$

Επομένως ο αριθμός Reynolds σύμφωνα με την Έξ. (5.26) είναι :

$$Re = \frac{u_w \cdot d}{\nu} = \frac{0,073 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 0,014 [\text{m}]}{4,878 \cdot 10^{-7} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]} \rightarrow Re = 2105,6$$

Και ο αριθμός Nusselt Έξ. (5.25).

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 2105,6^{0,8} \cdot 3,08^{0,4} \rightarrow Nu = 16,44$$

Έτσι ο επιφανειακός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας βάσει της Έξ. (5.24) θα είναι :

$$h_{c,i} = \frac{Nu \cdot k_w}{d} = \frac{16,44 \cdot 0,652 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]}{0,014 [\text{m}]} \rightarrow h_{c,i} = 766,17 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]$$

Επομένως υπολογίζουμε τους συντελεστές F, F' και m Έξ. (5.17), Έξ. (5.18), Έξ. (5.19).

$$m = \sqrt{\frac{U_o}{k \cdot t}} = \sqrt{\frac{8,941 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]}{401 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right] \cdot 0,002 [\text{m}]} } \rightarrow m = 3,34 \left[ \frac{1}{\text{m}^2} \right]$$

$$F = \frac{\tanh \left[ m \cdot \frac{(I'-D)}{2} \right]}{m \cdot \frac{(I'-D)}{2}} = \frac{\tanh \left[ 3,34 \left[ \frac{1}{\text{m}^2} \right] \cdot \frac{(0,165 [\text{m}] - 0,015 [\text{m}])}{2} \right]}{3,34 \left[ \frac{1}{\text{m}^2} \right] \cdot \frac{(0,165 [\text{m}] - 0,015 [\text{m}])}{2}} \rightarrow F = 0,9796$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_o}}{I' \cdot \left[ \frac{1}{U_o \cdot (D+2W \cdot F)} + \frac{1}{h_{c,i} \cdot \pi \cdot D} \right]}$$

$$F' = \frac{\frac{1}{8,941 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right]}}{0,165 [\text{m}] \cdot \left[ \frac{1}{8,941 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right] \cdot (0,015 [\text{m}] + 0,15 [\text{m}] \cdot 0,9793)} + \frac{1}{766,17 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \right] \cdot 3,14 \cdot 0,015 [\text{m}]} \right]}$$

$$\rightarrow F' = 0,9436$$

Είμαστε πλέον σε θέση να υπολογίσουμε τον θερμικό συντελεστή του ηλιακού συλλέκτη  $F_R$  σχετικά με την θερμική απολαβή του Έξ. (5.20).

Η ειδική θερμότητα  $C_p$  υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή από τον πίνακα ιδιοτήτων του κορεσμένου νερού για θερμοκρασία  $58,36[^\circ\text{C}]$  :

$$C_{p58,36 [^\circ\text{C}]} = C_{p50 [^\circ\text{C}]} + \frac{C_{p60 [^\circ\text{C}]} - C_{p50 [^\circ\text{C}]}}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (58,36 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \Leftrightarrow$$

$$C_{p58,36 [^\circ\text{C}]} = 4181 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] + \frac{4185 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] - 4181 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]}{60 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]} \cdot (58,36 [^\circ\text{C}] - 50 [^\circ\text{C}]) \rightarrow$$

$$\mathbf{C_{p58,36 [^\circ\text{C}]} = 4184,342 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]}$$

Με αντικατάσταση όλων των τιμών έχουμε από την Έξ.(5.20).

$$F_R = \frac{0,0111 \cdot 4184,342}{8,941 \cdot 1,47} \cdot \left[ 1 - e^{-\left( \frac{8,941 \cdot 0,9436 \cdot 1,47}{0,0111 \cdot 4184,342} \right)} \right] \rightarrow \mathbf{F_R = 0,8282}$$

Έτσι υπολογίζεται η ωφέλιμη θερμότητα από τον συλλέκτη Έξ. (5.21).

Με τον όρο  $(\tau\alpha)$  εννοούμε το γινόμενο της διαπερατότητας  $(\tau)$  του τζαμιού με την απορροφητικότητα  $(\alpha)$  της συλλεκτικής επιφάνειας.

Εκτιμούνται από την βιβλιογραφία  $\alpha=0,92$  και  $\tau= 0,94$  άρα  $(\tau\alpha) = (0,92 \cdot 0,94) \rightarrow$

**$(\tau\alpha) = 0,8648$**

Η ηλιακή ακτινοβολία όπως προκύπτει από την καταγραφή του Data Logger ήταν

$I_T = 612,6 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$  στις 14:06 ΤΩΧ

$T_{\text{εις}} = 52,82 [^\circ\text{C}]$  ή  $T_{\text{εις}} = 325,82[\text{K}]$

$T_{\alpha} = 31,54 [^\circ\text{C}]$  ή  $T_{\alpha} = 304,45[\text{K}]$

$T_{\delta} = 33 [^\circ\text{C}]$  ή  $T_{\delta} = 306 [\text{K}]$

Με αντικατάσταση στην Έξ. (5.21).

$$Q_u = 1,47[\text{m}^2] \cdot 0,8282 \cdot \left[ 612,6 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \cdot 0,8648 - \left[ (8,941 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] - 3,637 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]) \cdot (325,82[\text{K}] - 304,45[\text{K}]) + 3,637 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \cdot (325,82[\text{K}] - 306[\text{K}]) \right] \right]$$

$$\rightarrow \mathbf{Q_u = 419,89 [W]}$$

Επομένως η απόδοση του συλλέκτη για τις 14:06 ΤΩΧ θα είναι Έξ. (5.23).

$$\eta_{14:06} = \frac{419,89 [W]}{1,47[\text{m}^2] \cdot 612,6 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} \rightarrow \eta_{14:06} = \mathbf{0,4662} \quad \text{ή} \quad \mathbf{46,62 \%}$$

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία κάθε φορά, μπορούμε να βρούμε την απόδοση του συλλέκτη κάθε χρονική στιγμή. Για αυτόν τον λόγο κατασκευάσαμε ένα φύλλο Excel που με την αλλαγή των παραμέτρων (θερμοκρασίες, άνεμος, ακτινοβολία κτλ) στην εισαγωγή του, να υπολογίζει αυτόματα κάνοντας όλες τις παραπάνω πράξεις την απόδοση του συλλέκτη (Παράρτημα σελ 115). Τα αποτελέσματα από το υπολογιστικό φύλλο φαίνονται στον Πίνακα 5.3.

Ωρα	$I_T$	$U_{Tζ}$	$U_{Tπ}$	$U_{Tπλ}$	$U_o$	F	F'	$F_R$	$Q_u$	η
	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$							[W]	[%]
12:50	939	4,46	3,67	0,48	8,6	0,980	0,945	0,834	776,75	56,26
13:27	969	4,24	3,58	0,48	8,3	0,981	0,947	0,838	868,56	60,96
13:44	976	4,7	3,6	0,48	8,77	0,980	0,944	0,830	844,78	58,87
14:06	612,6	4,82	3,64	0,48	8,94	0,980	0,944	0,828	419,89	46,62
14:31	1072	5,01	3,57	0,48	9,05	0,979	0,943	0,826	888,10	56,35
14:56	990	4,43	3,57	0,48	8,48	0,981	0,946	0,836	823,40	56,57
15:20	338,8	5,09	3,41	0,48	8,98	0,979	0,943	0,827	165,44	33,21
15:42	619	5,32	3,42	0,48	9,22	0,979	0,941	0,823	472,13	51,88
16:01	397,7	4,85	3,21	0,48	8,54	0,980	0,945	0,834	266,14	45,52

Πίνακας 5.3 : Συγκεντρωτικός πίνακας όπου φαίνεται η απόδοση της ιδιοκατασκευής του συλλέκτη της στέγης για τον ενεργειακό οικίσκο για διάφορες ώρες

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη της στέγης φαίνεται πως είναι μεγαλύτερη από αυτήν των συλλεκτών που τοποθετούνται πάνω στην στέγη στις συνήθεις εγκαταστάσεις. Τούτο κυρίως οφείλεται στο ότι οι θερμικές απώλειες είναι λιγότερες λόγω του σχεδιασμού της να είναι ενσωματωμένη στο κέλυφος της στέγης.

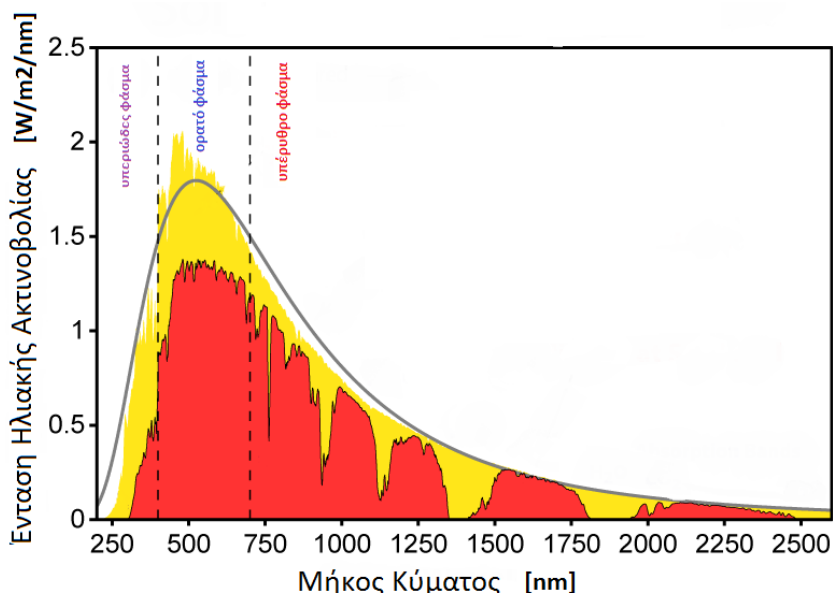
## 6. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ηλιακή ακτινοβολία θεωρητικά είναι μια ατελείωτη πηγή ενέργειας που δέχεται η Γη από τον ήλιο υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ανά πάσα στιγμή την τιμή της ενέργειας αυτής αφού στις μέρες μας είναι αξιοποιούμενη από τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας στον τομέα κάλυψης θερμικών αλλά και ηλεκτρικών αναγκών. Ειδικότερα στην χώρα μας, όπου εμφανίζεται υψηλή ηλιοφάνεια οι εφαρμογές των ΗΜΕ μπορούν να θεωρηθούν υψηλού ενδιαφέροντος σε απόδοση και οικονομία.

Αν και η απόσταση του ηλίου από την Γη εκτιμάται  $14,96 \cdot 10^7$  [Km] ( $\pm 2\%$  λόγω ελλειπτικής τροχιάς) υπολογίζεται πως η εκπεμπόμενη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου προς την Γη είναι  $37,2 \cdot 10^{22}$  [KW] η οποία κατανέμεται σε φάσμα μήκους κύματος (2500-40000 [Angstrom]). Αποδεικνύεται μέσω των τεχνολογικών μέσων της εποχής μας, πως το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται σε μήκη κύματος από 0,25 έως 4 [μm], ενώ σε μήκη όπου βρίσκεται το ορατό μέρος της ακτινοβολίας περιέχεται μόνο το 46,41% της ενέργειας.

Στο Σχ. 6.1 φαίνεται το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γής (κόκκινο χρώμα) καθώς και αυτό στην εξώσφαιρα (κίτρινο χρώμα)



Σχήμα 6.1 : Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης και στην εξώσφαιρα (Πηγή [30])

Από την ακτινοβολία αυτή, η εκμεταλλεύσιμη για θερμικές και ηλεκτρικές εφαρμογές είναι μεταξύ 400 – 3000 [nm].

## 6.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης και την εκμεταλλευόμαστε, χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη την **άμεση** και την **διάχυτη**.

**Άμεση ηλιακή ακτινοβολία  $I_b$**  ορίζεται η ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους κατ' ευθείαν από τον ήλιο χωρίς να υπόκειται σε σκέδαση. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως από την απόσταση Ηλίου-Γής, την αζιμούθια και ζενίθια γωνία, την ηλιακή απόκλιση, την κλίση του εδάφους και την θέση της τοποθεσίας στην επιφάνεια του πλανήτη. Μετράται με μονάδες [ $W/m^2$ ].

**Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία  $I_d$**  ορίζεται η ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους έχοντας αλλάξει διεύθυνση για λόγους ανάκλασης ή σκέδασης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται κυρίως από την ζενίθια γωνία, την πυκνότητα και το είδος των νεφών στον ουρανό, το έδαφος, το υψόμετρο καθώς και από σωματίδια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Μετράται επίσης σε μονάδες [ $W/m^2$ ].

**Ολική ηλιακή ακτινοβολία  $I$**  ορίζεται ως το άθροισμα της διάχυτης και άμεσης ακτινοβολίας δηλαδή ισχύει :  $I = I_b + I_d$

Η ηλιακή ακτινοβολία μετράται συνήθως στο οριζόντιο επίπεδο με την βοήθεια συσκευών που ονομάζονται (Πυρανόμετρα). Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την ακτινοβολία σε ένα επίπεδο υπό κλίση διότι οι ηλιακοί συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα συναντούνται σε πλειονότητα με μια κλίση  $\beta$  σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.

Το εργαστήριο των ΑΠΕ του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, διαθέτει πλήρως εξοπλισμένο μετεωρολογικό σταθμό, στον οποίο μετράται και η ολική αλλά και η διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο *Εικ. 6.1, Εικ. 6.2.*



Εικόνα 6.1 : Πυρανόμετρο μέτρησης ολικής ακτινοβολίας του Εργαστηρίου ΑΠΕ



Εικόνα 6.2 : Πυρανόμετρο μέτρησης διάχυτης ακτινοβολίας του εργαστηρίου ΑΠΕ



### 6.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΣΤΕΓΗΣ

Είναι εύκολο να υπολογίσουμε απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα επίπεδο με κλίση  $\beta$  εάν γνωρίζουμε την αντίστοιχη ακτινοβολία στο οριζόντιο και έναν συντελεστή  $R$  που ονομάζεται **συντελεστής κλίσης**. Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ολικής έντασης ακτινοβολίας (άμεσης και διάχυτης) στο κεκλιμένο επίπεδο ( $I_\beta$ ) προς την ακτινοβολία στο οριζόντιο ( $I$ ) Έξ. (6.1).

$$R = \frac{I_\beta}{I} \quad (6.1)$$

Προφανώς η Έξ. (6.1) δεν είναι όσο απλή φαίνεται, διότι σε αυτήν εμπεριέχονται και οι συνιστώσες διάχυτης και άμεσης ακτινοβολίας και οι λόγοι αυτών σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο.

Απαραίτητη προϋπόθεση λοιπόν αποτελεί ο υπολογισμός του συντελεστή  $R$  για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο υπό κλίση με την χρήση του γινομένου της Έξ. (6.2).

$$I_\beta = I \cdot R \quad (6.2)$$

Ο **Jordan** και ο **Liu** έφτιαξαν μια βελτιωμένη μορφή του συντελεστή αυτού θεωρώντας πως η ακτινοβολία που πέφτει σε ένα κεκλιμένο επίπεδο συνίσταται από την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη συνιστώσα. Έτσι ο συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο παίρνει την μορφή της Έξ. (6.3).

$$R = \left(\frac{I_b}{I}\right) \cdot R_b + \left(\frac{I_d}{I}\right) \cdot \left(\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right) + \left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right) \cdot r \quad (6.3)$$

Όπου :

$\left(\frac{I_d}{I}\right)$  : Είναι ο λόγος της στιγμιαίας διάχυτης ακτινοβολίας προς την ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Την ολική αλλά και την διάχυτη ακτινοβολία, τις έχουμε λάβει από τον μετεωρολογικό σταθμό του εργαστηρίου με ερέθισμα ενός λεπτού.

$\left(\frac{I_b}{I}\right)$  : Είναι ο λόγος της στιγμιαίας άμεσης ακτινοβολίας, προς την ολική ακτινοβολία.

$r$  : Συντελεστής ανακλαστικότητας του εδάφους με τιμές από 0,2 έως 0,7 για επιφάνειες με μεγάλη ανακλαστικότητα. Στην περίπτωση του οικίσκου έχουμε κυρίως χόμα και κοντό χορτάρι οπότε επιλέγουμε τον συντελεστή  $r=0,2$

$R_b$  : Είναι ο λόγος της άμεσης Ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο ενδιαφέροντος προς την άμεση Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Παίρνει διάφορες μορφές, αλλά στην περίπτωση μας όπου τα φωτοβολταϊκά είναι προσανατολισμένα στον Νοτιά ο συντελεστής απλοποιείται και παίρνει την μορφή της Έξ. (6.4).

$$R_b = \frac{[\cos(\varphi-\beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi-\beta) \cdot \sin(\delta)]}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)} \quad (6.4)$$

Για στιγμιαία γωνία  $\omega$

$\varphi$  : Είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Στην περίπτωση του οικίσκου το γεωγραφικό πλάτος είναι  $\varphi = 38,2178$  [°]

$\beta$  : Είναι η κλίση στην οποία βρίσκονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Έχει υπολογιστεί στην *Εισαγωγή* και είναι  $\beta=13,58 [^\circ]$   
 $\delta$  : Η Ηλιακή απόκλιση όπου είναι η γωνιακή θέση του Ηλίου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο που υπολογίζεται με την εξίσωση του Cooper Έξ. (6.5) .

$$\delta = 23,45 [^\circ] \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (6.5)$$

$n$  : Είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας (πχ. 12/1  $\rightarrow n=12$ )

$\omega$  : Η ωριαία γωνία του ηλίου που μετράται με αρχή το μεσημβρινό επίπεδο της τοποθεσίας. Η γωνία του ηλίου αλλάζει με ρυθμό 15  $[^\circ]$  κάθε ώρα και δίνεται προφανώς από την Έξ. (6.6).

$$\omega = (\text{AHX} - 12[\text{h}]) \cdot 15 \frac{[^\circ]}{[\text{h}]} \quad (6.6)$$

Όπου **AHX** ορίζεται ως ο Αληθής Ηλιακός χρόνος (δηλαδή το ηλιακό μεσημέρι αντιστοιχεί στις 12:00 και προφανώς  $\omega=0[^\circ]$ ). Ο AHX προφανώς δεν είναι ίδιος με τον Τοπικό ωρολογιακό χρόνο (**TΩΧ**) που συμπίπτει σε όλη την έκταση μιας χώρας.

Υπάρχει μια σχέση που σχετίζει τους δυο παραπάνω χρόνους αφού γίνουν διορθώσεις :

**A)** Λόγω της θέσης της τοποθεσίας σε σχέση με αυτήν του μεσημβρινού γίνεται διόρθωση για λόγους διαφοράς γεωγραφικού μήκους με χρήση του συντελεστή  $L_{loc}$ . Για την περίπτωση της περιοχής του ενεργειακού οικίσκου, το γεωγραφικό μήκος είναι  $L_{loc} = 21,75[^\circ]$

**B)** Λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της γης πρέπει να γίνει διόρθωση του χρόνου **E** σύμφωνα με την Έξ. (6.7):

$$E = 0,0172 + 0,3278 \cdot \cos(B) - 7,3456 \cdot \sin(B) - 3,3468 \cdot \cos(2B) - 9,3544 \cdot \sin(2B) \quad (6.7)$$

Όπου 
$$B = \frac{360 \cdot (n-1)}{365} \quad (6.8)$$

Έτσι σύμφωνα με τις ανωτέρω σχέσεις προσδιορίζεται ο AHX συναρτήσει του TΩΧ Έξ. (6.9)

$$\text{AHX} = \text{TΩΧ} - 4 \frac{[min]}{[^\circ]} \cdot (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (6.9)$$

$L_{st}$  Είναι η άτρακτος του μεσημβρινού, για την Ελλάδα αντιστοιχεί η 2<sup>η</sup> άτρακτος με  $L_{st} = 30[^\circ]$

#### 6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ

Παρακάτω θα υπολογιστεί η ακτινοβολία στο επίπεδο που βρίσκονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου για τον μήνα Δεκέμβριο που είναι και ο δυσμενέστερος από άποψη προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η αντιπροσωπευτική ημέρα για τον Δεκέμβριο ορίζεται η 11<sup>η</sup> Δεκεμβρίου. Επειδή όμως ενδέχεται οι

μετρήσεις μιας ημέρας να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα για ολόκληρο τον μήνα, θα πάρουμε τιμές ακτινοβολίας από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου ΑΠΕ για όλο τον Δεκέμβριο των τελευταίων τεσσάρων χρόνων και θα ορίσουμε εμείς μια αντιπροσωπευτική.

Συγκεκριμένα διαθέτουμε από το Εργαστήριο, τιμές της ακτινοβολίας (άμεσης, διάχυτης και ολικής) ανά λεπτό για το οριζόντιο επίπεδο των τελευταίων τεσσάρων χρόνων. Έτσι για κάθε λεπτό θα βγάλουμε την μέση τιμή των τιμών αυτών (συμπεριλαμβάνοντας και τις 31 ημέρες των τεσσάρων ετών), και θα προκύψει μια πλήρης αντιπροσωπευτική ημέρα με ακρίβεια λεπτού.

Όπως είναι αναμενόμενο, είναι σχετικά αδύνατον να υπολογίσουμε όλες αυτές τις τιμές χωρίς την χρήση ηλεκτρονικού προγράμματος. Για αυτόν τον λόγο επιλέξαμε να εξάγουμε τα αποτελέσματα αυτά μέσω ενός υπολογιστικού φύλου Excel μέρος του οποίου βρίσκεται στο *Παράρτημα σελ 122*. Έτσι έχοντας αυτές τις τιμές ακτινοβολίας για το οριζόντιο επίπεδο, θα προκύψει και η μετατροπή τους στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών ανά διάστημα λεπτού.

### Υπολογισμός Ηλιακής απόκλισης $\delta$

Η Ηλιακή απόκλιση όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι η γωνιακή θέση του Ηλίου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο και υπολογίζεται από την *Εξ.(6.5)* για  $n=345$  **11<sup>η</sup> Δεκεμβρίου**.

$$\delta = 23,45 [^\circ] \cdot \sin(360[^\circ] \cdot \frac{284+n}{365}) = 23,45 [^\circ] \cdot \sin(360[^\circ] \cdot \frac{284+345}{365}) \rightarrow \delta = -23,12 [^\circ]$$

### Υπολογισμός Συντελεστή χρόνου $E$

$$(6.8) \quad B = \frac{360 \cdot (n-1)}{365} \quad \text{Για } n=345 \rightarrow B = \frac{360 [^\circ] \cdot (345-1)}{365} \rightarrow B = 339,29 [^\circ]$$

$$(6.7) \quad E = 0,0172 + 0,3278 \cdot \cos(B) - 7,3456 \cdot \sin(B) - 3,3468 \cdot \cos(2B) - 9,3544 \cdot \sin(2B) \\ \Leftrightarrow E = 0,0172 + 0,3278 \cdot \cos(339,29 [^\circ]) - 7,3456 \cdot \sin(339,29 [^\circ]) - 3,3468 \cdot \cos(2 \cdot 339,29 [^\circ]) - 9,3544 \cdot \sin(2 \cdot 339,29 [^\circ]) \rightarrow E = 6,6 [\text{min}]$$

### Υπολογισμός ΑΗΧ

Είμαστε σε θέση αυτή την στιγμή να υπολογίσουμε τον ΑΗΧ γνωρίζοντας τον ΤΩΧ *Εξ. (6.9)*.

$$\text{ΑΗΧ} = \text{ΤΩΧ} - 4 \frac{[\text{min}]}{[^\circ]} \cdot (30 [^\circ] - 21,75 [^\circ]) + 6,6 [\text{min}] \Leftrightarrow \\ \text{ΑΗΧ} = \text{ΤΩΧ} - 26,4 [\text{min}] \quad \text{ή} \quad \text{ΑΗΧ} = \text{ΤΩΧ} - (26 [\text{min}] + 24 [\text{sec}]) \quad (6.10)$$

Παραδείγματος χάρη για την τοπική ώρα 8:56 (ΤΩΧ) αντιστοιχεί σε ΑΗΧ :

$$\text{ΑΗΧ} = 8[\text{h}] + 56[\text{min}] - 26,4[\text{min}] = 8[\text{h}] + 29,6[\text{min}] \quad \text{ή} \quad 8[\text{h}] + 29[\text{min}] + 36[\text{sec}] \quad . \quad \text{Δηλαδή} \\ 8:56(\text{ΤΩΧ}) = 8:29:36(\text{ΑΗΧ})$$

### Υπολογισμός Ωριαίας γωνίας Ηλίου $\omega$

Η ωριαία γωνία του ηλίου είναι σωστό να υπολογιστεί για κάθε χρονική στιγμή των δεδομένων ακτινοβολίας που διαθέτουμε. Εμείς έχουμε μετρήσεις ακτινοβολίας με χρονικό βήμα ενός λεπτού, έτσι αφού αρχικά μετατρέψουμε τον (ΤΩΧ) σε (ΑΗΧ) θα υπολογίσουμε για κάθε λεπτό την τιμή ( $\omega$ ). Επίσης πρέπει να σημειωθεί πως η τιμή

της ωριαίας γωνίας του Ηλίου εξαρτάται και από την ημέρα του έτους αφού μετατρέπουμε σε (ΑΗΧ) εμείς σε αυτήν την περίπτωση θα πάρουμε ως ημέρα την αντιπροσωπευτική (11/12) αφού οι τιμές μας συμπεριλαμβάνουν όλες τις ημέρες του Δεκεμβρίου και έχει ληφθεί ο Μ.Ο για κάθε λεπτό.

Καταλαβαίνουμε πως είναι δύσκολο να υπολογιστούν οι τιμές ( $\omega$ ) για 1440 ( $24[h] \cdot 60 \frac{[min]}{[h]}$ ) τιμές λεπτών στο παρόν μέρος. Έτσι ο υπολογισμός θα γίνει μέσω του φύλλου Excel χωρίς να χρονοτριβούμε Έξ. (6.6).

$$\omega = (ΑΗΧ - 12[h]) \cdot 15 \frac{[^\circ]}{[h]}$$

π.χ για της 12:25:36 (ΑΗΧ) θα ισχύει :

$$12[h]:25[min]:36[sec] \rightarrow 12,42667[h] \rightarrow \omega = (12,42667[h] - 12[h]) \cdot 15 \frac{[^\circ]}{[h]} = 0,42667[h] \cdot 15 \frac{[^\circ]}{[h]} \rightarrow \omega = 6,4[^\circ]$$

### Υπολογισμός Συντελεστή $R_b$

Ο λόγος της άμεσης Ηλιακής ακτινοβολίας στις  $13,58[^\circ]$  προς την άμεση Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο υπολογίζεται με την Έξ.(6.4)

Όπως είναι προφανές για κάθε λεπτό θα προκύπτει διαφορετικός συντελεστής  $R_b$  εφόσον αλλάζει η ωριαία γωνία του Ηλίου. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιούμε το Excel για τον υπολογισμό των τιμών αυτών.

Π.χ για ωριαία γωνία  $\omega = 6,4[^\circ]$  :

$$R_b = \frac{\cos(38,2178[^\circ] - 13,58[^\circ]) \cdot \cos(-23,12[^\circ]) \cdot \cos(6,4[^\circ]) + \sin(38,2178[^\circ] - 13,58[^\circ]) \cdot \sin(-23,12[^\circ])}{\cos(38,2178[^\circ]) \cdot \cos(-23,12[^\circ]) \cdot \cos(6,4[^\circ]) + \sin(38,2178[^\circ]) \cdot \sin(-23,12[^\circ])} \rightarrow R_b = 1,404$$

### Υπολογισμός συντελεστή μετατροπής επιπέδου ακτινοβολίας $R$

Είμαστε τώρα πια στην θέση να υπολογίσουμε τον συντελεστή μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο επίπεδο στο κεκλιμένο για κάθε λεπτό, με εφαρμογή της Έξ. (6.3).

π.χ για τον (ΑΗΧ) 12:25:36 έχουμε τα εξής δεδομένα :

- $\frac{I_d}{I} = 0,399383232$
- $\frac{I_b}{I} = 0,600616768$
- $R_b = 1,404$
- $\beta = 13,58 [^\circ]$
- $r = 0,2$

$$R = (0,600616768) \cdot (1,404) + (0,399383232) \cdot \left( \frac{1 + \cos(2 \cdot 13,58[^\circ])}{2} \right) + \left( \frac{1 - \cos(2 \cdot 13,58[^\circ])}{2} \right) \cdot (0,2) \rightarrow R = 1,24$$

Με την βοήθεια του Excel Παράρτημα σελ 130 υπολογίζονται όλες οι τιμές του R για κάθε λεπτό της ημέρας και γραφικά φαίνονται στο διάγραμμα 6. 1.

Έτσι πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή R με την υπάρχουσα ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, βρίσκουμε την ακτινοβολία στις 13,58[°] , ήτοι για το παράδειγμα μας :

**Ωρα 12:25:36 (ΑΗΧ)**

$$R = 1,23981$$

$$R_b = 1,40391$$

$$R_d = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} = \frac{1 + \cos(13,58^\circ)}{2} \rightarrow R_d = 0,986$$

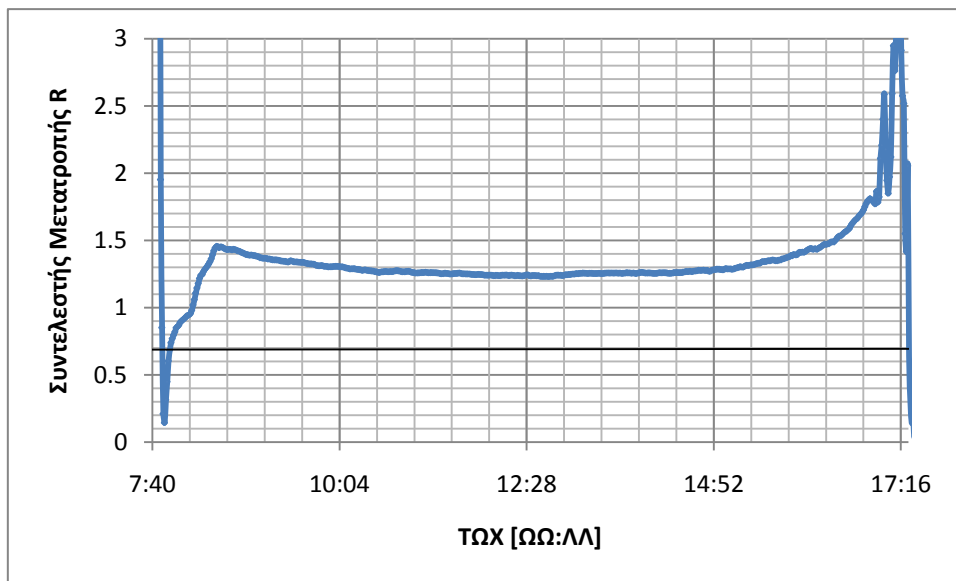
$$\text{Ολική}(0^\circ) = 319,28 [\text{W/m}^2] \quad \text{Άμεση}(0^\circ) = 191,76 [\text{W/m}^2] \quad \text{Διάχυτη}(0^\circ) = 127,51 [\text{W/m}^2]$$

$$\text{Ολική}(13,58^\circ) = \text{Ολική}(0^\circ) \cdot R = 319,28 [\text{W/m}^2] \cdot 1,23981 = 395,84 [\text{W/m}^2]$$

$$\text{Άμεση}(13,58^\circ) = \text{Άμεση}(0^\circ) \cdot R_b = 191,76 [\text{W/m}^2] \cdot 1,40391 = 269,21 [\text{W/m}^2]$$

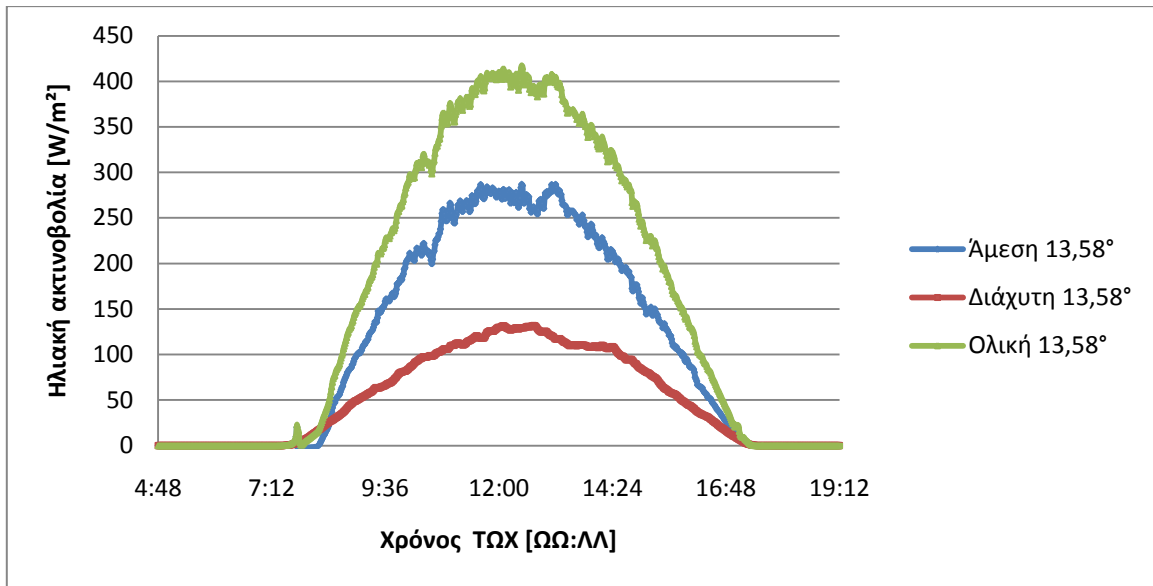
$$\text{Διάχυτη}(13,58^\circ) = \text{Διάχυτη}(0^\circ) \cdot R_d = 127,51 [\text{W/m}^2] \cdot 0,986 = 125,72 [\text{W/m}^2]$$

Στο Διάγρ. 6.1 φαίνεται η μεταβολή του συντελεστή R κατά την διάρκεια της αντιπροσωπευτικής ημέρας που προκύπτει.



**Διάγραμμα 6.1 : Μεταβολή συντελεστή R κατά την διάρκεια της αντιπροσωπευτικής ημέρας του Δεκεμβρίου**

Κάνοντας την μετατροπή της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στις 13,58[°] για κάθε λεπτό της ημέρας προκύπτει το διάγραμμα 6.2

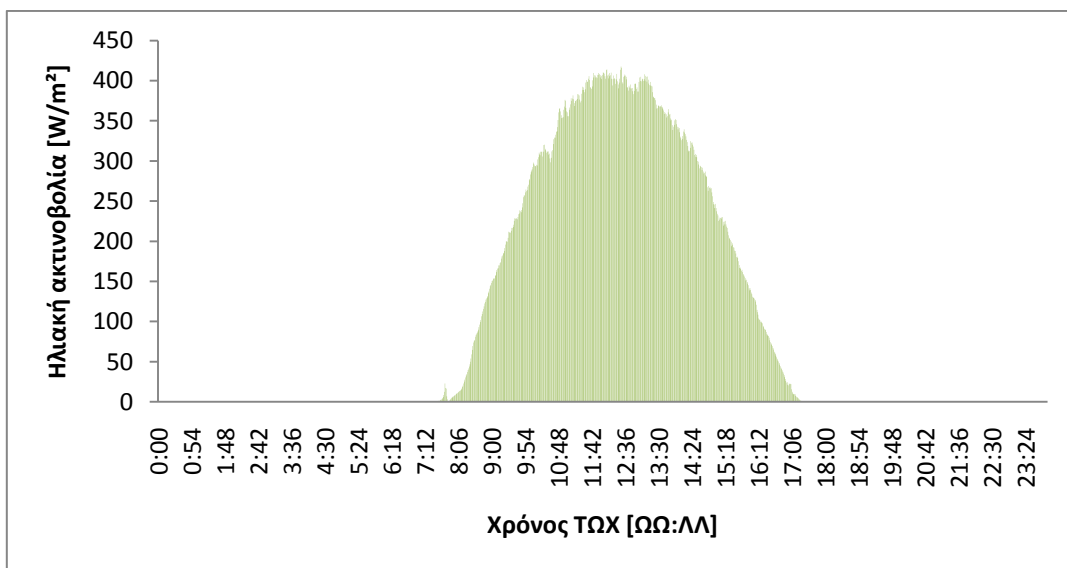


**Διάγραμμα 6.2 :** Προφίλ ακτινοβολίας στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, όπως προκύπτουν από τις μετρήσεις του Μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας για το οριζόντιο επίπεδο

## 6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΡSH

### Ενέργεια στο επίπεδο της στέγης

Το εμβαδό που ορίζεται από την πράσινη καμπύλη του διαγράμματος που παριστάνει την ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο των 13,58 μοιρών σε σχέση με τον άξονα του χρόνου, είναι η μέση ολική προσπίπτουσα ενέργεια της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο από τον ήλιο στα φωτοβολταϊκά **διάγραμμα 6.3**.



**Διάγραμμα 6.3 :** Ενέργεια στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών, όπως προκύπτουν από τις μετρήσεις του Μετεωρολογικού σταθμού του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας για το οριζόντιο επίπεδο για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου

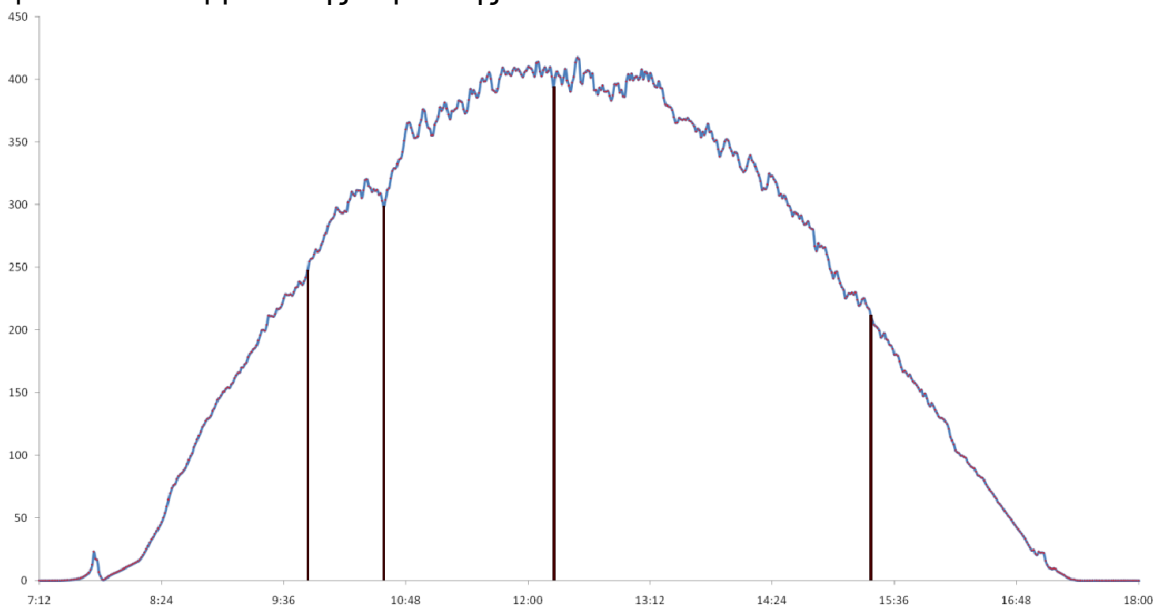
Παίρνοντας το άθροισμα των τιμών αυτών (οι οποίες είναι ανά λεπτό) προκύπτει το εμβαδό της καμπύλης :  $E_2 = 2340,7348 \left[ \frac{Wh}{m^2} \right]$

Η μεθοδολογία υπολογισμού του εμβαδού της καμπύλης απαιτεί την ολοκλήρωση της. Επειδή όμως είναι άγνωστη και δύσκολο να υπολογιστεί η συνάρτηση, ακολουθούμε έναν εναλλακτικό εύκολο τρόπο :

Έχοντας μετρήσεις ακτινοβολίας ανά λεπτό για διάρκεια μιας ολόκληρης ημέρας, έχουμε και σημεία της καμπύλης όπου είναι οι ίδιες οι μετρήσεις. Αναλυτικότερα διαθέτουμε 1440 σημεία τα οποία είναι γεωμετρικά απλωμένα, έτσι θεωρούμε πως στην διάρκεια ενός λεπτού δεν αλλάζει η τιμή της Έντασης Ηλιακής ακτινοβολίας και απότομα μεταβάλλεται την επόμενη χρονική στιγμή. Σαφώς κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην πραγματικότητα και το θεωρούμε για δική μας ευκολία.

Έτσι υπολογίζουμε το εμβαδό που σχηματίζεται μεταξύ του ενός λεπτού που παραμένει σταθερή η ακτινοβολία, και της έντασης αυτής Σχ. 6.2.

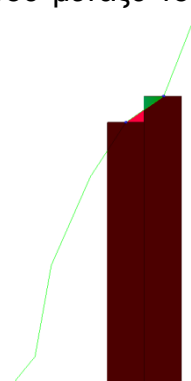
Συνεχίζουμε την διαδικασία αυτήν για όλες τις τιμές που διαθέτουμε και προκύπτει το εμβαδό της καμπύλης  $E_2$



Σχήμα 6.2 : Μεθοδολογία υπολογισμού της ενέργειας στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών

Προσοχή : Θεωρώντας σταθερή την ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια ενός λεπτού, σχηματίζονται παραλληλόγραμμα το ένα δίπλα στο άλλο όπου μεταξύ τους χάνεται ένα κομμάτι (κόκκινο τρίγωνο) Σχ. 6.3. Αυτό θα μπορούσε να μας οδηγήσει σε σφάλμα υπολογισμού του εμβαδού, όμως όπως φαίνεται και στο σχήμα κερδίζουμε ένα όμοιο κομμάτι (πράσινο τρίγωνο) και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για κάθε ζευγάρι παραλληλόγραμμων της καμπύλης.

Τα δύο τρίγωνα είναι ίσα σε εμβαδό αφού έχουν τις τρεις γωνίες τους ίσες. Μια ορθή γωνία και μια ίση ως χιαστί, έτσι και η τρίτη προκύπτει ίση.

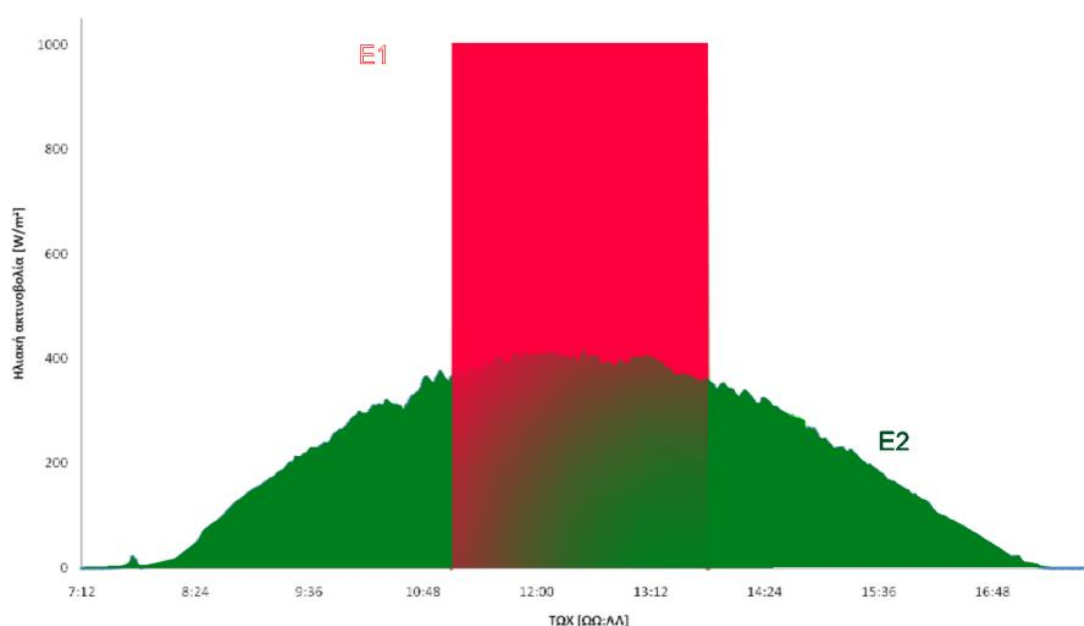


Σχήμα 6.3 : Διαδικασία άθροισης για τον προσδιορισμό του PSH

## Προσδιορισμός Συντελεστή PSH

Ο Συντελεστής PSH εκφράζεται σε ώρες και ορίζεται ως η χρονική διάρκεια που αντιστοιχεί σε Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$  ώστε η συνολική προσπίπτουσα ενέργεια της ημέρας να έχει το ίδιο αποτέλεσμα.

Πιο αναλυτικά, στην πραγματικότητα υποθέτουμε ότι έχουμε έναν ιδανικό Ήλιο, ο οποίος εκπέμπει προς το φωτοβολταϊκό μας συνεχώς Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ . Το ερώτημα είναι πόση ώρα πρέπει να εκπέμπει αυτός ο ήλιος έτσι ώστε να έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα με μια πραγματική κατάσταση; δηλαδή μεταβαλλόμενη ένταση στην διάρκεια της ημέρας. Οι ώρες αυτές αντιστοιχούν στον συντελεστή PSH :



Διάγραμμα 6.4 : Μεθοδολογία προσδιορισμού συντελεστή PSH'

Για να ισχύουν τα παραπάνω, θα πρέπει το εμβαδό των δυο γραφημάτων (διάγραμμα 6.4) να είναι αριθμητικά ίδιο. Εμείς έχουμε ως γνωστό ήδη το εμβαδό της πραγματικής καμπύλης με τιμή  $2340,7348 \text{ [Wh/m}^2\text{]}$  (Excel), έτσι χρησιμοποιώντας την ισότητα αυτήν βρίσκουμε την βάση του ισοδύναμου διαγράμματος που αντιστοιχεί στις ώρες εκπομπής  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$  και δεν είναι άλλο από το PSH :

$$E2 = E1 \Leftrightarrow 2340,7348 \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \right] = (1000 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]) \cdot \text{PSH}' \Leftrightarrow$$
$$\text{PSH}' = \frac{2340,7348 \text{ [Wh/m}^2\text{]}}{1000 \text{ [W/m}^2\text{]}} = 2,341 \text{ [h]} \quad \rightarrow \text{PSH}' = 2,341 \text{ [h]}$$

Παραπάνω υπολογίστηκε η τιμή του PSH' για μια αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, χωρίς να ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο σκίασης από φυσικούς παράγοντες. Όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 2 όπου πραγματοποιήσαμε την μελέτη σκίασης του ενεργειακού οικίσκου, υπάρχουν εμπόδια όπως (κτήρια και δέντρα)



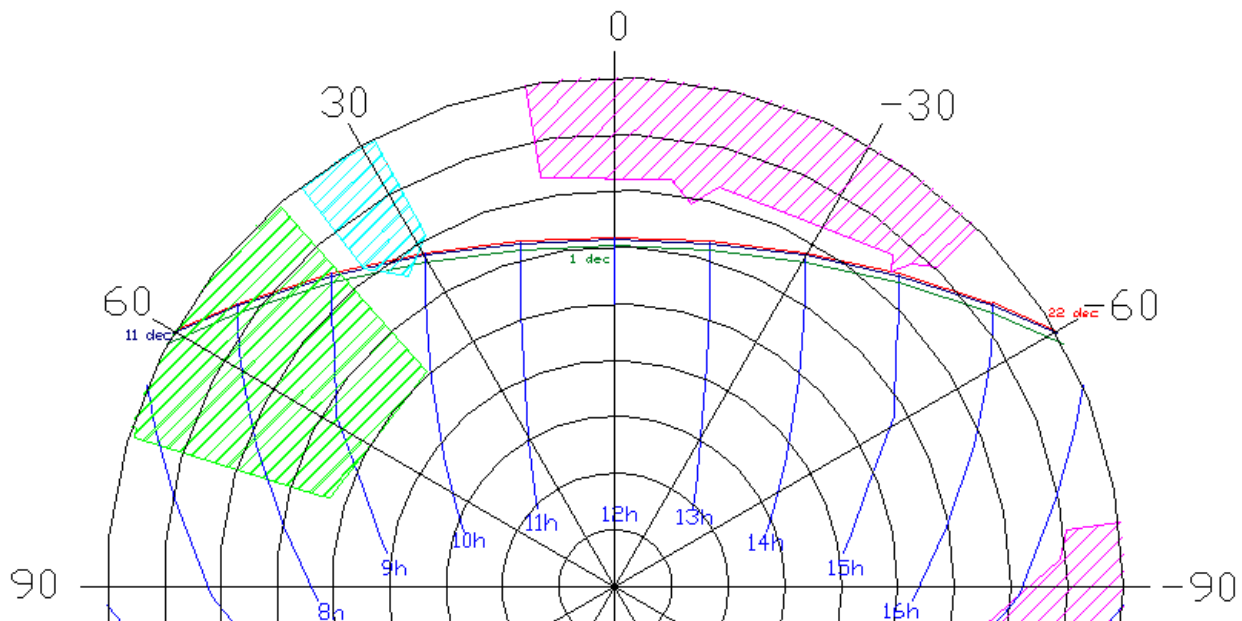
όπου εμποδίζουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει στα φωτοβολταϊκά μας πλαίσια κατά την διάρκεια της ημέρας.

Οι ώρες σκίασης κατά την διάρκεια της ημέρας, εξαρτώνται από την ημερομηνία κάθε φορά αφού ο ήλιος αλλάζει τροχιά και ύψος. Για τον λόγο αυτό κατασκευάσαμε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran 95 που υπολογίζει για οποιαδήποτε ημέρα για κάθε ώρα την θέση του ηλίου (ύψος και προσανατολισμό) έτσι ώστε να κατασκευάσουμε έναν ηλιακό χάρτη (Ενότητα 2.3).

Έχοντας γνωστές τις διαστάσεις των εμποδίων από αρχιτεκτονικά σχέδια και άλλες μεθόδους υπολογισμού, τα αποτυπώσαμε στον ηλιακό χάρτη και είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την ακριβή ώρα που σκιάζονται τα φωτοβολταϊκά μας πλαίσια ώστε να μπορέσουμε να κάνουμε μια ακριβέστατη μελέτη σχετικά για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου.

Έτσι τρέχουμε το πρόγραμμα για όλες τις ημέρες του Δεκεμβρίου και βρίσκουμε τα ζευγάρια (ύψους και αζιμούθιων γωνιών) του ηλίου και τα αποτυπώνουμε στον ηλιακό χάρτη (διαδικασία ίδια με αυτή της Ενότητας 2.3). Ύστερα βλέπουμε ποιες ημέρες σκιάζουν τα φωτοβολταϊκά για περισσότερο χρονικό διάστημα και συμπεραίνουμε πως είναι την 22 Δεκεμβρίου Σχ. 6.4.

Είναι λογικό την συγκεκριμένη ημερομηνία να σκιάζεται περισσότερη ώρα η στέγη, εφόσον την 22 Δεκεμβρίου ο ήλιος είναι στο χαμηλότερο σημείο του κατά την διάρκεια του έτους και κατ'επέκταση έχουμε την μικρότερη ημέρα του χρόνου.



Σχήμα 6.4 : Πολικός χάρτης για την σκίαση της στέγης του οικίσκου κατά την 22/12.

Για τις 22 Δεκεμβρίου λοιπόν που έχουμε την μεγαλύτερη σε διάρκεια σκίαση για τον Δεκέμβριο, τα συμπεράσματα είναι :

- Από την ανατολή του ηλίου μέχρι τις 09:04:33 [ΑΗΧ] έχουμε σκίαση των φωτοβολταϊκών από το φυσικό εμπόδιο (Συνδυασμός δέντρων **Δ2**)
- Από τις 09:04:33 μέχρι τις 09:20:31 [ΑΗΧ] δεν έχουμε σκίαση φωτοβολταϊκών.
- Από τις 09:20:31 μέχρι τις 09:58:53 [ΑΗΧ] έχουμε σκίαση των φωτοβολταϊκών από φυσικό εμπόδιο (Δέντρο **Δ1**)

Τις ώρες που σκιάζεται η στέγη και κατ'επέκταση και τα φωτοβολταϊκά, θα δεχθούμε σαν ωφέλιμη ενέργεια μόνο την Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, αφού μόνο η

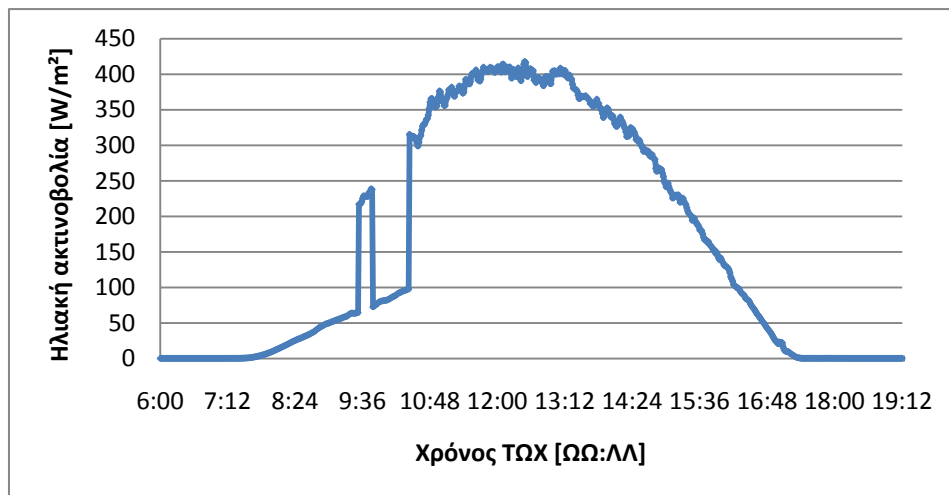
διάχυτη φθάνει στη στέγη. Έχουμε είδη μετατρέψει την διάχυτη ακτινοβολία στις 13,58[°] οπότε φτιάχνουμε το νέο διάγραμμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας για την στέγη του ενεργειακού οικίσκου συμπεριλαμβανόμενης και της σκίασης Διάγρ. 6.5. Διάχυτη ακτινοβολία δέχεται η στέγη κατά τα χρονικά διαστήματα:

- Ανατολή – 09:04:33 [ΑΗΧ] ή Ανατολή - 09:31:00 [ΤΩΧ]
- 09:20:31 – 09:58:53 [ΑΗΧ] ή 09:47:00 – 10:25:00 [ΤΩΧ]

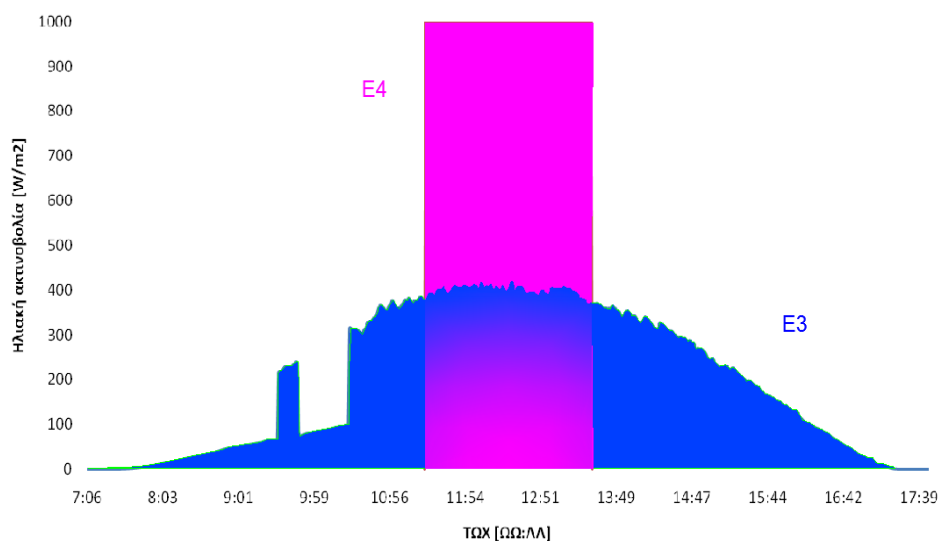
Με τον ίδιο τρόπο όπως ακολουθήσαμε παραπάνω, υπολογίζουμε το νέο PSH συμπεριλαμβανομένης και της σκίασης των φωτοβολταϊκών, Διάγρ. 6.6

$$E3 = E4 \Leftrightarrow 2104,6571 \text{ [Wh/m}^2\text{]} = (1000 \text{ [W/m}^2\text{)])} \cdot \text{PSH} \Leftrightarrow$$

$$\text{PSH} = \frac{2104,6571 \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \right]}{1000 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]} = 2,105 \text{ [h]} \quad \rightarrow \text{PSH} = 2,105 \text{ [h]}$$



**Διάγραμμα 6.5 :** Πραγματικό προφίλ προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο επίπεδο της στέγης για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, συμπεριλαμβανομένης και της σκίασης



**Διάγραμμα 6.6 :** Προσδιορισμός συντελεστή PSH για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, συμπεριλαμβανομένης και της σκίασης της στέγης του οικίσκου

## 7. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ

### 7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ανάγκη για ενέργεια στις μέρες μας είναι εξαιρετικά μεγάλη, αυτό γίνεται αντιληπτό εάν σκεφτεί κάποιος αποκλειστικά τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια που έχει μια κατοικία (φωτισμός, ηλεκτρικές συσκευές κτλ) στην σημερινή ημέρα. Ολοένα και περισσότερο ο άνθρωπος εξαρτάται από την ηλεκτρική ενέργεια λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για μια κατοικία υπολογίζεται περίπου στις 4.005 [KWh/έτος] σύμφωνα με τα ενδεικτικά αποτελέσματα έρευνας κατανάλωσης ρεύματος στο Δήμο Αμαρουσίου (ΚΑΠΕ).

Είναι αντιληπτό πως για να παραχθεί ένα τέτοιο ποσό ενέργειας για κάθε κατοικία στον ελληνικό χώρο, επιβαρύνεται κατά μεγάλο ποσοστό το περιβάλλον, αφού κατά κόρον το μεγαλύτερο ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από λέβητες που σαν καύσιμο χρησιμοποιούν υδρογονάνθρακες απελευθερώνοντας διοξείδιο του άνθρακα και άλλους ρύπους. Έτσι η ανάγκη μας οδήγησε να βρούμε άλλες λύσεις για να καλύψουμε την ενέργεια αυτή, δηλαδή την χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (αιολικό δυναμικό, ηλιακή ενέργεια, ενέργεια ορμής ,κ.α).

Εφαρμογή στον τομέα εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού γίνεται μέσω ανεμογεννητριών, οι οποίες παράγουν κατ' ευθείαν εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο μπορεί να καταναλωθεί αφού μετατραπεί στην κατάλληλη συχνότητα. Όσον αφορά την ενέργεια της ορμής, αναφερόμαστε κυρίως στην ενέργεια που αποφέρει το νερό που πέφτει από ένα υψηλό σημείο σε ένα χαμηλότερο, εκμεταλλευόμενοι την βαρύτητα της Γης. Με άλλα λόγια το ορμώμενο νερό πέφτει στα πτερύγια ενός υδροστρόβιλου και τον περιστρέφει και έτσι έχουμε μια παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος από μια γεννήτρια. Χρησιμοποιώντας την ενέργεια του ήλιου, η οποία είναι πλούσια στην χώρα μας εκμεταλλευόμαστε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος από το πυρίτιο το οποίο μετατρέπεται στην συνέχεια σε εναλλασσόμενο.

Το μεγάλο μειονέκτημα με τις ΑΠΕ, είναι ότι η παραγόμενη ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιηθεί την ίδια στιγμή ή να αποθηκευτεί σε συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες) ώστε να εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια αυτήν ανά πάσα στιγμή.

### 7.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

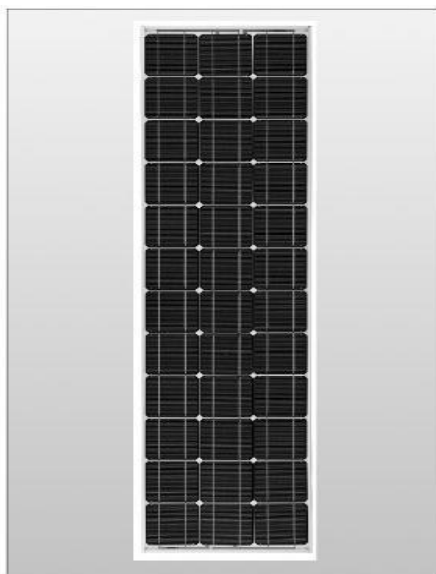
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι εγκατεστημένα στην οροφή του οικίσκου δεν είναι απλά τοποθετημένα επάνω της, αντιθέτως είναι τα ίδια μέρος της στέγης του οικίσκου *Εικ.7.1*. Αυτό σημαίνει πως η πίσω πλευρά τους είναι σε άμεση επαφή με

τον εσωτερικό χώρο του οικίσκου και ανταλλάσει θερμότητα με αυτόν μέσω του μηχανισμού της συναγωγής. Η ανταλλαγή της θερμότητας των φωτοβολταϊκών με τον εσωτερικό χώρο προσφέρει θερμικό κέρδος στον οικίσκο κάτι που είναι προς όφελος του για την θέρμανση μέσω του ενδοδαπέδιου συστήματος για τους χειμερινούς μήνες. Από την άλλη αυτό επιφέρει και αρνητικά στοιχεία στα ίδια τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εφόσον δεν έρχονται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και τον άνεμο ώστε να ψύχονται. Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να δημιουργούνται υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια τους που διευκολύνουν την πρόωρη γήρανση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

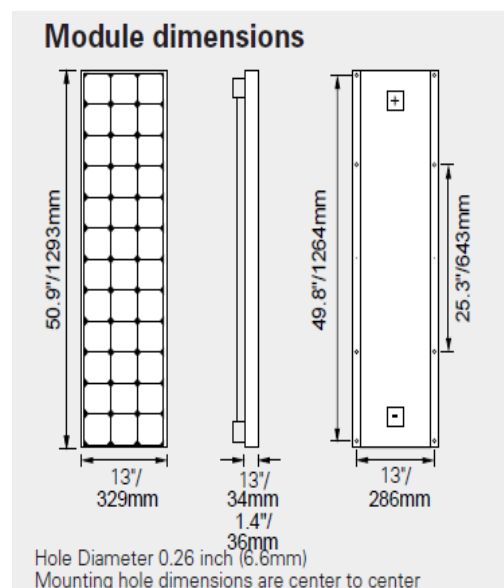


**Εικόνα 7.1 :** Εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πλαίσια στην στέγη του οικίσκου

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του οικίσκου, είναι τύπου Siemens SM55 Μονοκρυσταλικού Πυριτίου. Κατασκευάστηκαν το έτος 1999 και έχουν Serial number 019751D1489901494, 019751D1489901541 αντίστοιχα. Αναλυτικότερα για τα πλαίσια αυτά φαίνονται στις *Εικ. 7.2* έως και *Εικ. 7.5* βάσει του φυλλαδίου χαρακτηριστικών τους :



**Εικόνα 7.2 :** Τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων εγκατεστημένων στον οικίσκο



**Εικόνα 7.3 :** Διαστάσεις πλαισίων εγκατεστημένων στον οικίσκο

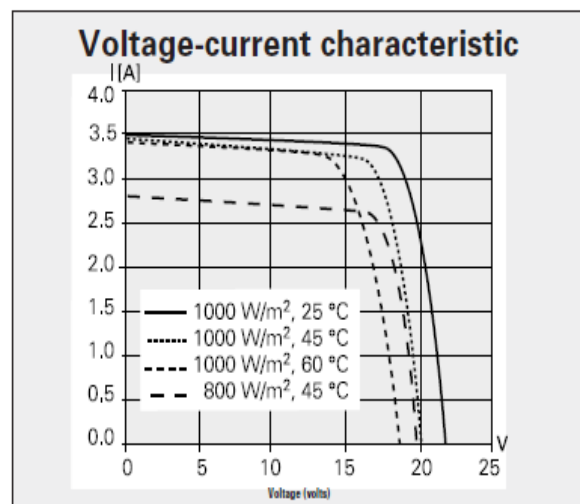
Έχουμε εγκατεστημένα δύο τέτοια φωτοβολταϊκά πλαίσια των 55 [Wp] τα ηλεκτρικά και θερμικά χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται στις *Εικ 7.4* και *Εικ 7.5*.

Solar module SM55	
<b>Electrical parameters</b>	
Maximum power rating $P_{max}$ (Wp) <sup>1)</sup>	55
Rated current $I_{MPP}$ [A]	3.15
Rated voltage $V_{MPP}$ [V]	17.4
Short circuit current $I_{SC}$ [A]	3.45
Open circuit voltage $V_{OC}$ [V]	21.7
<b>Thermal parameters</b>	
NOCT <sup>2)</sup> [°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current	1.2mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage	-0.77V / °C
<b>Qualification test parameters <sup>4)</sup></b>	
Temperature cycling range [°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat [%RH]	85
Maximum permitted system voltage [V]	600 (1000 V per ISPR4)
Wind Loading PSF [N/m <sup>2</sup> ]	50 [2400]
Maximum distortion <sup>3)</sup> [°]	1.2
Hailstone impact Inches [mm]	1.0 [25]
MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight Pounds [kg]	12 [5.5]

Thermal parameters	
NOCT <sup>2)</sup> [°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current	1.2mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage	-0.77V / °C

**Εικόνα 7.4 : Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων (Πηγή [21])**

- 1) Wp (Watt peak) = Peak power  
(Minimum Wp = 50 Watts)
  - Air Mass AM = 1.5
  - Irradiance E = 1000 W/m<sup>2</sup>
  - Cell temperature T<sub>c</sub> = 25 °C
- 2) Normal Operating Cell Temperature at:
  - Irradiance E = 800 W/m<sup>2</sup>
  - Ambient temperature T<sub>u</sub> = 20 °C
  - Wind Speed v<sub>w</sub> = 1 m/s
- 3) Diagonal lifting of module plane
- 4) Per IEC 61215 test requirements



**Εικόνα 7.5 : Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων και διάφορες καμπύλες i-v (Πηγή [21])**

\* Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών ελήφθησαν από το εγχειρίδιο της Siemens μέσω του διαδικτύου [21].

### 7.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε στην *Ενότητα 7.2* θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να προσδιορίσουμε την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα πλαίσια αυτά εφόσον έχουν υποστεί έναν βαθμό γήρανσης λόγω του χρόνου.

Παρακάτω μελετάται η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα δυο αυτά πλαίσια. Ειδικότερα, θα μελετηθεί η συμπεριφορά τους σε συνθήκες περιβάλλοντος

και στην συνέχεια θα γίνει αναγωγή σε πρότυπες συνθήκες **STC** σύμφωνα με την μεθοδολογία που εφαρμόζεται στο επιστημονικό άρθρο [18] έτσι ώστε να είναι δυνατή μια σύγκριση, και φυσικά μια εκτίμηση της γήρανσης που έχουν υποστεί με την πάροδο του χρόνου. Επίσης θα εκτιμηθεί γραφικά η χαρακτηριστική καμπύλη **i-v** (Ρεύμα συναρτήσει της Τάσης) του εκάστοτε πλαισίου και οι χαρακτηριστικές τους τιμές **Isc**, **Voc**, **Pm** (Ρεύμα βραχυκύκλωσης, Τάση ανοικτού κυκλώματος, Ισχύς αιχμής).

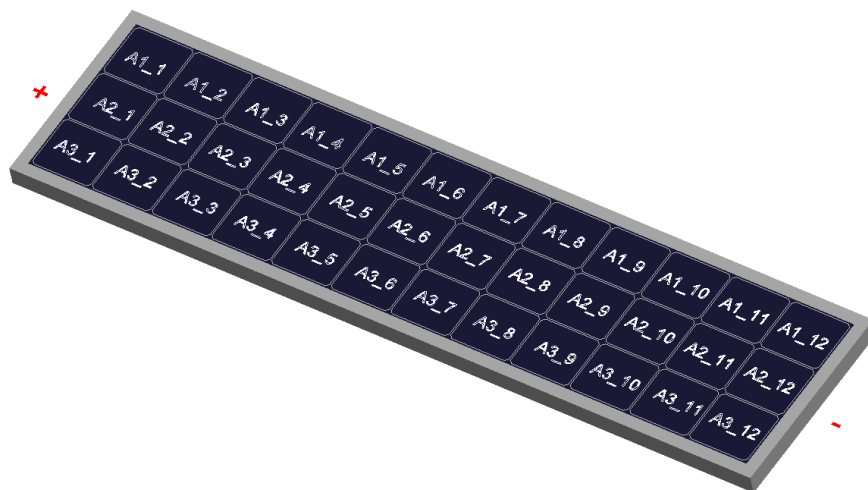
Επί τον πλείστον θα πραγματοποιηθεί πειραματική διαδικασία καταγραφής θερμοκρασιών της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού και θα ληφθούν μετρήσεις ρεύματος – τάσης για διάφορα εφαρμοζόμενα φορτία μέσω συστήματος πυκνωτών.

## Αρίθμηση cell

Είναι σημαντικό να προβούμε στην αρίθμηση των επιμέρους 36 cells του κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου για να μπορούμε στην συνέχεια να αναφερθούμε σε αυτά αφού θα τοποθετηθούν πάνω τους θερμοζεύγη. Εμείς θα ακολουθήσουμε έναν κανόνα αρίθμησης τον οποίο ακολουθούν και στα περισσότερα Εργαστήρια όπως και σε αυτό στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας :

- Κατά την διαδικασία αρίθμησης - ανάγνωσης θα πρέπει πάντα ο θετικός πόλος του πλαισίου να βρίσκεται στα αριστερά και ο αρνητικός στα δεξιά.
- Θεωρούμε τα cells σαν κελιά ενός δυσδιάστατου πίνακα, με 3 γραμμές και 12 στήλες.
- Κατά την ονομασία τους στην αρχή βάζουμε το όνομα του πλαισίου.
- Στην συνέχεια ακολουθεί ο αριθμός της γραμμής και της στήλης χωρισμένα με κάτω παύλα.

Παράδειγμα : Στο Σχ. 7.1 φαίνονται σχηματικά τα ονόματα του κάθε cell ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου Siemens SM55 που το έχουμε ονομάσει πλαίσιο A.



Σχήμα 7.1 : Τρόπος αρίθμησης φωτοβολταϊκών cells

## Πειραματική διαδικασία

Ημερομηνία πειράματος : **19/12 /2014**  
Ωρα έναρξης πειράματος : **12:02 (ΤΩΧ)**  
Ωρα λήξης πειράματος : **14:04 (ΤΩΧ)**

Αρχικά θα ονομάσουμε τα δύο πλαίσια για να τα ξεχωρίζουμε ευκολότερα. Βλέποντας τα φωτοβολταϊκά από το εσωτερικό του οικίσκου *Εικ. 7.7*, ονομάζουμε το αριστερό πλαίσιο σαν **Πλαίσιο Α** και το δεξιό σαν **Πλαίσιο Β**.

Το πείραμα ξεκίνησε στις **12:02 (ΤΩΧ)** και ακλούθησαν οι παρακάτω διαδικασίες :

1. Βεβαιωθήκαμε πως οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες ήταν ιδανικές για την διεξαγωγή του πειράματος (καιρός με ηλιοφάνεια κτλ).
2. Ανοίξαμε το καπάκι του οικίσκου που βρίσκεται στο εσωτερικό της οροφής, ώστε να έχουμε άμεση επαφή με το πίσω μέρος των φωτοβολταϊκών πλαισίων προκειμένου να προσδιορίσουμε την θερμοκρασία τους *Εικ. 7.6*, *Εικ 7.7*.



**Εικόνα 7.6 :** Προστατευτικό καπάκι φωτοβολταϊκών πλαισίων από το εσωτερικό του οικίσκου

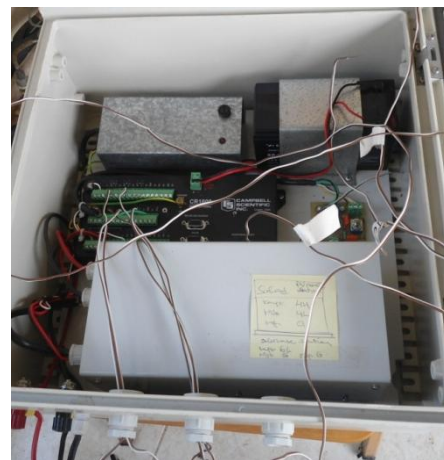


**Εικόνα 7.7 :** Πίσω όψη φωτοβολταϊκών πλαισίων από το εσωτερικό του οικίσκου

3. Αφού ελέγξαμε την κατάσταση στην οποία βρίσκονταν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τοποθετήσαμε κάποια θερμοζεύγη πάνω τους με χρήση αλουμινοταινίας *Εικ.7.8*. Αναφορά για τις θέσεις των θερμοζευγών αυτών θα γίνει παρακάτω.
4. Συνδέσαμε τους ακροδέκτες από τα θερμοζεύγη σε έναν καταγραφέα Data Logger ώστε να λαμβάνονται μετρήσεις θερμοκρασίας και να αποθηκεύονται στην μνήμη του *Εικ. 7.9*.



**Εικόνα 7.8 :** Τοποθέτηση θερμοζευγών στην πίσω όψη των φωτοβολταϊκών πλαισίων



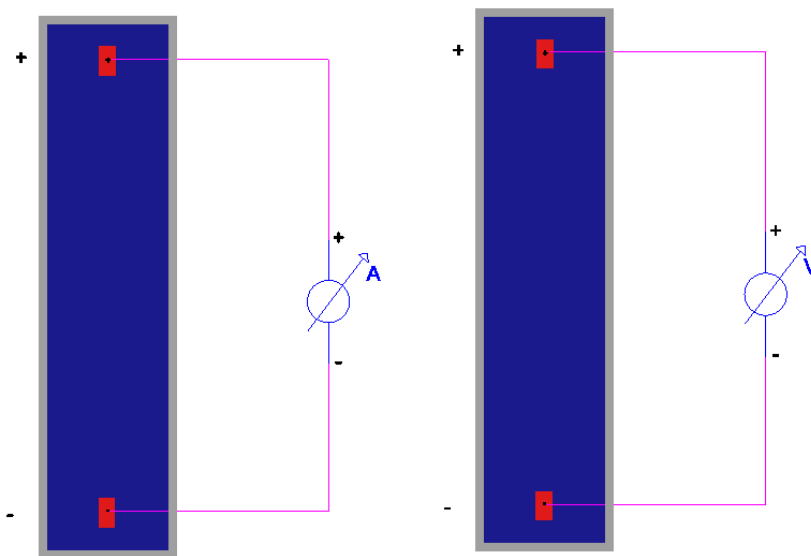
**Εικόνα 7.9 :** Σύνδεση θερμοζευγών με καταγραφέα Data Logger και συσκευή διεξαγωγής σημείων λειτουργίας

Στις **12:31** τα θερμοζεύγη είχαν τοποθετηθεί στα πλαίσια και ήταν συνδεδεμένα με τον Data Logger και την συσκευή για την καταγραφή.

5. Στις **12:34** μετρήσαμε ξεχωριστά για το κάθε πλαίσιο το ρεύμα βραχυκύκλωσης και την τάση ανοιχτού κυκλώματος για να βεβαιωθούμε πως λειτουργούν φυσιολογικά. Οι μετρήσεις φαίνονται στον Πίν. 7.1 καθώς και ο τρόπος μέτρησης με χρήση πολυμέτρου Σχ. 7.2.

Μέγεθος	Σύμβολο	Πλαίσιο A	Πλαίσιο B
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	$V_{oc}$ [V]	19,39	19,37
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	$I_{sc}$ [A]	1,95	1,94

Πίνακας 7.1 : Χαρακτηριστικές μετρήσεις φωτοβολταϊκών πλαισίων οικίσκου με χρήση πολυμέτρου



Σχήμα 7.2 : Συνδεσμολογία πολυμέτρου με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου για έλεγχο λειτουργίας

Η Τάση ανοιχτού κυκλώματος βλέπουμε πως είναι αρκετά κοντά στην αναγραφόμενη των πλαισίων. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού η τάση δεν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, επίσης τα πλαίσια είναι παλιά και είναι λογικό να έχει μειωθεί λόγω γήρανσης. Έτσι συνεχίζουμε το πείραμα αφού υπάρχουν λογικές τιμές τάσης και ρεύματος.

6. Συνδέουμε τους ακροδέκτες του **πλαϊσίου A** με αυτούς του Data Logger - συσκευής και τον θέτουμε σε λειτουργία oh για περίπου 6 λεπτά, έτσι παίρνουμε σε ηλεκτρονική μορφή δεδομένα τάσης, ρεύματος, θερμοκρασιών για κάθε δεδομένο φορτίο ώστε να κατασκευάσουμε την i-v καμπύλη του. Έναρξη → 12:55 Λήξη → 13:01

7. Συνδέουμε τους ακροδέκτες του **πλαϊσίου B** με αυτούς του Data Logger - συσκευής και τον θέτουμε σε λειτουργία oh για περίπου 6 λεπτά. Έναρξη → 13:03 Λήξη → 13:09

8. Για λόγους μεγαλύτερης ακρίβειας ξανά επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία άλλη μια φορά για το κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Έτσι συνδέουμε τους ακροδέκτες του **πλαϊσίου A** με αυτούς του Data Logger - συσκευής και θέτεται σε λειτουργία oh για περίπου 6 λεπτά. Έναρξη → 13:11 Λήξη → 13:17



9. Συνδέουμε τους ακροδέκτες του **πλαϊσίου Β** με αυτούς του Data Logger - συσκευής και τον θέτουμε σε λειτουργία οη για περίπου 6 λεπτά. Έναρξη → 13:18 Λήξη → 13:24

Ένα μέρος (λόγω μεγάλου μεγέθους μετρήσεων) των αποτελεσμάτων για την πρώτη μέτρηση του Πλαισίου Α από τον Data Logger φαίνεται στο *Παράρτημα σελ 134*.

#### 7.4 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ Ι-Ν ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΟΙΚΙΣΚΟΥ

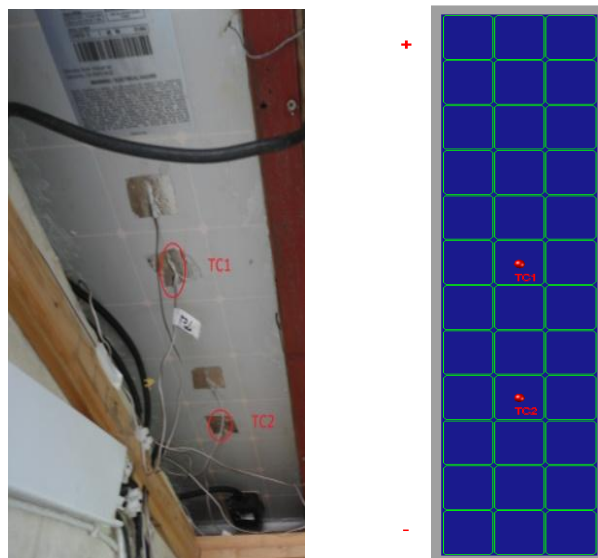
Από τις μετρήσεις που ελήφθησαν από τον Data Logger για τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες και τα εφαρμοζόμενα φορτία λειτουργίας, κατασκευάζουμε ξεχωριστά τις 4 καμπύλες i-v (2 για κάθε πλαίσιο).

##### ΠΛΑΙΣΙΟ Α

Όνομα Θερμοζεύγους	Θέση cell στο πλαίσιο
TC1	A2_6
TC2	A2_9

Πίνακας 7.2 : Θέση θερμοζευγών στο πλαίσιο Α

Βάζοντας σε αυτές τις θέσεις τα θερμοζεύγη, μπορούμε να προσεγγίσουμε με μεγάλη ακρίβεια την πραγματική θερμοκρασία του πλαισίου περιορίζοντας τις απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον *Εικ. 7.10*.



Εικόνα 7.10 : Θέσεις θερμοζευγών στο πλαίσιο Α

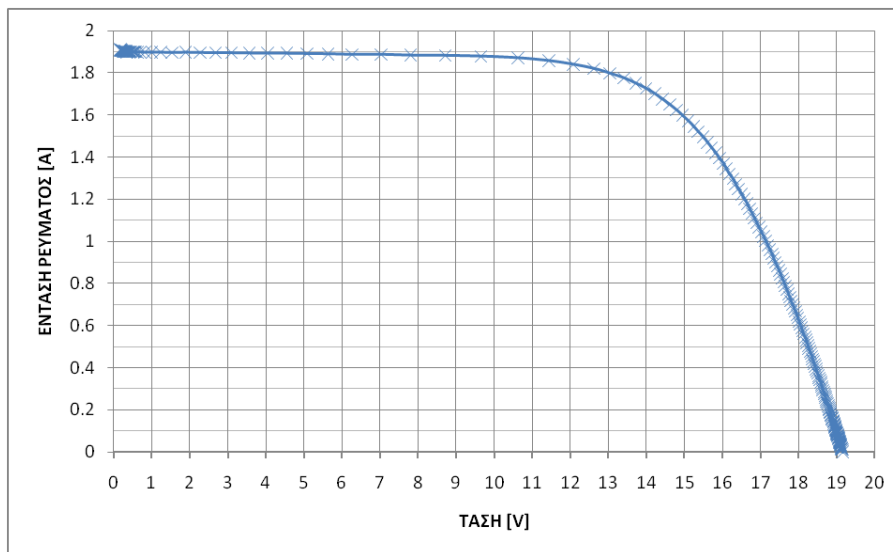
Θα ήταν πιο σωστό να βάζαμε το θερμοζεύγος TC1 σε μία θέση πιο κοντά στον θετικό πόλο του πλαισίου όμως κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε σφάλμα της μέτρησης καθώς όπως φαίνεται και στην *Εικ.7.10* που τραβήχτηκε κατά την διεξαγωγή του πειράματος υπάρχει άλλο θερμοζεύγος όπου είναι συνδεδεμένο με τον Data Logger του οικίσκου για καταγραφή μετρήσεων καθώς υπάρχει και αυτοκόλλητο της εταιρίας.

Όλα αυτά είναι σοβαροί λόγοι για να οδηγηθούμε σε σφάλμα μέτρησης, για αυτό και επιλέχθηκε σαν ιδανικότερη λύση το TC1 να τοποθετηθεί στο cell A2\_6.

Με την βοήθεια του Excel και των μετρήσεων (τάσης – ρεύματος) που πήραμε για κάθε προσαρμοζόμενο φορτίο (λειτουργία συστήματος ενσωματωμένο με τον Data Logger) μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα διάγραμμα Τάσης – Ρεύματος ή όπως χαρακτηριστεί την ονομάζουμε καμπύλη i-v για κάθε μια από τις 2 εφαρμογές του εκάστοτε πλαισίου.

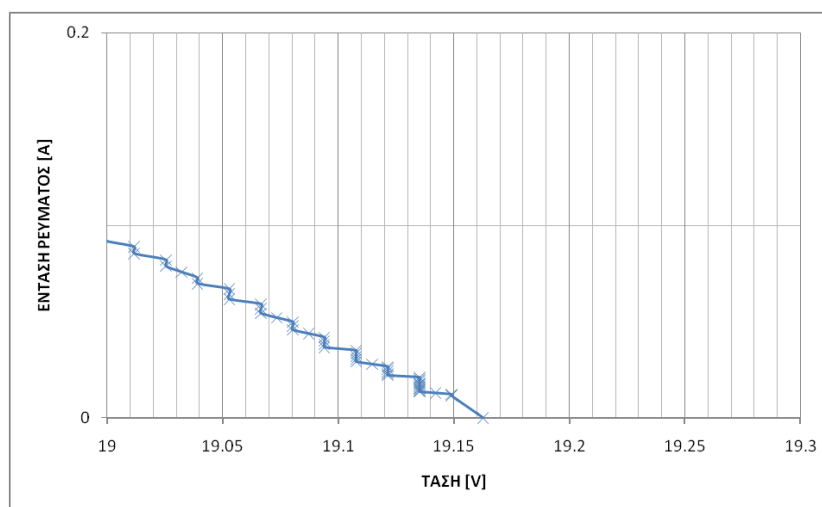
Έτσι κατά τις μετρήσεις για το πλαίσιο A παίρνουμε τις παρακάτω χαρακτηριστικές :

### ΜΕΤΡΗΣΗ 1 (Εναρξη → 12:55 Λήξη → 13:01)

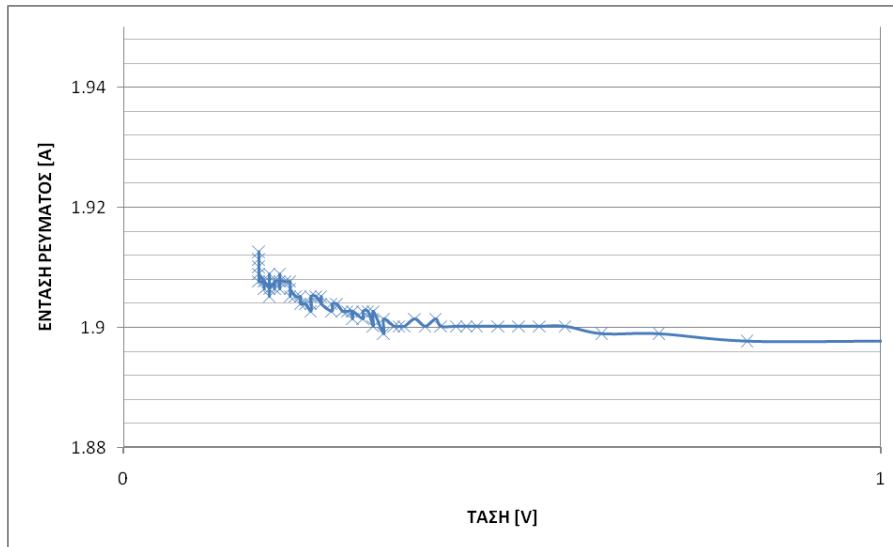


Διάγραμμα 7.1 : Χαρακτηριστική καμπύλη i-v 1<sup>ης</sup> μέτρησης πλαισίου A

Εάν κάνουμε αρκετή μεγέθυνση στις περιοχές όπου η καμπύλη πάει να ακουμπήσει τους άξονες των x και y μπορούμε να βρούμε τις χαρακτηριστικές τιμές τάσης ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  Δι. 7.2 και ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  Δι.7.3 υπό τις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος.



Διάγραμμα 7.2 : Προσδιορισμός  $V_{oc}$  1<sup>ης</sup> μέτρησης για το πλαίσιο A



**Διάγραμμα 7.3 : Προσδιορισμός  $I_{SC}$  1<sup>ης</sup> μέτρησης για το πλαίσιο Α**

Όπως φαίνεται και από το *διάγραμμα 7.3* η τιμή  $I_{SC}$  για την πρώτη μέτρηση είναι ανάμεσα από 1,9[A] και 1,912 [A] έτσι παίρνοντας την μέση τιμή αυτών προκύπτει:

$$I_{SC(A1)} = 1,906[A]$$

Όπως φαίνεται και στο *διάγραμμα 7.2* η τιμή  $V_{OC}$  για την πρώτη μέτρηση είναι περίπου 19,160 [V]

$$V_{OC(A1)} = 19,160 [V]$$

Χαρακτηριστικό μέγεθος για την επεξεργασία των χαρακτηριστικών καμπυλών i-v και την αναγωγή τους σε συνθήκες STC αποτελεί η ισχύς αιχμής  $P_m$  που προκύπτει από το γινόμενο του παραγόμενου ρεύματος με την παραγόμενη τάση.

Στην πραγματικότητα είναι η μέγιστη Ισχύς που μπορεί να δώσει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε συγκεκριμένο φορτίο στις συνθήκες που διεξάγεται το πείραμα.

Με την βοήθεια του Excel υπολογίζεται εύκολα η ισχύς αιχμής για κάθε περίπτωση . Έτσι προκύπτει :

$$P_{m(A1)} = 24,197 [W]$$

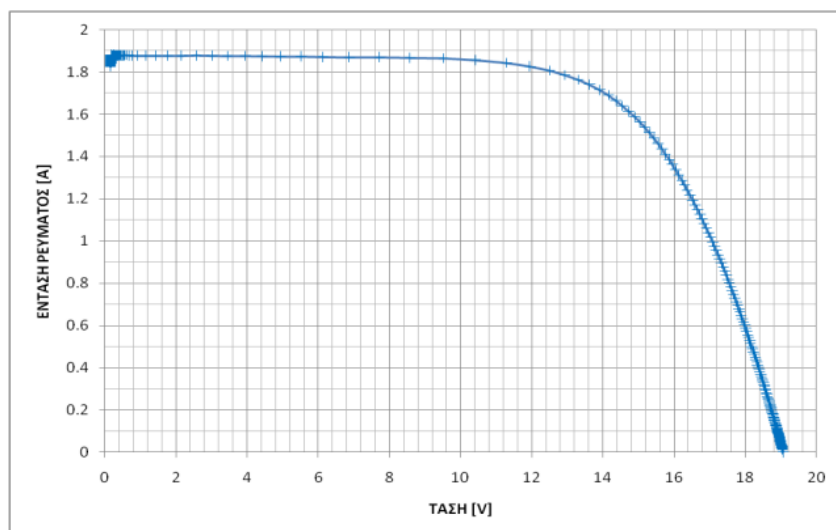
## **ΜΕΤΡΗΣΗ 2 (Έναρξη → 13:11 Λήξη → 13:17)**

Ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με παραπάνω :

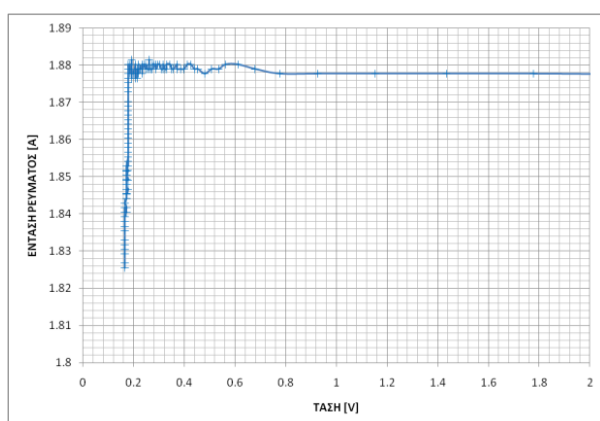
$$\Delta I. 7.4.5 \rightarrow I_{SC(A2)} [1,878[A] \div 1,880 [A]] \rightarrow I_{SC(A2)} = 1,879[A]$$

$$\Delta I. 7.4.6 \rightarrow V_{OC(A2)} = 19,060 [V]$$

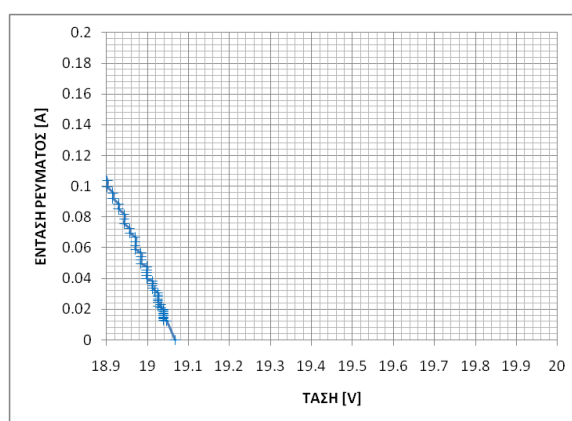
$$P_{m(A2)} = 23,920 [W]$$



Διάγραμμα 7.4 : Χαρακτηριστική καμπύλη  $i-v$   $2^{ns}$  μέτρησης πλαισίου A



Διάγραμμα 7.5 : Προσδιορισμός  $I_{sc}$   $2^{ns}$  μέτρησης για το πλαίσιο A



Διάγραμμα 7.6 : Προσδιορισμός  $V_{oc}$   $2^{ns}$  μέτρησης για το πλαίσιο A

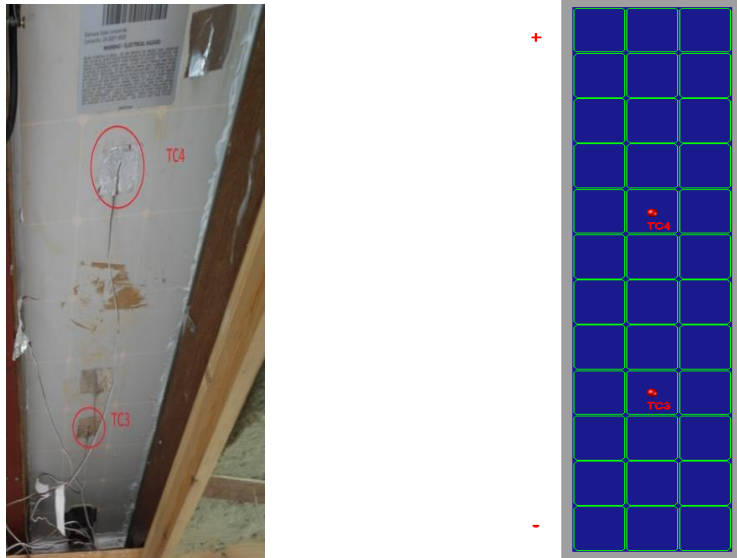
## ΠΛΑΙΣΙΟ B

Όνομα Θερμοζεύγους	Θέση cell στο πλαίσιο
TC3	B2_9
TC4	B2_5

Πίνακας 7.3 : Θέση θερμοζευγών στο πάνελ B

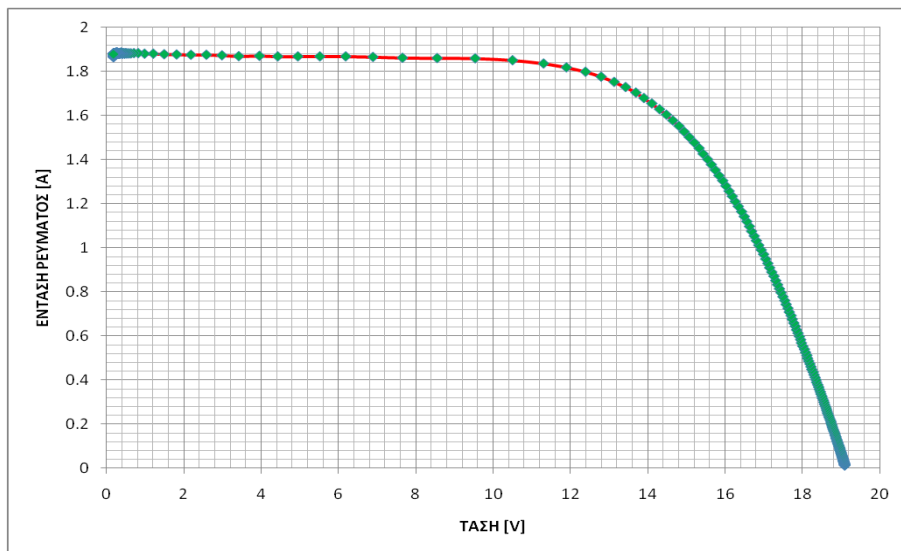
Για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε και στην περίπτωση του πλαισίου A, τα θερμοζεύγη τοποθετούνται στις παραπάνω θέσεις, ως οι βέλτιστες για την πειραματική διαδικασία έτσι ώστε να προσεγγίσουμε την μέση θερμοκρασία που βρίσκονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (cells) *Εικ. 7.11*.

Ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία με αυτή για το πλαίσιο A και για τις δύο περιπτώσεις. Ήτοι :

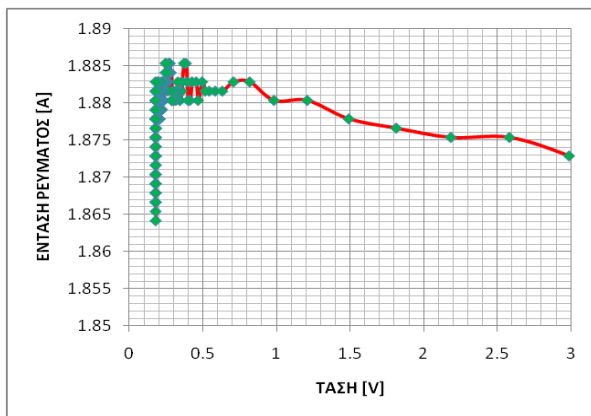


Εικόνα 7.11 : Θέσεις θερμοζευγών στο πλαίσιο Β

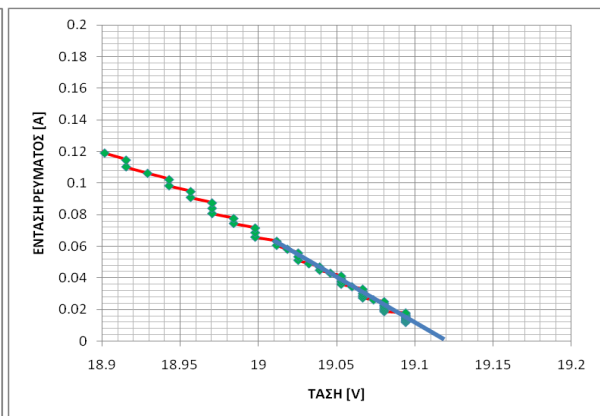
**ΜΕΤΡΗΣΗ 1 (Έναρξη → 13:03 Λήξη → 13:09)**



Διάγραμμα 7.7 : Χαρακτηριστική καμπύλη  $i-v$   $1^{η5}$  μέτρησης πλαισίου Β



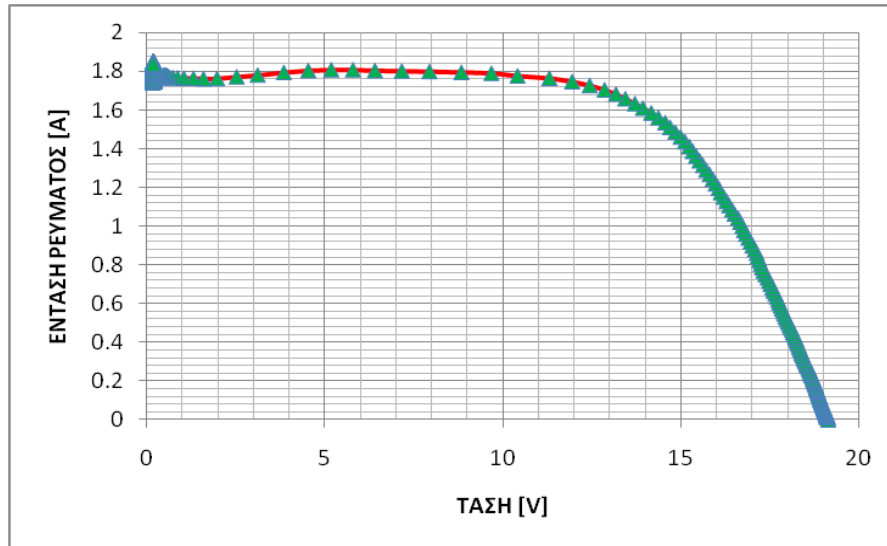
Διάγραμμα 7.8 : Προσδιορισμός  $I_{SC}$   $1^{η5}$  μέτρησης για το πλαίσιο Β



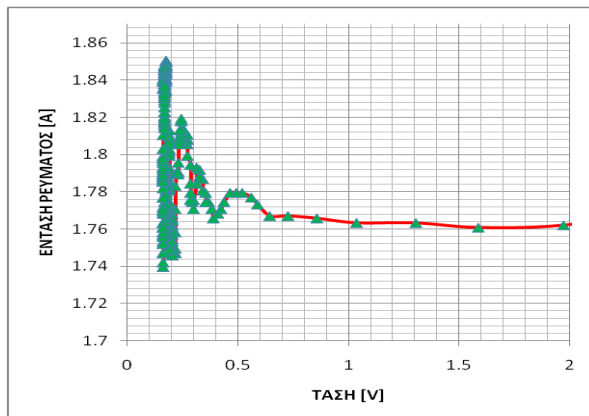
Διάγραμμα 7.9 : Προσδιορισμός  $V_{OC}$   $1^{η5}$  μέτρησης για το πλαίσιο Β

$\Delta I. 7.4.8 \rightarrow I_{SC(B1)} [1,880[A] \div 1,883 [A]] \rightarrow I_{SC(B1)} = 1,882[A]$   
 $\Delta I. 7.4.9 \rightarrow V_{OC(B1)} [19,10 \div 19,12] \rightarrow V_{OC(B1)} = 19,110 [V]$   
 $P_{m(B1)} = 23,337 [W]$

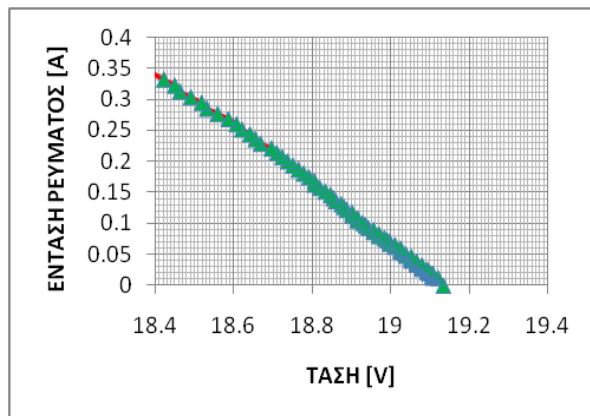
**ΜΕΤΡΗΣΗ Β (Έναρξη → 13:18 Λήξη → 13:24)**



**Διάγραμμα 7.10 : Χαρακτηριστική καμπύλη i-v 2<sup>ης</sup> μέτρησης πλαισιου Β**



**Διάγραμμα 7.11 : Προσδιορισμός I<sub>SC</sub> 2<sup>ης</sup> μέτρησης για το πλαίσιο Β**



**Διάγραμμα 7.12 : Προσδιορισμός V<sub>OC</sub> 2<sup>ης</sup> μέτρησης για το πλαίσιο Β**

$\Delta I. 7.4.11 \rightarrow I_{SC(B2)} [1,76[A] \div 1,78 [A]] \rightarrow I_{SC(B2)} = 1,77[A]$   
 $\Delta I. 7.4.12 \rightarrow V_{OC(B2)} [19,13 \div 19,14] \rightarrow V_{OC(B2)} = 19,135 [V]$   
 $P_{m(B2)} = 22,446 [W]$

Κατά το πείραμα, παράλληλα με τις τιμές τάσης και ρεύματος λαμβάναμε και τις τιμές των θερμοκρασιών που βρίσκονταν τα πλαίσια για την κάθε χρονική στιγμή. Έτσι υπάρχει πληθώρα τιμών για κάθε θερμοζεύγος. Στον Πίνακα 7.4 φαίνονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών για το κάθε πλαίσιο με την βοήθεια του Excel από την στιγμή που ξεκίνησε το πείραμα μέχρι την στιγμή που τελείωσε, με βάση αυτές υπολογίζουμε την μέση θερμοκρασία του κάθε πλαισίου κατά την κάθε μέτρηση. Επίσης στον Πίνακα 7.5 φαίνονται συγκεντρωμένες όλες οι χαρακτηριστικές

ηλεκτρικές τιμές ανάλογα με το πλαίσιο και την μέτρηση του που πήραμε από τον Data Logger.

ΠΛΑΙΣΙΟ A			ΠΛΑΙΣΙΟ B		
Θερμοζεύγος	1 <sup>η</sup> [°C]	2 <sup>η</sup> [°C]	Θερμοζεύγος	1 <sup>η</sup> [°C]	2 <sup>η</sup> [°C]
TC1	47,8112	48,3318	TC3	49,5210	48,2274
TC2	47,8082	48,4140	TC4	47,9624	47,2226
Μέση Θερμοκρασία	47,8097	48,3729	Μέση Θερμοκρασία	48,7462	47,7250

Πίνακας 7.4 : Τιμές θερμοκρασιών για το κάθε πλαίσιο ανάλογα με την μέτρηση

ΠΛΑΙΣΙΟ A			ΠΛΑΙΣΙΟ B		
Συντελεστής	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	Συντελεστής	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>
I <sub>sc</sub> [A]	1,906	1,879	I <sub>sc</sub> [A]	1,879	1,770
V <sub>oc</sub> [V]	19,160	19,060	V <sub>oc</sub> [V]	19,110	19,135
P <sub>m</sub> [W]	24,197	23,920	P <sub>m</sub> [W]	23,337	22,446

Πίνακας 7.5 : Χαρακτηριστικές τιμές για κάθε πλαίσιο ανάλογα με την μέτρηση

## 7.5 ΑΝΑΓΩΓΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ I-V ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ STC (ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ)

Μεγάλο ρόλο στον υπολογισμό των μεγεθών ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και στην αναγωγή τους σε συνθήκες STC παίζει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό. Στην περίπτωση του δικού μας πειράματος δεν χρειάζεται να διατρέξουμε σε κάποιο υπολογιστικό πρόγραμμα ή σε διεθνείς περιβαλλοντολογικές μετρήσεις από Μετεωρολογικούς σταθμούς κτλ για να υπολογίσουμε την ακτινοβολία αυτή, αφού ο ενεργειακός οικίσκος διαθέτει Πυρανόμετρο στην ίδια κλίση με αυτήν των φωτοβολταϊκών πλαισίων όπου καταγράφει την ολική ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη) ανά 30 δευτερόλεπτα μέσω του Data Logger που διαθέτει ο οικίσκος. Το πυρανόμετρο αυτό φαίνεται στην *Εικ. 7.12* και έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή.



Εικόνα 7.12 : Πυρανόμετρο οικίσκου δοκιμών στο επίπεδο της στέγης του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Οπότε για να ακολουθήσουμε την διαδικασία διεξαγωγής των χαρακτηριστικών μεγεθών σε συνθήκες STC θα πρέπει απλά να προμηθευτούμε από τον κεντρικό υπολογιστή του Εργαστηρίου το αρχείο αυτό όπου καταγράφονται οι τιμές της ακτινοβολίας για τις ώρες που εμείς κάναμε τα πειράματά μας. Μέρος του αρχείου αυτού βρίσκεται στο *Παράρτημα σελ 138*.

Στο Πίνακα 7.6 φαίνονται οι μέσες τιμές για την ολική ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με την κάθε μέτρηση με την βοήθεια του Excel.

ΠΛΑΙΣΙΟ	ΜΕΤΡΗΣΗ	ΕΝΑΡΞΗ [Ω:ΛΛ] ΤΩΧ	ΛΗΞΗ [Ω:ΛΛ] ΤΩΧ	ΜΕΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ $I_T$ [W/m <sup>2</sup> ]
A	1 <sup>η</sup>	12:55	13:01	656,07
B	1 <sup>η</sup>	13:03	13:09	655,21
A	2 <sup>η</sup>	13:11	13:17	647,42
B	2 <sup>η</sup>	13:18	13:24	628,63

Πίνακας 7.6 : Τιμές ακτινοβολίας στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών κατά την διεξαγωγή του πειράματος

Έχοντας πια γνωστά όλα τα μεγέθη για την αναγωγή των πλαισίων σε συνθήκες STC Πίν. 7.4, Πίν. 7.5, Πίν. 7.6 κάνουμε αντικατάσταση στις εξισώσεις (7.1), (7.2), (7.3)

$$I_{SC,STC} = \frac{I_{SC}}{[(1+\alpha \cdot (T_C - 25)) \cdot (I_T \cdot 10^{-3})]} \quad (7.1)$$

$$V_{OC,STC} = \frac{V_{OC}}{1+(\beta \cdot (T_C - 25))} \quad (7.2)$$

$$P_{m,STC} = \frac{P_m}{[(1+\gamma \cdot (T_C - 25)) \cdot (I_T \cdot 10^{-3})]} \quad (7.3)$$

Οι παραπάνω σχέσεις αποδεικνύονται στο επιστημονικό άρθρο [18].

Όπου :

$\alpha_{PV}$  Είναι ο συντελεστής μεταβολής θερμοκρασίας για το ρεύμα και δίνεται από τον κατασκευαστή των πλαισίων *Εικ. 7.4*



$\beta_{pv}$  Είναι ο συντελεστής μεταβολής θερμοκρασίας για την τάση και δίνεται από τον κατασκευαστή των πλαισίων *Εικ. 7.4*

$\gamma_{pv}$  Είναι ο συντελεστής μεταβολής θερμοκρασίας για την Ισχύ και δίνεται από τον κατασκευαστή των πλαισίων. Όμως στην περίπτωση των Siemens SM55 δεν αναγράφεται αυτός ο συντελεστής, για τον λόγο αυτό ο συντελεστής  $\gamma$  θα ληφθεί εμπειρικά από την εργασία της Δρ. Ε. Καπλάνη που έχει εργαστεί με τέτοιου είδους φωτοβολταϊκά πλαίσια.

$I_T$  Η προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά πλαίσια εκείνη την χρονική στιγμή *Πίν. 7.6*.

$T_c$  Η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών πάνελ εκείνη την χρονική στιγμή *Πίν. 7.4*.

Οι όροι  $I_{SC}$ ,  $V_{OC}$ ,  $P_m$  έχουν αναλυθεί και παραπάνω και οι τιμές τους λαμβάνονται από τον *Πίν. 7.5*.

Ο συντελεστής  $\gamma$  λαμβάνεται ως  $\gamma_{pv} = -0,0045 \left[\frac{1}{^\circ C}\right]$

$$\beta_{pv} = \frac{-0,077 \left[\frac{V}{^\circ C}\right]}{V_{OC}} = \frac{-0,077 \left[\frac{V}{^\circ C}\right]}{21,7[V]} \rightarrow \beta_{pv} = -0,0035484 \left[\frac{1}{^\circ C}\right]$$

$$\alpha_{pv} = \frac{2 \left[\frac{mA}{^\circ C}\right]}{I_{SC}} = \frac{0,0012 \left[\frac{A}{^\circ C}\right]}{3,45[A]} \rightarrow \alpha_{pv} = 0,0003478 \left[\frac{1}{^\circ C}\right]$$

## ΠΛΑΙΣΙΟ Α

### 1<sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ

$$(7.1) \rightarrow I_{SC,STC} = \frac{1,906 [A]}{\left[\left(1+0,0003478 \left[\frac{1}{^\circ C}\right] \cdot (47,8097 [^\circ C] - 25 [^\circ C])\right)\right] \cdot (656,07 \left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot 10^{-3} \left[\frac{W}{m^2}\right])} \rightarrow I_{SC,STC} = 2,882 [A]$$

$$(7.2) \rightarrow V_{oc, STC} = \frac{19,160 [V]}{1 + (-0,0035484 \left[\frac{1}{^\circ C}\right] \cdot (47,8097 [^\circ C] - 25 [^\circ C]))} \rightarrow V_{oc, STC} = 20,847 [V]$$

$$(7.3) \rightarrow P_{m,STC} = \frac{24,197 [W]}{\left[\left(1-0,0045 \left[\frac{1}{^\circ C}\right] \cdot (47,8097 [^\circ C] - 25 [^\circ C])\right)\right] \cdot (656,07 \left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot 10^{-3} \left[\frac{W}{m^2}\right])} \rightarrow P_{m,STC} = 41,100 [W]$$

### 2<sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ

$$(7.1) \rightarrow I_{SC,STC} = \frac{1,879 [A]}{\left[\left(1+0,0003478 \left[\frac{1}{^\circ C}\right] \cdot (48,3729 [^\circ C] - 25 [^\circ C])\right)\right] \cdot (647,42 \left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot 10^{-3} \left[\frac{W}{m^2}\right])} \rightarrow I_{SC,STC} = 2,879 [A]$$

$$(7.2) \rightarrow V_{oc, STC} = \frac{19,060 [V]}{1 + (-0,0035484 \left[\frac{1}{^\circ C}\right] \cdot (48,3729 [^\circ C] - 25 [^\circ C]))} \rightarrow V_{oc, STC} = 20,784 [V]$$

$$(7.3) \rightarrow P_{m,STC} = \frac{23,920 [W]}{\left[ \left( 1 - 0,0045 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (48,3729 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]) \right) \cdot (647,42 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \cdot 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^2} \right]) \right]}$$

$$\rightarrow P_{m,STC} = 41,289 [W]$$

## ΠΛΑΙΣΙΟ Β

### 1<sup>η</sup> ΜΕΤΡΗΣΗ

$$(7.1) \rightarrow I_{SC,STC} = \frac{1,882 [A]}{\left[ \left( 1 + 0,0003478 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (48,7462 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]) \right) \cdot (655,21 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \cdot 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^2} \right]) \right]}$$

$$I_{SC,STC} = 2,849 [A]$$

$$(7.2) \rightarrow V_{oc,STC} = \frac{19,110 [V]}{1 + (-0,0035484 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (48,7462 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]))} \rightarrow V_{oc,STC} = 20,868 [V]$$

$$(7.3) \rightarrow P_{m,STC} = \frac{23,337 [W]}{\left[ \left( 1 - 0,0045 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (48,7462 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]) \right) \cdot (655,21 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \cdot 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^2} \right]) \right]}$$

$$P_{m,STC} = 39,879 [W]$$

### Β ΜΕΤΡΗΣΗ

$$(7.1) \rightarrow I_{SC,STC} = \frac{1,770 [A]}{\left[ \left( 1 + 0,0003478 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (47,725 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]) \right) \cdot (628,63 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \cdot 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^2} \right]) \right]}$$

$$I_{SC,STC} = 2,794 [A]$$

$$(7.2) \rightarrow V_{oc,STC} = \frac{19,135 [V]}{1 + (-0,0035484 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (47,725 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]))} \rightarrow V_{oc,STC} = 20,813 [V]$$

$$(7.3) \rightarrow P_{m,STC} = \frac{22,446 [W]}{\left[ \left( 1 - 0,0045 \left[ \frac{1}{^{\circ}C} \right] \cdot (47,725 [^{\circ}C] - 25 [^{\circ}C]) \right) \cdot (628,63 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \cdot 10^{-3} \left[ \frac{W}{m^2} \right]) \right]}$$

$$P_{m,STC} = 39,774 [W]$$

Συνοψίζοντας :

	ΠΛΑΙΣΙΟ Α			ΠΛΑΙΣΙΟ Β		
	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	Μέση τιμή	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	Μέση τιμή
$I_{SC,STC} [A]$	2,882	2,879	<b>2,88</b>	2,849	2,794	<b>2,82</b>
$V_{oc,STC} [V]$	20,847	20,784	<b>20,82</b>	20,868	20,813	<b>20,84</b>
$P_{m,STC} [W]$	41,1	41,289	<b>41,19</b>	39,879	39,774	<b>39,83</b>

Πίνακας 7.7 : Τελικές τιμές ηλεκτρικών μεγεθών για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εκ πρώτης όψεως βλέπουμε πως η ισχύς αιχμής των πλαισίων έχει μειωθεί σε έναν βαθμό της τάξεως ποσοστού **25,1%** για το **Πλαίσιο Α** και **27,6%** για το **Πλαίσιο Β**. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην γήρανση που έχουν υποστεί κατά το πέρας του χρόνου. Η γήρανση εξαρτάται από τον βαθμό σκίασης που όπως είδαμε από τον πολικό χάρτη σκιάζονται αρκετές στιγμές, την θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτά και άλλους παράγοντες.

## 8. ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΟΙΚΙΣΚΟ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ

### 8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα προσδιορίσουμε την ελάχιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του ενεργειακού οικίσκου προς εκμετάλλευση. Η ελάχιστη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προφανώς θα δίνεται τον μήνα εκείνο που παρουσιάζεται η μικρότερη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των πλαισίων. Ο μήνας αυτός είναι ο Δεκέμβριος στον οποίο έχουμε υπολογίσει βάση της <<κατασκευασμένης>> από εμάς αντιπροσωπευτικής ημέρας την μέση ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Η αντιπροσωπευτική αυτή ημέρα όπως έχει αναλυθεί και σε προηγούμενο Κεφάλαιο, περιλαμβάνει τις μέσες τιμές της ακτινοβολίας (ολικής, άμεσης, διάχυτης) ανά λεπτό για τα τελευταία τέσσερα χρόνια στην περιοχή του οικίσκου, καθώς και την μελέτη σκίασης που έχει προηγηθεί από τα φυσικά εμπόδια του περιβάλλοντα χώρου. Οι τιμές αυτές είναι αξιόπιστες εφόσον προέρχονται από τον αναγνωρισμένο διεθνώς μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου των ΑΠΕ (ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας). Στο *Κεφάλαιο 7* επίσης αναλύσαμε την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα εγκατεστημένα επί χρόνια φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ σε διεθνείς συνθήκες (STC). Επομένως εφόσον έχουμε την ενέργεια που προσπίπτει σε αυτά και την ονομαστική τους ισχύ κατά το πέρασ του χρόνου, μπορούμε να υπολογίσουμε και την παραγόμενη ενέργεια κατά το διάστημα μιας ημέρας (αντιπροσωπευτικής).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ισχύ, είναι η τιμή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ταχύτητας του ανέμου στην επιφάνεια τους. Συγκεκριμένα έχει αποδειχτεί πως με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται σημαντικά η ισχύς του φωτοβολταϊκού καθώς μειώνεται σημαντικά το ρεύμα παραγωγής από αυτό ειδικά όταν δεν ψύχεται σωστά από τον άνεμο όπως στην περίπτωση του ενεργειακού οικίσκου που η πίσω πλευρά είναι ενσωματωμένη στην στέγη.

Όλα τα παραπάνω είναι άξια μελέτης και αναλύονται εντός του Κεφαλαίου, για να μπορεί στο μέλλον να γίνει μια αξιόπιστη διαστασιολόγηση σχετικά με τα φορτία που μπορεί να καλύψει ο οικίσκος από τις τεχνολογίες ΑΠΕ που παρέχει. Για λόγους όμως μεγάλου όγκου της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα υπολογίσουμε μόνο την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για να είναι χρήσιμο σε μελλοντική μελέτη.

## 8.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥ

Είναι προφανές όπως έχουμε αναφέρει πως η θερμοκρασία έχει μεγάλη επίδραση στην παραγόμενη ισχύ των φωτοβολταϊκών. Για παράδειγμα ένα πλαίσιο μπορεί να αναφέρει ονομαστική ισχύ πχ 100 [Wp], όμως στην πραγματικότητα είναι σπάνιο να πάρουμε αυτήν την ισχύ.

Αυτό συμβαίνει λόγω των περιβαλλοντολογικών συνθηκών που επικρατούν και επηρεάζουν το φωτοβολταϊκό, οι οποίες συνεχώς μεταβάλλονται. Η ονομαστική ισχύς πράγματι είναι ίση με την αναγραφόμενη όμως υπό προϋποθέσεις όπου τις ορίζει ο κατασκευαστής ύστερα από συνεχή πειράματα και μελέτη στην συμπεριφορά του προϊόντος. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι συνήθως ίδιες για τα περισσότερα φωτοβολταϊκά και ονομάζονται **STC** (standard test condition). Συγκεκριμένα οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να πληρούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Φασματική κατανομή προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Αέρια Μάζα) **A.M=1,5**
- Ένταση ολικής ηλιακής ακτινοβολίας **1000 [ $\frac{W}{m^2}$ ]**
- Θερμοκρασία πλαισίου **25 [°C]**

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλαισίου όμως δεν παραμένει 25 [°C] δηλαδή σε συνθήκες (STC). Η πραγματική (κανονική) θερμοκρασία υπολογίζεται προσεγγιστικά με την παρακάτω μέθοδο **NOCT Έξ. (8.1)**. Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο εύρεσης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου θεωρούμε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος :

- Ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του πλαισίου **800 [ $\frac{W}{m^2}$ ]**
- Ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από **1 [m/s]**
- Φασματική κατανομή προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Αέρια Μάζα) **AM=1.5**
- Θερμοκρασία πλαισίου **20 [°C]**

$$\frac{T_c - T_a}{NOCT - 20[^\circ C]} = \frac{I_T}{800[\frac{W}{m^2}]} \quad (8.1)$$

Όπου :

**NOCT** δίνεται από τον κατασκευαστή *Εικ. 7.2.4* **NOCT = 45 ± 2 [°C]**

**T<sub>c</sub>** είναι η θερμοκρασία του πλαισίου για πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

**T<sub>a</sub>** είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος στις πραγματικές συνθήκες. Στην δική μας περίπτωση για θερμοκρασία περιβάλλοντος θα λάβουμε την τιμή εκείνη βάσει της αντιπροσωπευτικής ημέρας γύρω από το ηλιακό μεσημέρι όπου παράγεται και η μέγιστη ισχύς δηλαδή μεταξύ 10:00 και 14:00 (ΑΗΧ). Ήτοι με την βοήθεια του Excel που έχουμε κατασκευάσει η τιμή αυτή προκύπτει **T<sub>a</sub> = 14,39 [°C]**

**I<sub>T</sub>** είναι η μέση ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού για πραγματικές συνθήκες επίσης γύρω από το ηλιακό μεσημέρι για τους ίδιους λόγους (10:00 και 14:00 (ΑΗΧ)). Όπως προκύπτει από το Excel **I<sub>T</sub> = 373,43 [ $\frac{W}{m^2}$ ]**

Λύνοντας την Έξ. (8.1) ως προς T<sub>c</sub> προκύπτει :

$$T_c = \frac{I_T \cdot (NOCT - 20) + 800 \cdot T_a}{800} = \frac{373,43[\frac{W}{m^2}] \cdot (45[^\circ C] - 20[^\circ C]) + 800 \cdot 14,39[^\circ C]}{800} \rightarrow$$

**T<sub>c</sub> = 26,06 [°C]**

Βάσει των συμπερασμάτων που αποδεικνύονται στο βιβλίο [5] σελ 191, η επίδραση της θερμοκρασίας επηρεάζει την ισχύ αιχμής του φωτοβολταϊκού πλαισίου κατά 0,4% ανά θερμοκρασιακό βαθμό [°C] σε σχέση με τις τυπικές συνθήκες δοκιμών (STC), δηλαδή τους 25 [°C] που έχουν οριστεί για τα φωτοβολταϊκά Έξ. (8.2).

$$\delta P_m = - \left( \frac{0,4 \left[ \frac{1}{^\circ\text{C}} \right]}{100} \right) \cdot \Delta T \cdot P_m \quad (8.2)$$

Όπου :

$\delta P_m$  Η μεταβολή της ισχύος αιχμής του φωτοβολταϊκού λόγω θερμοκρασίας.

$\Delta T$  Η διαφορά θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού σε σχέση με τις πρότυπες συνθήκες.

$P_m$  Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού σε συνθήκες STC

Τα φωτοβολταϊκά μας πλαίσια μετά την αναγωγή τους σε πρότυπες συνθήκες STC που πραγματοποιήθηκε για λόγους γήρανσης, έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

#### ΠΛΑΙΣΙΟ Α

$$\begin{aligned} I_{SCA} &= 2,88 \text{ [A]} \\ V_{OCA} &= 20,82 \text{ [V]} \\ P_{mA} &= 41,19 \text{ [W]} \end{aligned}$$

#### ΠΛΑΙΣΙΟ Β

$$\begin{aligned} I_{SCB} &= 2,82 \text{ [A]} \\ V_{OCB} &= 20,84 \text{ [V]} \\ P_{mB} &= 39,83 \text{ [W]} \end{aligned}$$

Επομένως, με εφαρμογή της εξίσωσης (8.2) προκύπτει για το καθένα :

$$\delta P_{mA} = - \left( \frac{0,4 \left[ \frac{1}{^\circ\text{C}} \right]}{100} \right) \cdot (26,06[^\circ\text{C}]-25[^\circ\text{C}]) \cdot 41,19[\text{W}] \rightarrow \delta P_{mA} = - 0,175 \text{ [W]}$$

$$\delta P_{mB} = - \left( \frac{0,4 \left[ \frac{1}{^\circ\text{C}} \right]}{100} \right) \cdot (26,06[^\circ\text{C}]-25[^\circ\text{C}]) \cdot 39,83[\text{W}] \rightarrow \delta P_{mB} = - 0,169 \text{ [W]}$$

Άρα τελικά η ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου θα είναι :

$$\text{ΠΛΑΙΣΙΟ Α} \rightarrow P_{mA} = P_{mA} - \delta P_{mA} = 41,19[\text{W}] - 0,175[\text{W}] \rightarrow P_{mA} = 41,015[\text{W}]$$

$$\text{ΠΛΑΙΣΙΟ Β} \rightarrow P_{mB} = P_{mB} - \delta P_{mB} = 39,83[\text{W}] - 0,169[\text{W}] \rightarrow P_{mB} = 39,661[\text{W}]$$

Και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιχμής στον οικίσκο :  $P_{m\Delta} = P_{mA} + P_{mB} \Leftrightarrow$

$$P_{m\Delta} = 41,015[\text{W}] + 39,661[\text{W}] \rightarrow P_{m\Delta} = 80,676 \text{ [W]}$$

### 8.3 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Στο Κεφάλαιο 6 υπολογίστηκε ο συντελεστής **PSH** για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου, ο οποίος αντιπροσωπεύει τις ώρες που πέφτει στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών ηλιακή ακτινοβολία  $1000 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$  (δηλαδή σε συνθήκες STC) ώστε να έχει το ίδιο αποτέλεσμα με την ολική ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια αυτή κατά την διάρκεια όλης της ημέρας (ανάλυση έχει γίνει στην Ενότητα 6.5).

Ο συντελεστής αυτός έχει εκτιμηθεί ως  $PSH = 2,105 [h]$  και με αυτά τα δεδομένα υπολογίζεται η συνολική παραγόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια  $E_{\Phi\Delta}$  από τον οικίσκο, εφόσον έχουμε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ για τον Δεκέμβριο  $P_{m\Delta}$  και τις ώρες ακτινοβολίας στις συνθήκες που έχει οριστεί η ισχύς αυτή  $PSH$  Εξ. (8.3.1).

$$E_{\Phi\Delta} = PSH \cdot P_{m\Delta} \quad (8.3)$$

Αντικαθιστώντας στην (8.3) :

$$E_{\Phi\Delta} = 2,105 [h] \cdot 80,676[W] \rightarrow E_{\Phi\Delta} = 169,823 [Wh]$$

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η διαθέσιμη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια του οικίσκου είναι **169,823 [Wh]**.

Η ενέργεια αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει φορτία του οικίσκου, όπως τον φωτισμό, την λειτουργία των κυκλοφορητών για τα υδραυλικά του συστήματα, την φόρτιση της μπαταρίας του Data Logger και την λειτουργία του ροόμετρου. Για να είναι δυνατή η ημερήσια τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας των συσκευών αυτών, θα πρέπει ο οικίσκος να γίνει ηλεκτρικά αυτόνομος τοποθετώντας συσσωρευτή για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, αντιστροφή μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο και ρυθμιστή φόρτισης. Η μελέτη αυτή όμως ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

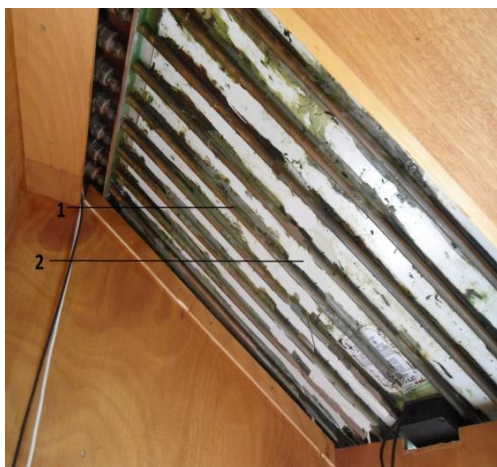
## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Παρουσιάστηκαν χαρακτηριστικά στοιχεία σχεδίασης και λειτουργίας ενός προτύπου ενεργειακού οικίσκου και μάλιστα μηδενικής ενέργειας σύμφωνα με το ερευνητικό πρόγραμμα Αρχιμήδη Ι [19]. Στο σχέδιο αυτό κατά την Πτυχιακή Εργασία παρουσιάζονται ενδεικτικές βελτιωτικές επεμβάσεις στην λειτουργία ώστε να είναι δυνατόν να υπολογίζεται η ενεργειακή απόδοση των διαφόρων μερών του ενεργειακού οικίσκου, δηλαδή των διαφόρων συνιστωσών που τον αποτελούν.

Αναλύεται η ενεργειακή απόδοση της ιδιοκατασκευής επίπεδου ηλιακού συλλέκτη που αποτελεί μέρος της κεκλιμένης στέγης, καθώς επίσης και η απόδοση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας η οποία αποτελεί και αυτή μέρος της. Η καινοτομία στην περίπτωση αυτή είναι ότι ο ηλιακός συλλέκτης και η φωτοβολταϊκή γεννήτρια δεν επικάθονται επί της στέγης όπως συμβαίνει στην συντριπτική πλειοψηφία των εγκαταστάσεων ΑΠΕ, αλλά αποτελούν μέρος του κελύφους του κτηρίου.

Ειδικότερα στην Πτυχιακή αυτή διαπιστώθηκε ότι η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη της στέγης είναι μεγαλύτερη της απόδοσης συλλεκτών στις συνήθεις εγκαταστάσεις. Τούτο κυρίως οφείλεται στο ότι οι θερμικές απώλειες είναι λιγότερες λόγω σχεδιασμού. Αντίθετα στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών εμφανίζεται μια μεγαλύτερη μείωση στην ενεργειακή απόδοση και τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτηρίου είναι μεγαλύτερη από ότι στο περιβάλλον και επιτυγχάνονται φαινόμενα πρόωρης γήρανσης. Για τον λόγο αυτό τα συστήματα αυτά δεν θα πρέπει να είναι καθαρά φωτοβολταϊκά αλλά του τύπου PVT (PV Thermal) όπως συναντάται στον δεύτερο ενεργειακό οικίσκο του Εργαστηρίου ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας *Εικ. 72*.

Στο τελευταίο σκέλος της παρούσας Πτυχιακής, υπολογίζεται και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για μια αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου προκειμένου μελλοντικά να γίνει μια πλήρης διαστασιολόγηση. Τέλος σύμφωνα με όλα τα παραπάνω που ειπώθηκαν διαπιστώθηκε η πλήρης ενεργειακή αυτονομία του οικίσκου.



1 Ψυκτικοί σωλήνες

2 Πίσω μέρος φωτοβολταϊκού

**Εικόνα 72 :** Τεχνολογία PVT στον δεύτερο ενεργειακό οικίσκο του Εργ. ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Πρόγραμμα σε Fortran υπολογισμού γωνίας τριγώνου, μέσω του νόμου συνημιτόνων.

```
program n_cos
implicit none
real::g1,g2,g3,gwnia
integer::el
2 print*,"dwse thn aristerh pleura"
read*,g1
print*,"dwse thn apenanti pleura"
read*,g2
print*,"dwse thn de3ia pleura"
read*,g3
gwnia=(g2**2)-(g1**2)-(g3**2)
gwnia=gwnia/(-2*g3*g1)
gwnia=acos(gwnia)
print*,"h gwnia einai",(gwnia*180)/3.14, "moires"
print*,"gia na termathsei o programa pata 0 allios allon arithmo"
read*,el
if(el==0)then
go to 1
else
goto 2
end if
1 end program n_cos
```

### Πρόγραμμα σε Fortran 95 υπολογισμού αζιμούθιας και ζενίθιας γωνίας του ηλίου από την ανατολή μέχρι και την δύση ανά ώρα για κάθε ημερομηνία.

```
program gwnies_polikou_diagramatos
implicit none
integer::hmera,minas,n,i,j,ter
real::f,d,ws,wsad,wsah,wsam,wsdh,wsdm,m,mi,thz,a,gs,thza,gsa,w
print*,"plhktrologhste to gewgrafiko platos ths perioxhs"
read*,f
print*,"plhktrologhste thn hmera tou mina"
read*,hmera
print*,"plhktrologhste ton mina"
read*,minas
if(minas==1)then
n=hmera
else if(minas==2)then
n=31+hmera
else if(minas==3)then
n=59+hmera
else if(minas==4)then
n=90+hmera
else if(minas==5)then
n=120+hmera!20
else if(minas==6)then
n=151+hmera
else if(minas==7)then
n=181+hmera
else if(minas==8)then
n=212+hmera
else if(minas==10)then
n=273+hmera !30
else if(minas==11)then
n=304+hmera
else if(minas==12)then
n=334+hmera
end if
print*," "
print*,"n=",n
d=284+n
d=d/365
d=d*360
d=(d*3.14)/180
d=sin(d)
d=d*(23.45)
write(*,2)"hliakh apoklish d=",d
d=(d*3.14)/180
ws=tan(d)
f=(f*3.14)/180
f=-1.*tan(f)
ws=ws*f
ws=acos(ws)
write(*,2)"ws=", (ws*180)/3.14
wsad=((ws*180)/3.14)/15
print*,"wsad",wsad," [h] prin kai meta to H.M"
print*,"parakalw grayte to dekadiko meros tou arithmou", wsad
```

```

else if(minas==9)then
n=243+hmera

write(*,3)wsad-m," [h] kai ",mi," [min] prin kai meta to hliako mesimeri"
wsah=11-(wsad-m)
wsam=60-mi
write(*,4)"anatolh stis:",wsah,"[h] kai ",wsam,"[min]"
wsdh=12+(wsad-m)
wsdm=mi
write(*,4)"dush stis:",wsdh,"[h] kai ",wsdm,"[min]"
print*," "
if(n>90.and.n<304) then
  print*,"metrame tis gwnies gs de3ia kai aristera apo"
  print*,"ton bora konta sthn anatolh kai sthn dush"
  print*,"guro apo to hliako mesimeri metramr apo ton noto"
else
  print*,"metrame tis gwnies gs de3ia kai aristera apo ton noto"
end if
print*,""
print*,""
write(*,4)"anatolh hliou", wsah,"[h] kai" ,wsam,"[min]"
print*,""
f=atan(f)*(-1)
thza=cos(f)*cos(d)*cos(ws)
thza=thza+(sin(f)*sin(d))
thza=acos(thza)
a=90-((thza*180)/3.14)
write(*,2)"ypsos hliou",a
Write(*,2)"thz=",90-a
gsa=(cos(d)*sin(ws))/cos(a)
gsa=asin(gsa)
write(*,6)"h azimouthia gwnia:gsa=",-(gsa*180)/3.14
print*," "
print*,""
write(*,6)" ",wsah+1,":00"
print*,""
w=-((ws*180)/3.14)+((wsdm/60)*15)
w=(3.14*w)/180
thz=cos(f)*cos(d)*cos(w)
thz=thz+(sin(f)*sin(d))
thz=acos(thz)
a=90-((thz*180)/3.14)
write(*,2)"ypsos hliou a=",a
Write(*,2)"thz=",90-a
a=(a*3.14)/180
gs=(cos(d)*sin(w))/cos(a)
gs=asin(gs)
write(*,6)"h azimouthia gwnia:gsa=",(gs*180)/3.14," moires"
w=(w*180)/3.14
j=2
do i=1,20
  print*,""
  write(*,6)" ",wsah+j,":00"
  print*,""
  j=j+1
  w=w+15.
  w=(3.14*w)/180
  thz=cos(f)*cos(d)*cos(w)
  thz=thz+(sin(f)*sin(d))
  thz=acos(thz)
  a=90-((thz*180)/3.14)
  if (a<0)then
    goto 5
  end if
  write(*,2)"ypsos hliou a=",a
  read*,m
  mi=60*m
  Write(*,2)"thz=",90-a
  a=(a*3.14)/180
  gs=(cos(d)*sin(w))/cos(a)
  gs=asin(gs)
  write(*,6)"h azimouthia gwnia:gsa=",(gs*180)/3.14," moires"
  w=(w*180)/3.14
end do
5 print*,""
print*,""
write(*,4)"dush stis:",wsdh,"[h] kai ",wsdm,"[min]"
print*," "
thza=cos(f)*cos(d)*cos(ws)
thza=thza+(sin(f)*sin(d))
thza=acos(thza)
a=90-((thza*180)/3.14)
write(*,2)"ypsos hliou a=",a
Write(*,2)"thz=",90-a
gsa=(cos(d)*sin(ws))/cos(a)
gsa=asin(gsa)
write(*,7)"h azimouthia gwnia:gsd=",(gsa*180)/3.14
print*," "
2 format(A20,f18.1)
3 format(F10.0,A15,F10.0,A30)
4 format(A20,F5.0,A10,F5.0,A10)
6 format(A26,F10.2,A9)
7 format(A30,F5.2)
print*,""
print*,""
print*,""
print*," Poulimenos spyridwn AM:6242"
print*,"anamonh"
print*,""
print*,"pathste 0 gia termatismo"
read*,ter
if (ter==0) then
  stop
end if
end program gwnies_polikou_diagramatos

```

Μέρος μετρήσεων (T<sub>σ</sub>, T<sub>τζ</sub>, T<sub>εις</sub>, T<sub>εξ</sub>) πειραματικής διαδικασίας για τον συλλέκτη της στέγης στις 8/7/2015 γύρο από τις ώρες που υπολογίζεται η απόδοση.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Ετος	Ημέρα	Ωρα				Tτζ-->102	Tεξ-->102	Tσ-->102	Tεισ --> 105	It-->102
2	105	2015	189	1	40.51	13.33	29.29	37.24	28.37	34.39	29.44
3	102	2015	189	1	13.33	39	26.17	40.76	33.7	48.72	-6.25
4	105	2015	189	1	40.51	13.33	29.34	37.22	28.37	34.41	29.36
5	102	2015	189	1	13.33	39	26.12	40.66	33.67	48.68	-6.311
6	105	2015	189	2	40.51	13.33	29.32	37.24	28.32	34.39	29.39
7	102	2015	189	2	13.33	39	26.22	40.74	33.72	48.78	-6.189
8	105	2015	189	2	40.51	13.33	29.32	37.24	28.37	34.37	29.41
9	102	2015	189	2	13.33	39	26.27	40.74	33.72	48.78	-6.25
10	105	2015	189	3	40.51	13.34	29.39	37.24	28.42	34.39	29.37
11	102	2015	189	3	13.34	39	26.25	40.67	33.7	48.65	-6.371
12	105	2015	189	3	40.47	13.34	29.34	37.19	28.3	34.35	29.32
13	102	2015	189	3	13.34	39	26.27	40.64	33.65	48.62	-6.25
14	105	2015	189	4	40.47	13.34	29.3	37.19	28.32	34.33	29.42
15	102	2015	189	4	13.34	39	26.3	40.72	33.6	48.62	-6.068
16	105	2015	189	4	40.47	13.35	29.27	37.19	28.3	34.35	29.34
17	102	2015	189	4	13.35	39	26.37	40.7	33.67	48.68	-5.947
18	105	2015	189	5	40.47	13.34	29.34	37.19	28.3	34.35	29.39
19	102	2015	189	5	13.34	39	26.32	40.64	33.63	48.54	-6.007
20	105	2015	189	5	40.42	13.34	29.3	37.15	28.28	34.3	29.32
21	102	2015	189	5	13.34	39	26.32	40.67	33.63	48.61	-5.583

3070	2015	189	1248	41.61	13.34	72.5	35.76	71.7	51.81	72.3
3071	2015	189	1248	13.34	39	49.06	61.75	68.44	48.22	937
3072	2015	189	1248	41.61	13.35	72.5	35.67	71.7	51.83	72.4
3073	2015	189	1248	13.35	39	48.85	61.88	68.51	47.67	938
3074	2015	189	1249	41.65	13.34	72.7	35.64	71.8	51.93	72.6
3075	2015	189	1249	13.34	39	48.38	61.94	68.6	47.38	939
3076	2015	189	1249	41.65	13.34	72.8	35.58	71.8	51.97	72.6
3077	2015	189	1249	13.34	39	48.52	62.02	68.6	46.07	939
3078	2015	189	1250	41.7	13.35	72.9	35.59	71.9	52.03	72.6
3079	2015	189	1250	13.35	39	48.24	62.08	68.66	44.02	939
3080	2015	189	1250	41.7	13.34	72.7	35.55	71.8	52.09	72.5
3081	2015	189	1250	13.34	39	48.43	62.14	68.8	42.5	941
3082	2015	189	1251	41.7	13.34	72.9	35.51	71.9	52.13	72.5
3083	2015	189	1251	13.34	39	48.83	62.14	68.8	41.44	938
3084	2015	189	1251	41.75	13.34	73.1	35.56	72	52.23	72.7
3085	2015	189	1251	13.34	39	49.55	62.2	68.86	40.46	942
3086	2015	189	1252	41.75	13.34	73.3	35.56	72.3	52.23	72.9
3087	2015	189	1252	13.34	39	49.27	62.22	68.86	39.47	944
3088	2015	189	1252	41.79	13.34	73.5	35.59	72.4	52.33	73.2
3089	2015	189	1252	13.34	39	49.57	62.34	68.84	38.77	943

3222	2015	189	1326	43.12	13.32	73.7	37.17	72.9	48.61	73.1
3223	2015	189	1326	13.32	39	49.25	61.37	68.24	38.51	957
3224	2015	189	1326	43.12	13.31	74	37.15	73.1	48.63	73.5
3225	2015	189	1326	13.31	39	49.25	61.33	68.26	38.67	962
3226	2015	189	1327	43.17	13.32	74.3	37.22	73.4	48.68	73.7
3227	2015	189	1327	13.32	39	49.74	61.41	68.26	38.82	966
3228	2015	189	1327	43.17	13.32	74.5	37.22	73.6	48.68	73.8
3229	2015	189	1327	13.32	39	49.69	61.26	68.21	38.76	969
3230	2015	189	1328	43.22	13.32	74.7	37.27	73.9	48.75	74.1
3231	2015	189	1328	13.32	39	50.07	61.42	68.28	38.94	961
3232	2015	189	1328	43.22	13.33	74.7	37.27	74	48.75	74.1
3233	2015	189	1328	13.33	39	49.97	61.35	68.24	38.91	981

3290	2015	189	1343	43.81	13.31	74.3	37.88	73.4	49.79	72.8
3291	2015	189	1343	13.31	39	48.83	61.39	68.62	41.42	974
3292	2015	189	1343	43.86	13.31	74.3	37.95	73.4	49.91	72.7
3293	2015	189	1343	13.31	39	49.11	61.51	68.71	41.62	973
3294	2015	189	1344	43.86	13.31	74.4	37.95	73.4	49.99	72.6
3295	2015	189	1344	13.31	39	48.67	61.51	68.76	41.68	976
3296	2015	189	1344	43.91	13.31	74.4	38	73.3	50.08	72.5
3297	2015	189	1344	13.31	39	48.81	61.69	68.85	41.8	977
3298	2015	189	1345	43.91	13.31	74.2	38	73.1	50.15	72.3
3299	2015	189	1345	13.31	39	48.6	61.73	68.85	41.86	974
3300	2015	189	1345	43.91	13.31	74.1	38.02	73	50.19	72
3301	2015	189	1345	13.31	39	48.67	61.73	68.83	41.84	966
3302	2015	189	1346	43.96	13.3	74.1	38.05	72.8	50.32	71.9
3303	2015	189	1346	13.3	39	48.65	61.82	68.85	42.02	964

3375	2015	189	1404	13.3	39	49.02	63.68	70.9	45.05	648.9
3376	2015	189	1404	44.67	13.3	74.4	38.92	72.4	52.64	71.1
3377	2015	189	1404	13.3	39	47.39	63.75	69.79	45.16	453.2
3378	2015	189	1405	44.67	13.29	74.5	38.93	72.6	52.68	71
3379	2015	189	1405	13.29	39	49.54	63.84	69.32	45.24	1057
3380	2015	189	1405	44.67	13.29	74.6	38.93	72.8	52.72	71.2
3381	2015	189	1405	13.29	39	49.66	63.86	69.5	45.31	889
3382	2015	189	1406	44.72	13.29	73.4	38.99	71.4	52.8	70.1
3383	2015	189	1406	13.29	39	47.37	63.89	68.85	45.44	612.6
3384	2015	189	1406	44.72	13.3	72.1	38.99	70.1	52.82	68.76
3385	2015	189	1406	13.3	39	47.16	63.84	67.87	45.46	494.1
3386	2015	189	1407	44.72	13.29	71	38.99	68.94	52.82	67.62
3387	2015	189	1407	13.29	39	46.76	63.8	66.87	45.48	459.7
3388	2015	189	1407	44.77	13.29	70.2	39.04	68.12	52.86	66.81
3389	2015	189	1407	13.29	39	47.1	63.68	66.25	45.7	456.2
3390	2015	189	1408	44.77	13.29	69.06	39.04	67.1	52.86	65.75
3391	2015	189	1408	13.29	39	46.39	63.48	65.3	45.66	384.3
3392	2015	189	1408	44.77	13.29	68.03	39.02	66.09	52.8	64.75
3393	2015	189	1408	13.29	39	46.32	63.23	64.35	45.74	383.7

3477	2015	189	1429	13.28	39	47.95	62.01	66.75	49.06	896
3478	2015	189	1430	45.39	13.29	70.6	40.02	68.98	53.58	67.67
3479	2015	189	1430	13.29	39	47.69	62.14	67.36	49.15	1090
3480	2015	189	1430	45.39	13.29	70.4	40.04	68.68	53.7	67.29
3481	2015	189	1430	13.29	39	47.64	62.1	67.6	49.13	919
3482	2015	189	1431	45.39	13.29	70.6	40.04	68.89	53.77	67.27
3483	2015	189	1431	13.29	39	48.44	62.1	67.78	49.23	1072
3484	2015	189	1431	45.38	13.29	71.4	40.03	69.76	53.84	68.03
3485	2015	189	1431	13.29	39	49.13	62.08	68.41	49.26	1124
3486	2015	189	1432	45.44	13.29	72	40.11	70.4	53.97	68.71
3487	2015	189	1432	13.29	39	47.9	62.11	69.02	49.31	1131
3488	2015	189	1432	45.44	13.29	72.3	40.13	70.6	54.04	68.84
3489	2015	189	1432	13.29	39	48.3	62.09	69.58	49.35	1120
3490	2015	189	1433	45.44	13.29	72.6	40.16	70.8	54.16	68.98
3491	2015	189	1433	13.29	39	48.13	62.15	70.1	49.54	1060
3492	2015	189	1433	45.44	13.29	72.1	40.16	70.2	54.25	68.44
3493	2015	189	1433	13.29	39	47.1	62.24	69.87	49.47	669.8
3494	2015	189	1434	45.43	13.28	71.3	40.16	69.24	54.4	67.53

3575	2015	189	1454	13.28	39	47.98	60.32	67.44	48.03	1027
3576	2015	189	1454	45.69	13.28	64.66	40.72	63.39	54.82	61.5
3577	2015	189	1454	13.28	39	48.17	61.07	67.84	47.63	957
3578	2015	189	1455	45.69	13.28	65.84	40.75	64.46	55.06	62.5
3579	2015	189	1455	13.28	39	48.85	61.59	68.34	46.61	1034
3580	2015	189	1455	45.69	13.28	66.83	40.75	65.5	55.36	63.66
3581	2015	189	1455	13.28	39	49.78	62.04	68.74	44.66	1057
3582	2015	189	1456	45.69	13.28	67.66	40.77	66.26	55.59	64.52
3583	2015	189	1456	13.28	39	49.1	62.23	69.15	42.92	990
3584	2015	189	1456	45.69	13.28	68.45	40.79	67.08	55.81	65.43
3585	2015	189	1456	13.28	39	49.97	62.53	69.44	41.88	960
3586	2015	189	1457	45.69	13.28	68.4	40.81	66.96	56.06	65.5
3587	2015	189	1457	13.28	39	48.68	62.73	69.35	40.77	820
3588	2015	189	1457	45.68	13.29	68.99	40.81	67.46	56.28	65.88
3589	2015	189	1457	13.29	39	49.73	62.88	69.39	39.75	1040
3590	2015	189	1458	45.68	13.28	69.77	40.83	68.22	56.45	66.6

3672	2015	189	1518	45.79	13.28	71.8	40.74	71.2	52.66	70.2
3673	2015	189	1518	13.28	39	50.51	65.02	68.23	36.84	452.2
3674	2015	189	1519	45.79	13.28	71.1	40.74	70.4	52.57	69.22
3675	2015	189	1519	13.28	39	50.37	64.89	67.24	36.78	662.9
3676	2015	189	1519	45.79	13.27	69.49	40.72	68.95	52.47	68.1
3677	2015	189	1519	13.27	39	49.51	64.83	66.43	36.9	397.7
3678	2015	189	1520	45.79	13.27	67.96	40.7	67.6	52.34	66.9
3679	2015	189	1520	13.27	39	49.18	64.5	65.48	36.96	388.8
3680	2015	189	1520	45.84	13.28	67.02	40.74	66.8	52.24	66.07
3681	2015	189	1520	13.28	39	49.23	64.17	64.76	36.97	747
3682	2015	189	1521	45.84	13.28	66.16	40.72	65.98	52.07	65.46
3683	2015	189	1521	13.28	39	48.58	63.82	64.42	37.14	436.4
3684	2015	189	1521	45.84	13.27	64.94	40.7	64.79	51.88	64.38
3685	2015	189	1521	13.27	39	47.88	63.35	63.81	37.2	416.8
3686	2015	189	1522	45.84	13.28	65.24	40.7	65.21	51.68	64.26
3687	2015	189	1522	13.28	39	49.51	62.77	63.72	37.14	1076
3688	2015	189	1522	45.84	13.27	64.85	40.68	64.67	51.43	64.04

3761	2015	189	1540	13.26	39	49.98	60.65	63.38	40.01	1059
3762	2015	189	1541	46.32	13.26	67.1	40.75	66.8	50.97	65.22
3763	2015	189	1541	13.26	39	49.92	60.27	64.48	40.23	1064
3764	2015	189	1541	46.32	13.26	67.98	40.73	67.62	50.85	66.06
3765	2015	189	1541	13.26	39	49.85	59.97	65.25	40.18	1059
3766	2015	189	1542	46.32	13.26	68.29	40.73	67.86	50.74	66.42
3767	2015	189	1542	13.26	39	49.29	59.71	65.83	40.27	691
3768	2015	189	1542	46.32	13.27	68.36	40.71	68.02	50.7	66.44
3769	2015	189	1542	13.27	39	49.38	59.52	65.86	40.42	916
3770	2015	189	1543	46.37	13.26	68.66	40.76	68.3	50.66	66.56
3771	2015	189	1543	13.26	39	49.79	59.48	65.98	40.46	859
3772	2015	189	1543	46.37	13.26	68.63	40.76	68.05	50.66	66.38
3773	2015	189	1543	13.26	39	49.46	59.48	65.91	40.65	856
3774	2015	189	1544	46.37	13.26	67.55	40.76	66.88	50.62	65.59
3775	2015	189	1544	13.26	39	48.18	59.63	65.23	40.72	452.2
3776	2015	189	1544	46.37	13.26	66.88	40.74	66.04	50.64	64.85
3777	2015	189	1544	13.26	39	47.85	59.76	64.48	40.78	400
3778	2015	189	1545	46.43	13.26	66.3	40.8	65.4	50.66	64.15

3833	2015	189	1558	13.26	39	46.42	58.45	59.05	43.17	379.1
3834	2015	189	1559	46.75	13.25	61.72	40.97	60.44	50.64	59.46
3835	2015	189	1559	13.25	39	48.02	58.11	59.3	43.27	887
3836	2015	189	1559	46.75	13.25	62.44	40.95	61.26	50.47	60.08
3837	2015	189	1559	13.25	39	48.62	57.75	60.17	43.25	891
3838	2015	189	1600	46.75	13.26	61.69	40.95	60.42	50.36	59.55
3839	2015	189	1600	13.26	39	47.27	57.43	59.98	43.38	644.1
3840	2015	189	1600	46.81	13.25	61.93	40.99	60.63	50.28	59.76
3841	2015	189	1600	13.25	39	47.04	57.15	60.27	43.44	448.6
3842	2015	189	1601	46.81	13.25	61.97	40.99	60.7	50.17	59.67
3843	2015	189	1601	13.25	39	46.69	57	60.31	43.49	397.7
3844	2015	189	1601	46.81	13.26	62.27	40.99	61.09	50.07	59.88
3845	2015	189	1601	13.26	39	47.77	56.91	60.52	43.66	949
3846	2015	189	1602	46.81	13.25	62.36	41.01	61.09	50	60.06
3847	2015	189	1602	13.25	39	47.13	56.74	60.97	43.72	515.8
3848	2015	189	1602	46.81	13.26	61.47	40.99	60.2	49.94	59.35
3849	2015	189	1602	13.26	39	46.27	56.66	60.38	43.78	334.2
3850	2015	189	1603	46.81	13.26	61.61	41.01	60.38	49.9	59.37

**Μέρος των μετεωρολογικών δεδομένων για ταχύτητα ανέμου και θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $u_{\text{meteo}}, T_a$ ) της πειραματικής διαδικασίας για τον συλλέκτη της στέγης στις 8/7/2015 γύρω από τις ώρες που υπολογίζεται η απόδοση.**

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TOAS	CR1000_M	CR1000	4647	CR1000.St	CPU:METE	47227	Meteo_60sec
2	TIMESTAMP	RECORD	Array_ID	Stn_Code	Tair_Avg	RH_Avg	WS_8m_WVc(1)	WS_8m_WVc(2)
3	TS	RN			deg Celsic	%	m/sec	m/sec
4			Smp	Smp	Avg	Avg	WVc	WVc
5	8/7/2015 0:00	2133403	260	501	27.9	29.66	0	0
6	8/7/2015 0:01	2133404	260	501	27.9	29.59	0	0
7	8/7/2015 0:02	2133405	260	501	27.88	29.56	0	0
8	8/7/2015 0:03	2133406	260	501	27.88	29.64	0	0
9	8/7/2015 0:04	2133407	260	501	27.89	29.68	0	0
10	8/7/2015 0:05	2133408	260	501	27.88	29.75	0	0
11	8/7/2015 0:06	2133409	260	501	27.85	29.85	0.106	52.84
12	8/7/2015 0:07	2133410	260	501	27.81	29.82	0.9	61.65
13	8/7/2015 0:08	2133411	260	501	27.78	29.81	1.748	65.66
14	8/7/2015 0:09	2133412	260	501	27.76	29.84	1.161	74.81
15	8/7/2015 0:10	2133413	260	501	27.72	29.88	1.395	87
16	8/7/2015 0:11	2133414	260	501	27.71	29.8	0.273	86
17	8/7/2015 0:12	2133415	260	501	27.69	29.83	0	0

772	8/7/2015 12:47	2134170	260	501	31.09	33.56	1.751	307.5
773	8/7/2015 12:48	2134171	260	501	31.08	33.58	2.171	291.2
774	8/7/2015 12:49	2134172	260	501	30.97	33.27	2.344	266.3
775	8/7/2015 12:50	2134173	260	501	30.92	33.49	1.787	261.9
776	8/7/2015 12:51	2134174	260	501	30.88	33.08	0.972	250.5
777	8/7/2015 12:52	2134175	260	501	30.97	33.22	1.922	329.4
778	8/7/2015 12:53	2134176	260	501	31.07	33.27	2.017	298.2
779	8/7/2015 12:54	2134177	260	501	31.09	33.05	1.883	290.1
780	8/7/2015 12:55	2134178	260	501	31.06	32.86	1.602	271.2
781	8/7/2015 12:56	2134179	260	501	31.12	32.88	2.463	292.7
782	8/7/2015 12:57	2134180	260	501	31.14	32.92	1.514	287.2
783	8/7/2015 12:58	2134181	260	501	31.28	32.7	1.813	266.1
784	8/7/2015 12:59	2134182	260	501	31.33	32.29	1.643	304.8
785	8/7/2015 13:00	2134183	260	501	31.33	32.43	1.3	329.2
786	8/7/2015 13:01	2134184	260	501	31.39	32.22	1.472	245.9
787	8/7/2015 13:02	2134185	260	501	31.4	32.06	1.901	307.3

809	8/7/2015 13:24	2134207	260	501	31.66	31.82	2.148	259.6
810	8/7/2015 13:25	2134208	260	501	31.54	31.94	2.77	297.4
811	8/7/2015 13:26	2134209	260	501	31.55	32.25	1.383	331.6
812	8/7/2015 13:27	2134210	260	501	31.62	31.81	1.138	1.484
813	8/7/2015 13:28	2134211	260	501	31.79	32.3	1.083	281.4
814	8/7/2015 13:29	2134212	260	501	31.9	31.43	1.202	296.3
815	8/7/2015 13:30	2134213	260	501	31.9	31.54	1.883	280.8
816	8/7/2015 13:31	2134214	260	501	31.72	31.68	1.552	292.7
817	8/7/2015 13:32	2134215	260	501	31.71	31.78	1.919	265.7
818	8/7/2015 13:33	2134216	260	501	31.65	31.76	2.117	253.7
819	8/7/2015 13:34	2134217	260	501	31.56	32.11	2.625	274.2

826	8/7/2015 13:41	2134224	260	501	31.98	32	1.661	273.8
827	8/7/2015 13:42	2134225	260	501	31.87	31.96	2.786	266
828	8/7/2015 13:43	2134226	260	501	31.78	31.92	2.091	253.8
829	8/7/2015 13:44	2134227	260	501	31.87	32.32	2.574	276.4
830	8/7/2015 13:45	2134228	260	501	32.03	31.95	2.158	269
831	8/7/2015 13:46	2134229	260	501	31.89	31.98	3.749	265.3
832	8/7/2015 13:47	2134230	260	501	31.79	32.21	3.26	267.5
833	8/7/2015 13:48	2134231	260	501	31.78	32.26	3.255	266.1
834	8/7/2015 13:49	2134232	260	501	31.77	32.26	3.087	264
835	8/7/2015 13:50	2134233	260	501	31.9	32.31	2.648	275.3
836	8/7/2015 13:51	2134234	260	501	31.73	32.46	3.629	263.5

844	8/7/2015 13:59	2134242	260	501	31.39	33.01	3.014	263.2
845	8/7/2015 14:00	2134243	260	501	31.36	33.14	2.527	266
846	8/7/2015 14:01	2134244	260	501	31.52	32.92	3.564	249
847	8/7/2015 14:02	2134245	260	501	31.39	33.18	3.412	261.6
848	8/7/2015 14:03	2134246	260	501	31.37	33.21	2.074	255.6
849	8/7/2015 14:04	2134247	260	501	31.41	33.13	2.38	241.4
850	8/7/2015 14:05	2134248	260	501	31.49	33.19	2.625	265.6
851	8/7/2015 14:06	2134249	260	501	31.54	33.39	3.11	259.9
852	8/7/2015 14:07	2134250	260	501	31.52	33.05	3.549	257.1
853	8/7/2015 14:08	2134251	260	501	31.36	33.42	3.45	253.1
854	8/7/2015 14:09	2134252	260	501	31.37	33.49	2.778	259.6
855	8/7/2015 14:10	2134253	260	501	31.35	33.83	2.386	247.2
856	8/7/2015 14:11	2134254	260	501	31.48	33.59	2.867	254.5
857	8/7/2015 14:12	2134255	260	501	31.44	33.63	1.789	242.5

873	8/7/2015 14:28	2134271	260	501	31.16	35.59	4.167	259.7
874	8/7/2015 14:29	2134272	260	501	30.97	36.36	3.833	245.5
875	8/7/2015 14:30	2134273	260	501	31.06	36.42	3.966	228.3
876	8/7/2015 14:31	2134274	260	501	31.01	36.69	4.015	244.9
877	8/7/2015 14:32	2134275	260	501	31.19	36.88	2.133	250.6
878	8/7/2015 14:33	2134276	260	501	31.3	36.37	3.993	233
879	8/7/2015 14:34	2134277	260	501	31.49	36.5	2.543	236.4
880	8/7/2015 14:35	2134278	260	501	31.76	35.88	2.559	219.3
881	8/7/2015 14:36	2134279	260	501	31.8	35.62	3.384	241.7
882	8/7/2015 14:37	2134280	260	501	31.85	35.66	3.095	248.1

895	8/7/2015 14:50	2134293	260	501	32.38	33.79	2.216	251.3
896	8/7/2015 14:51	2134294	260	501	32.47	33.42	2.233	278.8
897	8/7/2015 14:52	2134295	260	501	32.5	33.25	2.491	278.2
898	8/7/2015 14:53	2134296	260	501	32.54	33.03	2.483	255.9
899	8/7/2015 14:54	2134297	260	501	32.72	32.99	1.681	218.5
900	8/7/2015 14:55	2134298	260	501	32.87	32.47	2.88	270.8
901	8/7/2015 14:56	2134299	260	501	33.03	32.34	1.61	299.8
902	8/7/2015 14:57	2134300	260	501	33.17	31.79	1.117	250.3
903	8/7/2015 14:58	2134301	260	501	33.27	31.55	3.131	315.3
904	8/7/2015 14:59	2134302	260	501	33.25	31.09	2.151	320.5
905	8/7/2015 15:00	2134303	260	501	33.33	31.41	1.374	289.2
906	8/7/2015 15:01	2134304	260	501	33.41	31.16	2.546	293.2
907	8/7/2015 15:02	2134305	260	501	33.43	30.83	2.679	265.5
908	8/7/2015 15:03	2134306	260	501	33.45	30.55	2.945	287.8
909	8/7/2015 15:04	2134307	260	501	33.41	29.84	3.734	307.7

921	8/7/2015 15:16	2134319	260	501	34.17	28.63	4.915	325.9
922	8/7/2015 15:17	2134320	260	501	34.19	28.77	2.917	298.9
923	8/7/2015 15:18	2134321	260	501	34.28	28.57	2.563	320
924	8/7/2015 15:19	2134322	260	501	34.14	28.5	3.703	302.4
925	8/7/2015 15:20	2134323	260	501	34	28.58	4.575	301.5
926	8/7/2015 15:21	2134324	260	501	33.97	28.74	1.197	310.7
927	8/7/2015 15:22	2134325	260	501	33.94	28.71	4.105	311.9
928	8/7/2015 15:23	2134326	260	501	33.86	28.71	2.386	324.2
929	8/7/2015 15:24	2134327	260	501	33.88	28.81	3.053	299.5
930	8/7/2015 15:25	2134328	260	501	33.95	28.5	2.826	298.8
931	8/7/2015 15:26	2134329	260	501	34.02	28.29	2.834	273.5
932	8/7/2015 15:27	2134330	260	501	34.11	28.23	2.909	301.6

945	8/7/2015 15:40	2134343	260	501	34.24	30.07	2.613	314.6
946	8/7/2015 15:41	2134344	260	501	34.26	30.07	2.845	338.7
947	8/7/2015 15:42	2134345	260	501	34.34	28.87	5.852	330.7
948	8/7/2015 15:43	2134346	260	501	34.4	28.11	5.106	323.8
949	8/7/2015 15:44	2134347	260	501	34.52	28.06	2.857	335.5
950	8/7/2015 15:45	2134348	260	501	34.56	28.02	4.743	330.6
951	8/7/2015 15:46	2134349	260	501	34.51	28.15	3.192	322.2
952	8/7/2015 15:47	2134350	260	501	34.6	28.11	3.793	347.3
953	8/7/2015 15:48	2134351	260	501	34.61	27.73	3.763	323.9

960	8/7/2015 15:55	2134358	260	501	34.7	27.91	3.11	327.5
961	8/7/2015 15:56	2134359	260	501	34.72	27.98	2.785	330.1
962	8/7/2015 15:57	2134360	260	501	34.75	27.49	3.453	322
963	8/7/2015 15:58	2134361	260	501	34.72	27.45	3.668	348.2
964	8/7/2015 15:59	2134362	260	501	34.77	27.38	2.408	333.3
965	8/7/2015 16:00	2134363	260	501	34.81	27.12	3.41	335.5
966	8/7/2015 16:01	2134364	260	501	34.75	27.06	3.866	345.2
967	8/7/2015 16:02	2134365	260	501	34.71	27.06	4.154	336.3
968	8/7/2015 16:03	2134366	260	501	34.7	26.93	4.784	337
969	8/7/2015 16:04	2134367	260	501	34.75	27.07	3.152	341.1
970	8/7/2015 16:05	2134368	260	501	34.87	26.85	2.79	341.3
971	8/7/2015 16:06	2134369	260	501	34.9	26.68	4.008	343.1
972	8/7/2015 16:07	2134370	260	501	34.88	26.74	3.21	344.1
973	8/7/2015 16:08	2134371	260	501	34.93	26.58	3.517	340.2
974	8/7/2015 16:09	2134372	260	501	34.8	26.54	4.193	338.2
975	8/7/2015 16:10	2134373	260	501	34.75	26.61	2.798	327



Υπολογιστικό φύλλο Excel που υπολογίζει την απόδοση του συλλέκτη της στέγης για δεδομένα στις 8/7/2015 και ώρα 14:06

Υπολογισμός απόδοσης συλλέκτη στέγης του ενεργειακού οικίσκου									
ΠΟΥΛΗΜΕΝΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ AM:6242									
<b>Δεδομένα</b>									
g=	9.81	m/s <sup>2</sup>							
Ta=	31.54	°C	ή	304.54	K				
Tδ=	33.00	°C	ή	306.00	K				
Tεσ=	52.82	°C	ή	325.82	K				
Tεξ=	63.89	°C	ή	336.89	K				
Lτζ-μάυρη=	101	mm	ή	0.101	m				
εσ=	0.880								
ετζ=	0.925								
u=	1.037	m/s							
Tskγ=	293.363	K				(Tskγ=0.0552(Ta) <sup>3/2</sup> )			
ΔT=	21.48	K							
σ=	5.6703E-08								
θ=	13.58	°	ή	0.237	rad				
Tθ=	68.85	°C	ή	341.85	K				
Tτζ=	47.37	°C	ή	320.37	K				
L Μήκος=	1.266	m							
L πλάτος=	1.374	m							
lσ (μικρός)	1.18	m							
lσ (πλάτος)	1.246	m							
Aθ=	1.47028	m							
Aτζ=	1.739484	m <sup>2</sup>							
Χηλ,μ=	40	mm	ή	0.04	m				
Χμετ=	2	mm	ή	0.002	m				
S=	4014	mm	ή	4.014	m				
d=	52.31	mm	ή	0.05231	m				
η=	40.000	L/h	ή	0.01111	L/s				
κμετάλλου=	168	W/m*K							
κμονωση=	0.159	W/m*K							
κχαλκού=	401	W/m°C							
τ=	0.94								
α=	0.92								
[τα]=	0.865								
D=	0.015	m							
d=	0.014	m							
2W=	0.15	m							
IT=	612.6	W/m <sup>2</sup>							
I'=	0.165	m							
t=	0.002	m							
<b>Επίλυση</b>									
<b>Υπολογισμός απωλειών θερμότητας από τον υαλοπίνακα</b>									

Υπολογισμός απωλειών θερμότητας από τον αελοπύνακα	
34	
35	
36	Εύρεση $h_0, \sigma > \tau \zeta$
37	
38	
39	$h_0, \sigma > \tau \zeta = \frac{Nu \cdot k}{L}$
40	
41	
42	
43	$Nu = 1 + 1,44 \cdot \left[1 - \frac{1708 \cdot \sin(1.8 \cdot \theta)^{1.6}}{Ra_a \cdot \cos \theta}\right] + \left[1 - \frac{1708 \cdot \sin(1.8 \cdot \theta)^{1.6}}{Ra_a \cdot \cos \theta}\right]^{1.6} - 1 \quad \text{Για } Ra_a < 10^8$
44	
45	
46	
47	$Ra_a = Gr \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2} \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha}$
48	Όπου: $\beta = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{(T_0 + T_0)/2} = \frac{1}{331.11 \text{ K}}$
49	331.11 [K]
50	Εύρεση $\nu$ (νυσταμική παραβολή πίνακα σελ. 989 / Μετεωρολόγιο μάζας και θερμότητας):
51	
52	323 K
53	333 K
54	
55	Εύρεση $\alpha$ (νυσταμική παραβολή πίνακα σελ. 989 / Μετεωρολόγιο μάζας και θερμότητας):
56	
57	323 K
58	333 K
59	
60	Εύρεση $k$ (νυσταμική παραβολή πίνακα σελ. 989 / Μετεωρολόγιο μάζας και θερμότητας):
61	
62	323 K
63	333 K
64	
65	Εύρεση $\rho$ (νυσταμική παραβολή πίνακα σελ. 989 / Μετεωρολόγιο μάζας και θερμότητας):
66	
67	323 K
68	333 K
69	
70	Εύρεση $Pr$ (νυσταμική παραβολή πίνακα σελ. 989 / Μετεωρολόγιο μάζας και θερμότητας):
71	
72	323 K
73	333 K
74	
75	

78	Ra= 1.32E+06				Ra= 1319450.4670
79					
80	Nu= 7.474				Nu= 7.474
81					
82					
83					
84	$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{Nu \cdot k}{L}$				$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = 2.068 \text{ w/m}^2\text{K}$
85					
86					
87					
88					
89					
90	$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = \frac{(T_{\sigma} + T_{\tau\zeta}) \cdot (T_{\sigma}^2 + T_{\tau\zeta}^2) \cdot \sigma}{\frac{1}{\epsilon_{\sigma}} + \frac{1}{\epsilon_{\tau\zeta}} - 1}$				
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99	312.455 [K]				$h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta} = 6.770 \text{ w/m}^2\text{K}$
100	Εύρεση ν (νρασιμική παρεμβολή πίνακα σελ. 989 / Μεταφορά μάζας και θερμότητας):				
101					
102	308 K				
103	318 K				
104					
105	Εύρεση α (νρασιμική παρεμβολή πίνακα σελ. 989 / Μεταφορά μάζας και θερμότητας):				
106					
107	308 K				
108	318 K				
109					
110	Εύρεση κ (νρασιμική παρεμβολή πίνακα σελ. 989 / Μεταφορά μάζας και θερμότητας):				
111					
112	308 K				
113	318 K				
114					
115	Εύρεση ρ (νρασιμική παρεμβολή πίνακα σελ. 989 / Μεταφορά μάζας και θερμότητας):				
116					
117	308 K				
118	318 K				
119					

Εύρεση  $h_{\alpha,\sigma \rightarrow \tau\zeta}$

Εύρεση  $h_{\alpha,\tau\zeta \rightarrow \pi\epsilon}$

119	Εύρεση Pr (Υποσημειώνω ποσότητες πίνακα σελ. 989 / Μετασχημάτισμα και Βεβαιότητα):							
120								
121								
122		308 K	0.7268	Pr' =		7.253E-01		
123		318 K	0.7241					
124								
125								
126		Re =	77347.82	>4000				
127		Nu =	0.0296 * Re <sup>0.8</sup> * Pr' <sup>1/3</sup>	216.5				
128								
129								
130								
131		h <sub>α,τζ-&gt;πε</sub> =	Nu(k/L)	4.5	w/m <sup>2</sup> K			
132							h <sub>α,τζ-&gt;πε</sub> =	4.546451121 w/m <sup>2</sup> K
133								
134								
135								
136								
137								
138								
139								
140								
141								
142								
143								
144								
145								
146								
147								
148								
149								
150								
151								
152								
153								
154								
155								







## Υπολογιστικό φύλλο Excel που υπολογίζει την τιμή της ολικής ακτινοβολίας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου στο οριζόντιο επίπεδο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	1	2/12/2011	3/12/2011	4/12/2011	5/12/2011	6/12/2011	7/12/2011	8/12/2011	9/12/2011	10/12/2011	11/1
1	solarrad (Ολική)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0:01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0:02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0:04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0:06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0:07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0:11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0:12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0:14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0:16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0:17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0:18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0:21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0:22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0:23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0:24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0:25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0:26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0:27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0:28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0:31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0:32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0:34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0:35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0:36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0:37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0:38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0:39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	DS	DT	DU	DV	DW	DX
	29/12/2014	30/12/2014	31/12/2014			
1	0	0	0		0:00	0
2	0	0	0		0:01	0
3	0	0	0		0:02	0
4	0	0	0		0:03	0
5	0	0	0		0:04	0
6	0	0	0		0:05	0
7	0	0	0		0:06	0
8	0	0	0		0:07	0
9	0	0	0		0:08	0
10	0	0	0		0:09	0
11	0	0	0		0:10	0
12	0	0	0		0:11	0
13	0	0	0		0:12	0
14	0	0	0		0:13	0
15	0	0	0		0:14	0
16	0	0	0		0:15	0
17	0	0	0		0:16	0
18	0	0	0		0:17	0
19	0	0	0		0:18	0
20	0	0	0		0:19	0
21	0	0	0		0:20	0
22	0	0	0		0:21	0
23	0	0	0		0:22	0
24	0	0	0		0:23	0
25	0	0	0		0:24	0
26	0	0	0		0:25	0
27	0	0	0		0:26	0
28	0	0	0		0:27	0
29	0	0	0		0:28	0
30	0	0	0		0:29	0
31	0	0	0		0:30	0
32	0	0	0		0:31	0
33	0	0	0		0:32	0
34	0	0	0		0:33	0
35	0	0	0		0:34	0
36	0	0	0		0:35	0
37	0	0	0		0:36	0
38	0.237	0	0		0.36	0.001911
39	0.711	0	0		0.37	0.005734
40	0.711	0	0		0.38	0.005734
41	0.711	0	0		0.39	0.005734



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
641	10:39	402.2	395.2	421.6	134.2	43.47	212.4	17.18	275.1	403.1	426
642	10:40	402.9	396.8	414.6	130.7	43.94	161.9	16.11	277.9	404.9	422.8
643	10:41	404.7	398.1	404.3	132.6	44.65	141.2	14.93	279.9	406.5	427.9
644	10:42	405.8	399.5	393.9	139.1	45.48	181.1	13.27	281.4	408	433
645	10:43	407.1	401.1	385.7	174.2	44.89	111	12.2	282.8	409.7	424.7
646	10:44	408.9	401.5	380.9	201.7	44.06	104.6	11.85	283.9	412.1	437.2
647	10:45	409.9	402.9	372.3	252.6	43.11	119.4	11.14	283.9	412.1	447.4
648	10:46	410.7	405.3	372.6	329.4	40.63	133.8	10.66	285.3	417.1	449.4
649	10:47	412.2	407.3	378.9	347.8	37.43	148.4	10.54	288.2	419.1	434.5
650	10:48	415.1	408.6	388.3	374.1	35.89	169.5	9.95	290.3	420.6	447.9
651	10:49	416.1	410.3	398.6	392.3	36.48	158.9	9.36	292.8	422.2	426.1
652	10:50	417.6	411.8	403.4	333.5	38.49	191.3	8.53	294.3	422.1	466.9
653	10:51	419.9	413.4	407.7	324.8	41.46	266.8	9	296.9	423	477.3
654	10:52	422.1	415.1	412	241.2	43.71	227.3	10.07	298	424.3	481.3
655	10:53	423.4	416.9	413.9	177.6	46.43	229	11.14	301.3	426.1	466.9
656	10:54	424.6	418.3	414.8	199.9	49.51	355.2	12.32	305.1	427.9	452.8
657	10:55	425.3	419.4	413.9	297.1	52.94	314.4	12.79	306.7	429.9	445.5
658	10:56	424.8	421.2	413.1	360.7	56.85	326.3	13.03	309.1	431.4	451.7
659	10:57	426.9	423.2	415.2	465.7	61.12	208.5	13.51	311.8	432.8	482.3
660	10:58	429	424.7	417.8	478.3	65.62	203.3	14.22	315	434.5	482.6
661	10:59	430.5	425.9	417.4	339.1	69.76	206.8	15.16	317.1	435	456.3
662	11:00	431.1	426.3	414.9	250	73.79	209.1	16.11	318.9	436.3	473.3
663	11:01	432.8	426.6	412	181.6	77.82	197.8	17.41	320.7	437.9	474.1
664	11:02	433.8	428.3	409.3	157.8	82.1	182.8	18.72	323	438.4	460
665	11:03	437.9	429.2	408.6	146.1	87.4	197.2	20.38	325.6	438.7	444
666	11:04	439.2	432.4	408.4	142.1	92.5	254.6	21.56	328.2	439.3	429.8
667	11:05	441.4	433.1	407.4	142.2	97.7	190.4	22.98	329.7	441.3	424.8
668	11:06	444	433.1	407.3	151.8	104.5	151.6	24.88	331.8	443	389.2
669	11:07	444.7	434.1	409	160.7	113.5	122.4	26.3	334.5	445.2	363.5
670	11:08	445.7	437.9	413.3	157.4	121.1	108.6	25.94	336.3	446.3	384.1
671	11:09	448.9	439	418.4	160.4	132.9	106.1	24.88	337.8	447	350.6
672	11:10	448.8	440.8	421.7	188.6	146.1	108	23.69	339.8	449.2	361
673	11:11	448.9	440.5	423.1	390.2	151.6	110.3	23.22	342.4	450.5	460.8
674	11:12	450.4	440.8	424.6	434.1	151.3	111.3	24.64	339.5	451	509.5
675	11:13	450.4	441.9	429.8	430.4	148.8	110.1	25.23	341.6	452.5	510.5
676	11:14	450.4	443.9	432.3	441.4	143.5	107.9	25.59	344.8	454.4	509.1
677	11:15	451.5	444.5	437.3	445.5	135.8	105.9	26.18	343.4	455.3	492.5
678	11:16	453.3	443.1	439.6	450.9	139.7	106.2	26.3	348.1	456.1	501.9
679	11:17	452.3	445.8	441.9	410.9	154.9	108.5	26.3	350.9	456.9	493.4
680	11:18	452.8	449.3	442	418.7	169	111.9	25.94	353.8	457.7	505.3
681	11:19	455.3	452.5	442.4	451.6	185.5	116.2	25.59	353.9	456.1	517.9

	DS	DT	DU	DV	DW	DX
240.4	68.96	132.2			10:39	253.4976
245.6	71.44	132.5			10:40	257.9108
249.5	73.34	132.8			10:41	259.8037
175.7	73.93	132.2			10:42	259.9728
139.3	73.93	132.2			10:43	262.6324
107.1	74.29	132.1			10:44	265.375
78.67	74.64	131.5			10:45	266.1781
58.17	74.76	131.2			10:46	269.87
48.93	75.35	130.8			10:47	276.3452
48.58	74.88	130.8			10:48	283.0619
64.1	71.32	129.6			10:49	286.6585
103.9	65.76	128.7			10:50	287.2938
153.3	61.14	127.5			10:51	284.8348
160.9	58.77	126.5			10:52	281.7563
177.9	56.75	126.2			10:53	279.3385
180.4	54.86	125.1			10:54	279.5101
186.4	54.26	125.1			10:55	280.319
263.6	55.21	125.1			10:56	286.8095
216.6	55.69	125.1			10:57	290.142
418	56.16	125.1			10:58	296.4392
452.2	56.99	125			10:59	295.872
190.6	58.17	124.5			11:00	290.1328
154.8	59.6	124.9			11:01	287.0801
129.1	61.73	125.5			11:02	286.4865
117.9	63.51	126.7			11:03	282.9827
119.4	63.98	128.1			11:04	283.3602
122	63.27	129.9			11:05	289.4302
118.7	62.91	131.3			11:06	291.6289
115.7	62.68	132.8			11:07	294.5235
113.5	63.27	134.1			11:08	299.8724
107.1	62.91	135.4			11:09	297.7923
103.9	62.79	137.2			11:10	299.5077
123.8	64.57	139.5			11:11	302.2975
246.2	66.23	142.2			11:12	299.0877
171.5	66.94	145.7			11:13	295.5465
227.3	67.53	149.8			11:14	292.963
237.3	67.53	149.8			11:15	297.489
114.9	67.41	161.7			11:16	297.6213
104.8	66.82	169.2			11:17	298.9673
102	66.47	176.7			11:18	299.948
124.9	64.21	182.6			11:19	304.441

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	DS	DT	DU	DV	DW	DX
827	13:45	434.8	438.2	433.2	226.5	113.9	73.44	121.1	176.3	443.1	466.7	115.3	129.9	281.3		13:45	286.8948
828	13:46	434.1	435.3	427.8	279.9	109.8	74.03	126.1	178.5	441.7	466.4	411.4	124.5	282.2		13:46	289.5971
829	13:47	432.1	435.7	427.9	240.5	108.6	76.52	139.4	185.4	440	471.1	410.6	123	288.2		13:47	284.8862
830	13:48	429.5	434.5	429.2	179.9	103	77.71	158.3	190.4	437.4	474.5	221	124.7	292.3		13:48	285.1698
831	13:49	426.6	429.8	428.7	230.3	98.3	81	173.8	185.9	436.7	478.2	251.1	127.8	278.3		13:49	281.2898
832	13:50	423.6	427.4	425.9	130	93.4	88.4	182	181.3	434.3	479.6	196.8	130.3	271.5		13:50	279.3753
833	13:51	421.9	426.3	424.6	238.4	93.3	92.6	186.2	180.9	432.7	480.8	435.3	130.7	272.3		13:51	279.7707
834	13:52	421	426.6	422.1	373.5	96.3	96.7	191.2	183.6	430.1	503.4	469.1	128.3	262		13:52	274.6804
835	13:53	420.5	424.6	421	390	98.5	105.2	186.4	188.4	428.5	519.9	468.5	123.3	256		13:53	270.3652
836	13:54	420.5	425	420.2	390.3	93.2	120	164.4	192.5	428	522.6	462.4	116.8	254.7		13:54	272.9248
837	13:55	420.3	423.3	416.4	379.5	77.1	137.1	139.1	242.4	427.6	500.5	457.7	110.6	250.9		13:55	274.3713
838	13:56	420.3	421.4	415	372.8	64.9	140.7	126.3	199.7	426.7	530.4	462.4	106.6	253.5		13:56	278.3831
839	13:57	419.2	418.3	413.8	357.9	67.86	134.9	126.3	202	425.6	526.2	462.7	105.2	250.3		13:57	279.4714
840	13:58	418.2	418.9	415.1	266.3	82.5	125.7	134	325.4	424.3	381.5	451.5	104.8	243.9		13:58	278.5327
841	13:59	416.1	417.9	412.1	153.5	108	108.6	144.9	303.6	422.4	337.4	434.7	104.1	229		13:59	274.771
842	14:00	413.3	415.2	411.9	120.1	127.9	100.2	147.5	387.3	419.7	292.6	452	101.4	220		14:00	272.7368
843	14:01	411.8	414.4	411.2	122.4	128.9	104.4	148.8	240.7	417.9	302.2	443.2	98.7	216.2		14:01	270.4173
844	14:02	408.1	411.6	405	252.1	98.5	122.6	139.3	388.3	414.5	288.8	445.6	97.6	214		14:02	272.099
845	14:03	405.6	410.3	403.6	321.5	82.1	151.3	133.6	253.8	412.2	276.2	468.9	96.2	212.5		14:03	271.081
846	14:04	403.4	409.9	403.1	367.9	77.69	149.2	126.9	248.6	410.2	283.7	472.4	93.3	212.7		14:04	267.4031
847	14:05	401	406.6	402.7	387.4	89.9	141.9	122.7	247.4	409	289.9	471.3	88	213.1		14:05	263.3475
848	14:06	400	402.4	400.8	379.3	104.8	147.5	126.9	229.3	407.6	307.4	484.7	81.7	211.2		14:06	261.7152
849	14:07	399.5	400.4	397.9	375.6	112.8	154.6	134.3	217.1	407	323.7	496.9	76.4	208.8		14:07	260.179
850	14:08	396.7	399.1	397	385.1	143.1	182.3	142.4	205	405.7	315.3	493.2	71.85	206.8		14:08	261.1771
851	14:09	394.5	398.4	396.6	385.6	198	273.7	137.9	199.4	404.5	324.5	492.9	71.31	205.4		14:09	263.9252
852	14:10	393.5	396.3	397.2	380.8	251	245.9	126.9	200.1	403.5	342.5	492.9	71.31	205.4		14:10	267.8283
853	14:11	392.4	395.9	396.7	377.4	361	196.7	127.1	201.5	401.8	323.1	485.5	71.07	203.6		14:11	269.7331
854	14:12	390.1	394.7	394.5	368.9	326	214.7	135.4	270.3	399.7	309.4	376.2	71.67	201		14:12	266.7895
855	14:13	388.2	392.1	392.4	357.8	227.9	421.3	189.8	192.9	398.1	329.3	188.6	73.21	197.9		14:13	265.2298
856	14:14	387.7	390.2	389	340.2	197.7	416	257.3	191.8	394.5	474.8	175.5	74.98	193.2		14:14	262.8465
857	14:15	386.9	389.4	384.4	220.7	182.8	337.5	311.8	191.2	392.2	441.2	229.4	76.05	188.9		14:15	259.486
858	14:16	386.2	388.1	383.5	221.8	174	292	352	187.6	389.9	397.6	451.4	75.22	186.1		14:16	257.2044
859	14:17	385.4	385.4	383	213.2	168.1	263.6	379.7	179.4	389.3	388	438.3	74.04	184.4		14:17	253.7894
860	14:18	383.7	383	380.5	112.6	168.4	269.1	378.5	172.6	388.2	403.3	429.6	73.21	184.1		14:18	248.8155
861	14:19	381.2	381.1	378.6	101.7	169	323.6	389.3	171.7	387.1	388.5	442.4	73.8	184		14:19	249.6915
862	14:20	378.4	378.5	379.3	95.8	162.5	546.5	446.1	170.6	386.6	343.7	480.1	75.93	183.3		14:20	249.1494
863	14:21	376.4	377.3	379.1	91.5	161.8	570.8	462.6	169.1	385.5	340.9	504.7	79.25	181.7		14:21	251.8769
864	14:22	373.9	376.2	376.7	89.4	170.6	540.1	422.8	171.5	383.7	280.5	516.9	83.9	178		14:22	257.7775
865	14:23	370.7	373.6	374	88.6	184.2	544.9	448.9	174.5	383.6	400.8	479.6	88.5	172.5		14:23	256.3915
866	14:24	368.8	371.4	372	87.4	200.8	508.6	494.5	180.3	383.2	398.1	473.7	93.5	166.8		14:24	256.4734
867	14:25	368.8	371.4	372	87.4	200.8	508.6	494.5	180.3	383.2	398.1	216	100.1	161.7		14:25	254.3677

ME ΣΥΝΔΕΣΗ 22-12 / graf E2-PSHk

	DS	DT	DU	DV	DW	DX
1016	14.33	8.29	11.37		16.54	17.07427
1017	13.98	8.53	11.37		16.55	15.8087
1018	14.21	8.53	11.37		16.56	14.67095
1019	14.21	7.938	10.78		16.57	13.60981
1020	14.33	7.82	10.31		16.58	13.0989
1021	15.16	7.464	9.95		16.59	11.94926
1022	15.52	7.109	9.95		17.00	11.21025
1023	14.93	6.753	9.48		17.01	10.91253
1024	14.93	6.398	9.24		17.02	10.0676
1025	14.57	5.806	9.24		17.03	9.332548
1026	13.62	5.687	9.24		17.04	8.488411
1027	12.56	5.095	9.24		17.05	7.243661
1028	11.85	4.976	9		17.06	6.354363
1029	10.78	4.502	8.53		17.07	5.624669
1030	9.48	4.265	8.06		17.08	4.985605
1031	8.65	3.673	7.82		17.09	4.331306
1032	7.344	3.554	7.346		17.10	3.697831
1033	7.226	3.199	6.99		17.11	3.097927
1034	7.344	2.844	6.998		17.12	2.678492
1035	6.515	2.844	6.161		17.13	2.202944
1036	5.212	2.251	5.332		17.14	1.830169
1037	2.488	1.422	4.265		17.15	1.470145
1038	1.54	1.422	3.792		17.16	1.19121
1039	1.421	0.829	3.081		17.17	1.074613
1040	0.948	0.711	2.251		17.18	0.917008
1041	0.711	0.237	1.422		17.19	0.735532
1042	0.711	0	1.066		17.20	0.732653
1043	0.474	0	0.711		17.21	0.607468
1044	0	0	0.711		17.22	0.398355
1045	0	0	0.711		17.23	0.514855
1046	0	0	0.711		17.24	0.479516
1047	0	0	0.592		17.25	0.572169
1048	0	0	0.237		17.26	0.515798
1049	0	0	0		17.27	0.369677
1050	0	0	0		17.28	0.318113
1051	0	0	0		17.29	0.309492
1052	0	0	0		17.30	0.289411
1053	0	0	0		17.31	0.275089
1054	0	0	0		17.32	0.275081
1055	0	0	0		17.33	0.282742
1056	0	0	0		17.34	0.293306

ME ΣΚΙΑΣΗ 22-12 / graf E2-PSHsk

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1016	16.54	21.32	21.44	19.19	12.32	2.843	3.198	18.24	56.61	22.03	4.501
1017	16.55	19.9	19.78	17.41	11.37	3.79	2.843	17.29	56.73	20.14	4.264
1018	16.56	18.48	17.88	13.86	11.49	4.264	2.369	17.06	55.66	18.24	3.672
1019	16.57	16.94	16.11	9.95	11.61	4.264	0.829	16.7	58.03	16.35	3.553
1020	16.58	15.16	14.69	8.65	11.25	4.146	0.711	17.65	100.5	14.33	3.553
1021	16.59	13.62	13.15	7.935	10.19	3.553	0.711	17.17	65.26	12.56	3.198
1022	17.00	12.32	11.61	7.935	9.12	3.554	0.355	14.69	76.86	11.02	2.843
1023	17.01	11.01	10.3	7.698	8.05	3.198	0	13.38	144.7	9.95	2.606
1024	17.02	9.83	9.24	6.395	7.462	2.843	0	14.69	145.8	9.24	2.132
1025	17.03	9.24	8.41	5.566	6.751	2.606	0	15.63	148.6	8.29	2.014
1026	17.04	8.65	7.344	4.974	5.804	2.132	0	14.69	141.2	7.344	1.54
1027	17.05	7.58	6.159	4.5	4.501	1.777	0	12.56	84.7	6.278	1.421
1028	17.06	6.632	4.975	3.79	3.198	1.421	0	9.83	66.68	5.33	1.421
1029	17.07	5.448	3.79	3.435	2.369	0.711	0	8.41	64.9	4.264	0.948
1030	17.08	4.619	2.961	2.842	2.014	0.355	0	7.225	65.61	3.198	0.711
1031	17.09	3.672	2.251	2.132	1.421	0	0	6.159	65.14	2.369	0.711
1032	17.10	2.724	1.895	2.013	1.421	0	0	4.975	60.52	1.421	0.711
1033	17.11	2.013	1.421	1.421	0.829	0	0	4.146	53.89	0.948	0.711
1034	17.12	1.303	0.948	0.947	0.711	0	0	3.317	62.3	0.711	0
1035	17.13	0.711	0.711	0.711	0.711	0	0	2.843	52.35	0	0
1036	17.14	0.355	0	0.118	0.711	0	0	2.843	49.03	0	0
1037	17.15	0	0	0	0.711	0	0	2.251	44.89	0	0
1038	17.16	0	0	0	0.118	0	0	2.132	43.94	0	0
1039	17.17	0	0	0	0	0	0	1.54	52.82	0	0
1040	17.18	0	0	0	0	0	0	1.185	51.28	0	0
1041	17.19	0	0	0	0	0	0	0.711	44.65	0	0
1042	17.20	0	0	0	0	0	0	0.711	56.02	0	0
1043	17.21	0	0	0	0	0	0	0.237	49.86	0	0
1044	17.22	0	0	0	0	0	0	0	32.93	0	0
1045	17.23	0	0	0	0	0	0	0	53.3	0	0
1046	17.24	0	0	0	0	0	0	0	51.05	0	0
1047	17.25	0	0	0	0	0	0	0	63.96	0	0
1048	17.26	0	0	0	0	0	0	0	58.51	0	0
1049	17.27	0	0	0	0	0	0	0	41.22	0	0
1050	17.28	0	0	0	0	0	0	0	36.01	0	0
1051	17.29	0	0	0	0	0	0	0	35.89	0	0
1052	17.30	0	0	0	0	0	0	0	34.11	0	0
1053	17.31	0	0	0	0	0	0	0	33.4	0	0
1054	17.32	0	0	0	0	0	0	0	34.11	0	0
1055	17.33	0	0	0	0	0	0	0	35.06	0	0
1056	17.34	0	0	0	0	0	0	0	36.37	0	0

ME ΣΚΙΑΣΗ 22-12 / graf E1-PSH1

# Υπολογιστικό φύλλο Excel που υπολογίζει την τιμή της διάχυτης ακτινοβολίας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου στο οριζόντιο επίπεδο.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	1	2/12/2011	3/12/2011	4/12/2011	5/12/2011	6/12/2011	7/12/2011	8/12/2011	9/12/2011	10/12/2011	11
1	solar d rad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0:01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0:02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0:03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0:04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0:06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0:07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0:11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0:12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0:14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0:16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0:17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0:18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0:21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0:22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0:23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0:24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0:25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0:26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0:27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0:28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0:31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0:32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0:34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0:35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0:36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0:37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0:38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0:39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	graf E1	graf E1-PSH1	apotelesmata	radatbn 13,58	graf rad13,58	graf R	graf E1	graf E1-PSH1	ME ΣΚΙΑΣΚΗ 22		

	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY
	29/12/2014	30/12/2014	31/12/2014				
1	0.301	0	0			0:00	0.0085
2	0.301	0	0			0:01	0.009306
3	0.402	0	0			0:02	0.009726
4	0.452	0	0			0:03	0.0085
5	0.603	0	0			0:04	0.009323
6	0.603	0	0			0:05	0.007694
7	0.603	0	0			0:06	0.00729
8	0.502	0	0			0:07	0.007282
9	0.301	0	0			0:08	0.008903
10	0.251	0	0			0:09	0.013363
11	0.251	0	0			0:10	0.020258
12	0.301	0	0			0:11	0.03646
13	0.201	0	0			0:12	0.044984
14	0	0	0			0:13	0.038903
15	0	0	0			0:14	0.03729
16	0	0	0			0:15	0.029573
17	0	0	0			0:16	0.024306
18	0	0	0			0:17	0.021476
19	0	0	0			0:18	0.022702
20	0.201	0	0			0:19	0.020669
21	0.502	0	0			0:20	0.024315
22	0.603	0	0			0:21	0.023919
23	0.603	0	0			0:22	0.024323
24	0.352	0	0			0:23	0.021081
25	0.05	0	0			0:24	0.018234
26	0	0	0			0:25	0.019048
27	0	0	0			0:26	0.017427
28	1.909	0	0			0:27	0.032016
29	4.622	0	0			0:28	0.055919
30	5.827	0	0			0:29	0.064419
31	4.471	0	0			0:30	0.051863
32	3.617	0	0			0:31	0.040516
33	2.914	0	0			0:32	0.037266
34	2.763	0	0			0:33	0.032411
35	2.311	0	0			0:34	0.025919
36	1.708	0	0			0:35	0.022282
37	1.607	0	0			0:36	0.02025
38	1.457	0	0			0:37	0.01904
39	1.457	0	0			0:38	0.01904
40	1.658	0	0			0:39	0.017823
	graf E1	graf E1-PSH1	ME ΣΚΙΑΣΚΗ 22-12	graf E2-PSHsk			

DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY
169.8	71.05	133.7			10:39	101.3085
199.5	73.66	133.9			10:40	102.2696
198.2	75.67	133.9			10:41	103.0712
165.3	76.02	133.9			10:42	103.6077
132.2	75.97	133.8			10:43	103.9802
101.5	76.37	133.9			10:44	104.1914
76.87	76.52	133.3			10:45	104.513
57.58	76.37	133.3			10:46	104.9331
47.63	77.02	133			10:47	105.3922
46.07	76.57	132.3			10:48	106.0123
58.93	73.21	131.4			10:49	106.6381
89.2	67.68	130.3			10:50	107.246
129.8	63.01	129.1			10:51	107.6696
172.1	57.83	127.4			10:52	107.6585
172.2	55.67	126.8			10:53	107.6112
155.3	55.12	126.2			10:54	107.5988
168.3	55.87	125.8			10:55	107.4107
202.2	56.57	125.4			10:56	107.9432
242	56.83	125.2			10:57	108.9027
237	57.68	124.8			10:58	110.4702
184.8	58.99	124.6			10:59	111.186
155.9	60.44	124.5			11:00	111.5669
131.1	62.65	124.9			11:01	111.8471
119.8	64.31	126.1			11:02	111.8297
121.3	64.87	127.7			11:03	111.7153
124	64.16	129.3			11:04	112.3158
120.7	63.71	131			11:05	113.2997
116.8	63.31	132.4			11:06	113.9135
113.6	63.31	133.7			11:07	114.2669
106.9	63.16	134.8			11:08	114.3512
102.3	62.96	135.9			11:09	114.0244
100.3	64.36	137.3			11:10	113.6798
98.9	65.92	139.6			11:11	113.3689
91.8	66.67	141.8			11:12	113.0132
88.6	67.17	145			11:13	112.6527
83.7	67.63	149.1			11:14	112.2341
84.5	67.78	154.3			11:15	112.0064
96.9	67.53	160.5			11:16	112.5248
98.4	67.28	167.6			11:17	113.0381
114.4	65.57	175.2			11:18	113.5571
graf E1-PSHI	ME ZKJASRN 22-12	graf E2-PSHEK			11:19	114.7367

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
641	10:39	61.47	65.23	122.1	125.3	44.6	154.4	19.44	51.11	43.19	128.4
642	10:40	61.72	65.33	115.8	120.3	44.86	141.2	18.44	50.91	42.59	128.5
643	10:41	61.47	66.14	108.9	119	45.71	119.4	17.03	51.21	41.93	129.6
644	10:42	61.47	66.84	102.8	121	46.91	105.9	15.42	51.06	42.38	131.1
645	10:43	61.92	66.89	97.5	125.8	46.21	100.6	14.57	51.31	42.38	131.5
646	10:44	62.83	66.73	93.1	130.7	45.51	101.9	14.07	51.81	42.74	133.8
647	10:45	63.33	66.88	91.3	136.2	44.45	117.5	13.26	52.52	43.04	136.4
648	10:46	64.13	66.98	91	142	42.09	129.2	12.51	52.67	44.19	139.6
649	10:47	64.58	67.24	91	141.5	38.78	142.4	12.31	53.52	44.59	143.8
650	10:48	64.63	66.93	91.5	138	37.17	154	11.86	54.27	44.44	149.3
651	10:49	64.03	66.88	90.6	135.6	37.57	143.8	10.6	55.43	44.34	153
652	10:50	63.67	66.88	90.4	132.7	39.53	148.8	9.24	56.13	43.39	158.7
653	10:51	64.17	67.03	90	133.8	42.24	175	9.7	57.44	43.14	163
654	10:52	64.27	68.34	89.3	133.1	44.7	189.3	11.2	59.55	43.39	166
655	10:53	64.68	68.24	88.9	138.5	47.42	194.2	12.46	61.65	42.84	168.4
656	10:54	64.62	68.89	87.9	157.1	50.53	202.1	13.46	62.66	42.59	169.8
657	10:55	64.42	69.19	87.4	184.6	53.79	197.9	13.97	63.86	42.54	171.1
658	10:56	64.32	68.79	87.4	206	57.46	194.2	14.32	64.52	42.33	173.6
659	10:57	65.33	67.89	87.3	214.9	61.58	188.3	14.77	65.27	43.04	176
660	10:58	65.48	67.18	86.5	214.7	65.7	190.6	15.37	63.96	43.04	177
661	10:59	65.58	67.43	85.5	204.5	69.77	196.9	16.13	63.36	42.69	176.9
662	11:00	65.63	67.48	84.9	183.5	73.59	199.8	17.18	62.66	42.54	176.6
663	11:01	66.18	67.33	84.1	158.2	77.3	188.4	18.24	61.86	42.33	174.8
664	11:02	66.88	67.89	83	140.4	81.6	170.7	19.64	64.82	42.43	172.6
665	11:03	67.28	69.14	82.5	127.9	86.6	161.6	21.25	78.27	42.73	170.7
666	11:04	67.13	69.44	82.7	122.5	91.9	151.4	22.46	99.2	43.29	169.9
667	11:05	67.43	69.24	83.4	123.1	97.1	133.5	23.76	112.8	44.49	169.9
668	11:06	66.93	68.84	84.4	129.4	103.6	119.7	25.77	114.4	45.39	169.6
669	11:07	67.48	69.24	84.7	135.9	112.3	110.1	27.23	107.1	45.59	171.5
670	11:08	68.04	68.74	85	137.3	120.4	102.9	26.78	96.5	45.19	175.2
671	11:09	68.39	68.14	86	138.4	132	101.2	25.72	89.2	45.09	178.4
672	11:10	69.14	68.14	88.7	142.2	145.1	104	24.37	85.4	44.69	184.4
673	11:11	69.49	68.09	91.9	146.7	150.5	107.6	23.76	83.9	45.24	192.6
674	11:12	69.85	68.09	94.1	147.4	150.3	109.7	25.12	83.9	46.6	198
675	11:13	70.15	68.69	95.3	148.8	147.4	109.3	26.12	84.8	47.35	200.6
676	11:14	70.95	68.84	96.2	150	141.3	107.3	25.67	88.4	48.55	202.2
677	11:15	72.51	68.69	96.1	150.8	132.2	105.5	26.68	86.6	48.81	203.1
678	11:16	72.41	68.74	94.2	153.5	134	105.9	27.13	85.7	48.45	204.5
679	11:17	72.46	69.09	92.4	150.6	146.1	107.7	27.03	82.3	48.4	204.4
680	11:18	72.51	69.69	90.6	148.5	154.9	111	26.63	78.18	48.81	204.2
681	11:19	77.96	69.44	89.2	147.4	165.7	114.6	26.53	81.3	50.11	201.8
graf E1-PSHI	apotelesmata	radetion-13:58	graf R	graf E1	graf E1-PSHI	ME ZKJASRN 22					

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
827	13:45	71.89	76.16	72.75	109.9	116.2	73.64	122.1	166.9	55.77	142.8
828	13:46	72.55	76.31	73.3	112	112.7	73.54	127.1	165.7	55.12	140.9
829	13:47	72.5	76.47	72.9	110.2	111.1	75.75	140.4	164.1	55.27	138.8
830	13:48	72.65	75.81	72.7	107.4	106.4	77.16	158.9	164.3	54.82	139.9
831	13:49	72.9	75.91	73.4	108.3	102.1	80.6	174.7	160.9	54.77	145
832	13:50	72.7	76.36	74.56	105	96.9	87.7	182.6	154.7	54.02	155
833	13:51	72.6	77.27	75.26	111.6	96.8	92.1	186	152.5	52.76	166.3
834	13:52	72.6	76.21	75.46	119.4	99.8	95.5	189.5	152.9	52.11	173.8
835	13:53	72.25	75.41	75.06	118.4	102.2	103.5	181.8	157.5	51.91	177.8
836	13:54	72.1	75.46	74.76	115.9	96.9	116.7	159.6	172.3	51.46	182.3
837	13:55	72.75	74.96	75.76	114.1	80.7	132.1	137	187.4	51.11	187
838	13:56	72.25	74.91	76.21	113.7	68.25	137.3	125.2	199	51.51	187
839	13:57	72.05	74.36	74.91	111	70.21	132.8	125.6	207.8	51.96	184.8
840	13:58	71.34	74.11	74.76	108.5	84.1	124.2	130.5	215.6	51.96	185.8
841	13:59	71.39	73.95	76.06	98.8	109.5	107.3	138	222.5	51.86	194.5
842	14:00	71.85	73.75	75.76	98.1	129.7	98	145.6	214.4	52.92	202.6
843	14:01	71.9	73.55	75.36	102.1	131.6	101.4	148.6	202.7	52.51	212.4
844	14:02	71.19	73.6	74.71	107	121.4	106.1	145.9	192.5	52.61	220.9
845	14:03	70.44	73.8	73.5	116.3	101.5	114.9	139.9	180.1	53.22	226.5
846	14:04	69.74	73.2	72.8	127.5	85	129	134.1	158.4	52.21	231.3
847	14:05	69.69	73.5	73	136.4	79.81	134.4	127.4	136.1	52.36	237.4
848	14:06	69.29	74.06	73.3	141.8	91.9	134	122.7	123.9	52.82	241.2
849	14:07	69.34	73.96	74.11	143.8	106.5	139.4	125.7	117.5	52.41	244.9
850	14:08	69.99	72.8	73.6	144.8	112.5	145.9	133.1	116.9	52.11	251.4
851	14:09	69.89	73.15	73.25	145.3	139.8	154.6	133.2	116.2	51.01	260.9
852	14:10	70.49	73.56	72.4	144	192.7	165.8	127.3	118.8	50.66	270.2
853	14:11	70.04	72.65	71.95	139.6	215.9	171.5	123	122.4	50.36	271.3
854	14:12	69.24	73.31	72.1	133.6	226.1	180.3	121.9	128.4	50.36	266.1
855	14:13	69.39	73.31	72.4	126.7	222.2	190.7	124	132.6	49.6	261.6
856	14:14	69.74	73.11	72.05	122	203.3	203.7	132.3	135.7	49.15	257
857	14:15	69.89	72	71.49	117.7	184.7	210.7	147.7	137.1	50.16	252.3
858	14:16	70.19	71.2	71.4	111.2	172.5	216.9	162.1	138.7	50.46	240.6
859	14:17	71.14	70.8	71.55	105.1	163	220.8	167.2	142.4	50.11	230.5
860	14:18	71.09	69.94	70.59	102	153.3	239.7	163.8	147.5	49.55	223.1
861	14:19	70.99	69.74	70.74	98.3	158	252.9	160.1	149.4	50.06	217.9
862	14:20	70.19	69.89	71.3	96.5	159	271.6	167.4	148.1	50.51	212.6
863	14:21	70.34	69.54	70.69	93.5	153.3	322.1	180.4	150.8	49.25	211.6
864	14:22	70.34	68.54	69.69	90.5	153.2	324.1	194	157.5	48.25	214.2
865	14:23	70.44	69.24	69.24	88.9	161.3	311.9	208.3	163.7	47.4	215.1
866	14:24	69.74	68.99	68.79	88.2	174.3	317.3	224.8	170.2	48.2	220.4
867	14:25	69.39	69.09	68.74	87.6	184.6	306.9	238.1	182	47.5	224.9
		diaxuthi	apotelesmata	radiation	13.58	graf R	graf E1	graf E1-PSH1	ME SKIAKSH 22-1		
						graf rad13.58	graf R	graf E1	graf E1-PSH1	ME SKIAKSH 22-1	

DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY
102.2	126.7	227.9			13:45	111.8707
101.9	120.4	228.4			13:46	111.886
95.3	118.3	228.3			13:47	111.9041
89.2	120.7	227.6			13:48	111.8647
90.5	125	227.8			13:49	111.8349
94.4	128.4	225.8			13:50	111.4983
103.4	129.5	226.5			13:51	111.0571
102.8	127.5	225.6			13:52	110.599
102.8	122.8	222.9			13:53	110.2045
100.8	116.3	220.5			13:54	109.8768
100.2	110	218.5			13:55	109.7119
104.9	105.5	216.8			13:56	109.8004
107.2	104	214.9			13:57	109.7842
104.2	104.1	214.8			13:58	109.8732
100.4	103.6	214.4			13:59	110.0783
96.3	101.2	212.8			14:00	110.4605
95	98.5	210.3			14:01	110.9401
97.6	97.6	208.2			14:02	110.9281
105.2	97.7	206.7			14:03	110.3918
118.5	96.9	205.7			14:04	110.0027
124.7	94.2	205.8			14:05	109.446
124.6	89.3	205.5			14:06	109.2287
136.2	83	205.7			14:07	109.6061
146.8	77.31	207			14:08	110.3137
148.6	73.79	206.7			14:09	111.086
149	71.94	204.8			14:10	111.7602
145.9	71.53	201.3			14:11	111.7748
143.6	72.44	197.4			14:12	111.4972
138.7	74.15	194.4			14:13	110.9287
133.8	75.95	191.5			14:14	110.0702
128.6	76.81	187.5			14:15	109.0625
119.9	76.26	184.5			14:16	108.5948
106	74.95	184.2			14:17	108.3889
97.6	73.94	184.5			14:18	108.146
111	74.45	185			14:19	108.0688
150.6	76.21	184.3			14:20	108.4686
181.4	79.47	182.9			14:21	109.3661
189.7	83.9	179.8			14:22	110.0554
172	88.3	175.1			14:23	110.116
163.1	93.3	167.3			14:24	110.1324
152.2	99.9	160.7			14:25	109.8529
	graf E1	graf E1-PSH1	ME SKIAKSH 22-12	graf E2-PSHak		

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY
1016	16:54	13.36	14.87	12.81	11	4.219	3.918	18.89	19.39	10.6	4.822	14.72	8.44	12.66			16:54	12.54177
1017	16:55	12.76	14.11	12.3	10.45	5.123	3.918	18.18	16.98	9.95	4.42	14.17	8.39	11.61			16:55	11.94492
1018	16:56	12.25	13.31	11.5	10.25	5.576	3.165	17.88	15.32	9.44	4.219	14.42	8.14	11.2			16:56	11.39656
1019	16:57	11.75	12.51	10.75	10.3	5.576	1.608	17.53	14.02	8.79	3.968	14.57	8.14	11.05			16:57	10.85184
1020	16:58	11.15	11.75	10.3	9.69	5.174	1.557	18.48	13.11	8.14	3.968	14.87	7.939	10.7			16:58	10.38492
1021	16:59	10.5	10.95	9.89	9.09	4.672	2.311	18.08	12.31	7.686	3.717	15.57	7.486	10.35			16:59	9.92325
1022	17:00	10.04	10.25	9.39	8.19	4.42	3.516	15.57	11.65	7.133	3.315	15.77	7.034	10.55			17:00	9.431855
1023	17:01	9.44	9.44	8.84	7.183	4.219	3.516	14.16	11	6.932	3.114	15.62	6.582	10.25			17:01	8.873927
1024	17:02	8.79	8.79	8.14	6.63	3.918	2.964	15.47	10.2	6.782	2.813	15.27	5.678	8.54			17:02	8.313048
1025	17:03	8.29	8.09	7.584	6.128	3.767	2.361	16.17	9.19	6.581	2.562	14.22	5.276	7.687			17:03	7.769952
1026	17:04	7.684	7.434	7.031	5.475	3.366	1.959	15.37	8.09	6.129	2.361	13.16	4.974	8.99			17:04	7.202435
1027	17:05	7.132	6.681	6.429	4.571	2.964	1.507	13.36	7.083	5.827	2.11	12.46	4.823	9.8			17:05	6.638379
1028	17:06	6.379	5.827	5.876	3.717	2.562	1.507	10.55	6.229	5.475	1.859	11.45	4.673	9.7			17:06	6.076758
1029	17:07	5.726	5.124	5.324	3.114	1.959	1.507	8.39	5.626	4.973	1.708	10.05	4.221	9.09			17:07	5.524677
1030	17:08	5.123	4.471	4.721	2.662	1.507	1.507	7.083	4.973	4.521	1.507	8.69	3.919	7.939			17:08	5.007919
1031	17:09	4.52	3.918	4.118	2.26	1.005	1.005	6.178	4.119	4.019	1.206	7.636	3.869	7.487			17:09	4.478484
1032	17:10	4.018	3.516	3.867	2.11	0.603	0.603	5.224	3.818	3.918	1.155	7.485	3.618	6.934			17:10	4.028411
1033	17:11	3.717	2.964	3.466	1.808	0.301	0.352	4.42	3.416	3.566	0.904	7.535	3.316	6.632			17:11	3.594516
1034	17:12	3.164	2.461	3.014	1.507	0	0.1	3.767	3.014	3.215	0.904	6.631	3.216	6.532			17:12	3.191137
1035	17:13	2.662	2.06	2.612	1.406	0	0	3.114	2.512	2.813	0.653	5.325	2.914	5.728			17:13	2.809895
1036	17:14	2.21	1.708	2.21	1.206	0	0	2.914	2.009	2.411	0.603	4.27	2.462	4.824			17:14	2.488194
1037	17:15	1.858	1.407	1.858	1.206	0	0	2.914	1.758	2.059	0.553	3.215	2.261	4.07			17:15	2.164089
1038	17:16	1.406	1.005	1.406	0.904	0	0	2.562	1.507	1.607	0.301	2.311	1.96	3.919			17:16	1.871613
1039	17:17	1.105	0.804	1.005	0.854	0	0	2.261	1.507	1.356	0.301	2.009	1.708	3.869			17:17	1.578331
1040	17:18	0.703	0.402	0.703	0.603	0	0	1.708	1.356	1.005	0.301	1.808	1.306	2.914			17:18	1.312129
1041	17:19	0.352	0.1	0.301	0.502	0	0	1.055	1.105	0.703	0.301	1.507	0.804	1.96			17:19	1.072758
1042	17:20	0	0	0	0.301	0	0	0.603	0.854	0.402	0.201	1.206	0.603	1.909			17:20	0.867718
1043	17:21	0	0	0	0.201	0	0	0.553	0.603	0.251	0	1.206	0.502	1.859			17:21	0.700403
1044	17:22	0	0	0	0	0	0	0.352	0.402	0.05	0	1.005	0.352	1.156			17:22	0.562315
1045	17:23	0	0	0	0	0	0	0.301	0.201	0	0	0.703	0.301	1.206			17:23	0.439129
1046	17:24	0	0	0	0	0	0	0.301	0	0	0	0.553	0	1.055			17:24	0.333387
1047	17:25	0	0	0	0	0.1	0	0.301	0	0	0	0.301	0	0.904			17:25	0.264097
1048	17:26	0	0	0	0	0	0	0.301	0	0	0	0	0	0.904			17:26	0.208621
1049	17:27	0	0	0	0	0	0	0.301	0	0	0	0	0	0.904			17:27	0.180645
1050	17:28	0	0	0	0	0	0	0.301	0	0	0	0	0	0.553			17:28	0.152323
1051	17:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05			17:29	0.121935
1052	17:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			17:30	0.092766
1053	17:31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			17:31	0.070089
1054	17:32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05			17:32	0.088323
1055	17:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			17:33	0.149573
1056	17:34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.502			17:34	0.165734

graf E1 / graf E1-PSH1 / ME SKIAΣKH 22-12 / graf E2-PSHsk / graf E1 / graf E1-PSH1 / graf R / graf radii3,58 / radetion 13,58 / apotelesmata / olikt / diaxuthi

# Υπολογιστικό φύλλο Excel που μετατρέπει τις τιμές των ακτινοβολιών για την αντιπροσωπευτική ημέρα του Δεκεμβρίου στις 13,58[°] από το οριζόντιο.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	TOX [00/Δλ]	ΑΗΧ [00/Δλ,Δλ]	Ολαίη [0°]	Αιέση [0°]	Διάχυση [0°]	Ιδ/Ι	Ιδ/Ι	ω [°]	ω [rad]	φ [°]	φ [rad]	β [°]	β [rad]	δ [°]	δ [rad]	Rb	Rd	R	S	T	U	V	W
2	0.00	23.3336	23.56	0	0	0	0	173.400	3.026400923	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.034782	0.986	0.0028	0	0	0	0	
3	0.01	23.3436	23.57666667	0	0	0	0	173.650	3.030762426	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.034827	0.986	0.0028	0	0	0	0	
4	0.02	23.3536	23.59333333	0	0	0	0	173.900	3.035127569	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.034871	0.986	0.0028	0	0	0	0	
5	0.03	23.3636	23.61	0	0	0	0	174.150	3.039490892	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.034912	0.986	0.0028	0	0	0	0	
6	0.04	23.3736	23.62666667	0	0	0	0	174.400	3.043854215	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.034952	0.986	0.0028	0	0	0	0	
7	0.05	23.3836	23.64333333	0	0	0	0	174.650	3.048217539	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.034999	0.986	0.0028	0	0	0	0	
8	0.06	23.3936	23.66	0	0	0	0	174.900	3.052580862	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035027	0.986	0.0028	0	0	0	0	
9	0.07	23.4036	23.67666667	0	0	0	0	175.150	3.056944185	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035061	0.986	0.0028	0	0	0	0	
10	0.08	23.4136	23.69333333	0	0	0	0	175.400	3.061307508	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035094	0.986	0.0028	0	0	0	0	
11	0.09	23.4236	23.71	0	0	0	0	175.650	3.065670831	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035125	0.986	0.0028	0	0	0	0	
12	0.10	23.4336	23.72666667	0	0	0	0	175.900	3.070034154	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035155	0.986	0.0028	0	0	0	0	
13	0.11	23.4436	23.74333333	0	0	0	0	176.150	3.074397477	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035182	0.986	0.0028	0	0	0	0	
14	0.12	23.4536	23.76	0	0	0	0	176.400	3.078760801	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035208	0.986	0.0028	0	0	0	0	
15	0.13	23.4636	23.77666667	0	0	0	0	176.650	3.083124124	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035232	0.986	0.0028	0	0	0	0	
16	0.14	23.4736	23.79333333	0	0	0	0	176.900	3.087487447	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035255	0.986	0.0028	0	0	0	0	
17	0.15	23.4836	23.81	0	0	0	0	177.150	3.09185077	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035275	0.986	0.0028	0	0	0	0	
18	0.16	23.4936	23.82666667	0	0	0	0	177.400	3.096214093	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035294	0.986	0.0028	0	0	0	0	
19	0.17	23.5036	23.84333333	0	0	0	0	177.650	3.100577416	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035311	0.986	0.0028	0	0	0	0	
20	0.18	23.5136	23.86	0	0	0	0	177.900	3.104940739	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035327	0.986	0.0028	0	0	0	0	
21	0.19	23.5236	23.87666667	0	0	0	0	178.150	3.109304062	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035341	0.986	0.0028	0	0	0	0	
22	0.20	23.5336	23.89333333	0	0	0	0	178.400	3.113667386	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035353	0.986	0.0028	0	0	0	0	
23	0.21	23.5436	23.91	0	0	0	0	178.650	3.118030709	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035363	0.986	0.0028	0	0	0	0	
24	0.22	23.5536	23.92666667	0	0	0	0	178.900	3.122394032	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035371	0.986	0.0028	0	0	0	0	
25	0.23	23.5636	23.94333333	0	0	0	0	179.150	3.126757355	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035378	0.986	0.0028	0	0	0	0	
26	0.24	23.5736	23.96	0	0	0	0	179.400	3.131120678	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035383	0.986	0.0028	0	0	0	0	
27	0.25	23.5836	23.97666667	0	0	0	0	179.650	3.135484001	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035386	0.986	0.0028	0	0	0	0	
28	0.26	23.5936	23.99333333	0	0	0	0	179.900	3.139847324	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
29	0.27	0.0036	0.00166667	0	0	0	0	179.998	-3.14154902	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
30	0.28	0.0136	0.00044444	0	0	0	0	179.998	-3.1414763	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
31	0.29	0.0236	0.00072222	0	0	0	0	179.989	-3.14140358	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035383	0.986	0.0028	0	0	0	0	
32	0.30	0.0336	0.001	0	0	0	0	179.985	-3.14133085	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
33	0.31	0.0436	0.00127778	0	0	0	0	179.981	-3.14125813	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
34	0.32	0.0536	0.00155556	0	0	0	0	179.977	-3.14118541	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
35	0.33	0.0636	0.00183333	0	0	0	0	179.973	-3.14111269	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
36	0.34	0.0736	0.00211111	0	0	0	0	179.968	-3.14103997	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
37	0.35	0.0836	0.00238889	0	0	0	0	179.964	-3.14096724	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
38	0.36	0.0936	0.00266667	0	0	0	0	179.960	-3.14089452	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
39	0.37	0.1036	0.00294444	0	0	0	0	179.956	-3.1408218	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
40	0.38	0.1136	0.00322222	0	0	0	0	179.952	-3.14074908	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	
41	0.39	0.1236	0.0035	0	0	0	0	179.948	-3.14067634	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.035388	0.986	0.0028	0	0	0	0	



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
641	10:12:36	10.21	253.4957806	152.1891129	101.3064677	0.39964274	0.60035726	-26.850	-0.4866209	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.449031	0.986	1.26679	220.5266991	99.89014919	321.1277901	
642	10:13:36	10.2266667	257.9108005	155.6412097	102.2699588	0.396530871	0.603499129	-26.600	-0.4642578	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.448003	0.986	1.26761	225.3690129	100.8378224	326.9300759	
643	10:14:36	10.2433333	259.8037097	156.7325	103.0712097	0.398577244	0.603272756	-26.350	-0.45989426	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.446992	0.986	1.26691	229.7907142	101.6282127	329.1474767	
644	10:15:36	10.26	259.9728226	156.3651613	103.6076613	0.398526663	0.604767937	-26.100	-0.45553093	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.445997	0.986	1.26548	226.1035258	102.157154	328.989714	
645	10:16:36	10.2766667	262.6324194	156.6522581	103.9801613	0.395915179	0.604084821	-25.850	-0.45116761	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.445017	0.986	1.26609	229.2551981	102.524439	332.5161147	
646	10:17:36	10.2933333	265.375	161.183629	104.191371	0.392619391	0.607380609	-25.600	-0.44680429	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.444052	0.986	1.26702	232.7579598	102.7326918	336.2344893	
647	10:18:36	10.31	266.1780645	161.650806	104.5129839	0.392643113	0.607356887	-25.350	-0.44240497	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.443103	0.986	1.26643	233.2993414	103.0498021	337.0955451	
648	10:19:36	10.3266667	269.87	164.9368548	104.9331452	0.38828492	0.611171508	-25.100	-0.43807764	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.442168	0.986	1.2676	237.8666976	103.4640811	342.0875109	
649	10:20:36	10.3433333	276.3451613	170.9529839	105.3931774	0.383178769	0.618621231	-24.850	-0.43071432	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.441248	0.986	1.27043	246.3857019	103.9166869	351.0772335	
650	10:21:36	10.36	283.0618548	177.0495968	106.0125981	0.37451976	0.62548024	-24.600	-0.429351	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.440343	0.986	1.27299	255.0121204	104.5280865	360.3338427	
651	10:22:36	10.3766667	286.6584677	180.0203226	106.6381452	0.372004169	0.627995831	-24.350	-0.429498767	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.439452	0.986	1.27357	259.1305459	105.1452111	365.0794614	
652	10:23:36	10.3933333	297.2937903	180.0478226	107.2459677	0.373297201	0.626702799	-24.100	-0.424062435	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.438574	0.986	1.27243	259.0121994	105.7445242	365.5622172	
653	10:24:36	10.41	284.8348387	177.1652419	107.6695968	0.378007119	0.621992881	-23.850	-0.41626103	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.437711	0.986	1.26976	254.7124462	106.1622224	361.6732968	
654	10:25:36	10.4266667	281.7562903	174.0978226	107.6594677	0.382097832	0.621902188	-23.600	-0.4118977	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.436862	0.986	1.26739	250.1544661	106.1512492	357.0957366	
655	10:26:36	10.4433333	279.3384677	171.7272581	107.6112097	0.382525913	0.614784087	-23.350	-0.40753438	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.436025	0.986	1.26546	246.6047074	106.1046527	353.4926209	
656	10:27:36	10.46	279.5100806	171.9112903	107.5997903	0.38494954	0.615045046	-23.100	-0.40317106	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.435203	0.986	1.26508	246.7275316	106.0924073	353.6036791	
657	10:28:36	10.4766667	280.3190323	172.9083065	107.4107528	0.383173147	0.616826853	-22.850	-0.39880773	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.434393	0.986	1.26538	248.0184523	105.969756	354.7114257	
658	10:29:36	10.4933333	286.8095161	178.8662903	107.9432258	0.376358593	0.623641407	-22.600	-0.3944441	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.433596	0.986	1.26794	256.422038	106.4320006	363.6582133	
659	10:30:36	10.51	290.1420161	181.2392742	108.9027419	0.375342887	0.624657113	-22.350	-0.3908109	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.432812	0.986	1.26791	256.6318636	107.3781053	367.8749592	
660	10:31:36	10.5266667	296.4391935	185.9690323	110.4701613	0.37265707	0.62734293	-22.100	-0.38571776	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.432041	0.986	1.26862	266.3152382	108.923579	376.0699959	
661	10:32:36	10.5433333	295.8720161	184.6859677	111.1860484	0.375791026	0.624208974	-21.850	-0.38135444	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.431282	0.986	1.26675	264.3377458	109.6294437	374.7967499	
662	10:33:36	10.56	290.1328226	178.5659677	111.568548	0.384557171	0.615462829	-21.600	-0.37699112	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.430536	0.986	1.2624	255.4450027	110.0049189	366.2644451	
663	10:34:36	10.5766667	287.0800806	175.2329839	111.8470988	0.389602429	0.610397571	-21.350	-0.3762878	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.429801	0.986	1.2597	250.5483742	110.2812374	361.6346667	
664	10:35:36	10.5933333	286.4865323	174.6568594	111.8296774	0.390948862	0.609651188	-21.100	-0.36826447	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.429079	0.986	1.25893	249.5984703	110.2640619	360.6659875	
665	10:36:36	10.61	282.9827419	171.2674194	111.7153226	0.39477865	0.605221235	-20.850	-0.36390115	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.428369	0.986	1.25654	244.6330262	110.1513081	355.5778716	
666	10:37:36	10.6266667	283.3601613	171.0443548	112.3158065	0.396371197	0.603628803	-20.600	-0.35953783	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42767	0.986	1.25411	244.1949	110.7433852	355.7328905	
667	10:38:36	10.6433333	289.4301613	176.1304839	113.2996774	0.391457742	0.608542258	-20.350	-0.35517425	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.426983	0.986	1.25716	251.3351939	111.7134819	363.8602722	
668	10:39:36	10.66	291.628871	177.7153226	113.3153484	0.390611355	0.609388645	-20.100	-0.35081118	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.426207	0.986	1.25712	253.4766581	112.3187387	366.6131734	
669	10:40:36	10.6766667	294.5234677	180.2565323	114.2669355	0.38797226	0.61202774	-19.850	-0.34644786	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.425543	0.986	1.25788	256.9814542	112.6671984	370.7450992	
670	10:41:36	10.6933333	299.8724194	185.5212097	114.5012097	0.381328868	0.618667132	-19.600	-0.34208453	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42499	0.986	1.26039	264.3683834	112.7502927	377.9569386	
671	10:42:36	10.71	297.7923387	183.7679839	114.0243548	0.382898886	0.617101114	-19.350	-0.33772121	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.424348	0.986	1.25931	261.7495118	112.4280139	375.0125158	
672	10:43:36	10.7266667	299.5077419	185.8279839	113.6797581	0.379555324	0.62044676	-19.100	-0.33335789	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.423717	0.986	1.26038	264.5668358	112.0882415	377.4944058	
673	10:44:36	10.7433333	302.2975	188.2382629	113.366871	0.375024176	0.6249925824	-18.850	-0.32899406	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.423096	0.986	1.26198	268.8636307	111.7817068	381.4929986	
674	10:45:36	10.76	299.0876613	186.0744355	113.0132258	0.37859873	0.62140127	-18.600	-0.32463124	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.422487	0.986	1.26036	264.6884051	111.4310406	376.9580355	
675	10:46:36	10.7766667	295.5464516	182.8937903	112.6526613	0.381167962	0.618822638	-18.350	-0.32026792	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.421888	0.986	1.25855	260.0544213	111.075524	371.9586272	
676	10:47:36	10.7933333	292.9629839	180.728871	112.2341129	0.383909979	0.616900201	-18.100	-0.31590459	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.421299	0.986	1.25724	256.8697804	110.6638353	368.3540659	
677	10:48:36	10.81	297.4689516	185.4825806	112.006371	0.380595986	0.621949014	-17.850	-0.31154127	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.420721	0.986	1.25985	263.5189789	110.4382818	374.7913593	
678	10:49:36	10.8266667	297.6212903	185.0964516	112.5248387	0.378006069	0.621919391	-17.600	-0.30717795	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.420253	0.986	1.25881	262.863274	110.949491	374.662447	
679	10:50:36	10.8433333	298.9673887	185.9291935	113.0381452	0.378095298	0.621904702	-17.350	-0.30281463	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.419595	0.986	1.25846	263.941857	111.4556111	376.238057	
680	10:51:36	10.86	299.9479839	186.3908871	113.5570968	0.378599238	0.621410702	-17.100	-0.2984513	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.419047	0.986	1.2579	264.4975064	111.9672974	377.3058134	
681	10:52:36	10.8766667	304.409677	189.7043742	114.7646935	0.378576555	0.621323345	-16.850	-0.2940278	38.2178	0.66702											

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
827	13:45	13:18:36	286.8948387	175.0241129	111.8707258	0.389936348	0.610063652	19.650	0.342957198	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42512	0.986	1.25669	249.4302848	110.3045356	360.5392982	
828	13:46	13:19:36	289.5970968	177.711129	111.8896977	0.389590447	0.613494953	19.900	0.347320321	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42512	0.986	1.25669	253.37607	110.3195642	364.5076669	
829	13:47	13:20:36	284.8862097	172.3820968	111.9041129	0.392802842	0.607197158	20.150	0.351683884	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42512	0.986	1.25669	246.7488414	110.3374553	357.8851596	
830	13:48	13:21:36	285.1697581	173.3050806	111.8864674	0.392773985	0.60726015	20.400	0.356047167	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.427119	0.986	1.25688	247.3270479	110.2985719	358.4252746	
831	13:49	13:22:36	281.2897581	169.4548387	111.8349194	0.397579966	0.602420934	20.650	0.360410491	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.427809	0.986	1.25496	241.949117	110.2692905	353.0071543	
832	13:50	13:23:36	275.753226	167.8770161	111.4983065	0.399098633	0.600901377	20.900	0.364773814	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42851	0.986	1.25471	239.8139747	109.9373302	350.5347523	
833	13:51	13:24:36	279.7707258	168.713629	111.0570968	0.396957532	0.603042468	21.150	0.369117317	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42923	0.986	1.25609	241.1293414	109.502374	351.4161821	
834	13:52	13:25:36	274.6804032	164.081371	110.5990323	0.402466423	0.597335757	21.400	0.373500364	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.42947	0.986	1.25454	234.6277708	109.0506458	344.4486691	
835	13:53	13:26:36	270.3652419	160.1607258	110.2045161	0.407613476	0.592386524	21.650	0.377863783	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.430684	0.986	1.25223	229.1394005	108.6616529	338.5592836	
836	13:54	13:27:36	272.9247581	163.0479839	109.8767342	0.402589895	0.597410015	21.900	0.382227106	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.431433	0.986	1.25491	233.3922663	108.3384994	342.4961444	
837	13:55	13:28:36	274.3712903	164.6593348	109.7119355	0.399866675	0.600133325	22.150	0.3869590429	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.432194	0.986	1.25638	235.8241879	108.1759684	344.7695755	
838	13:56	13:29:36	278.3831452	168.5827419	109.8004032	0.394421879	0.605578121	22.400	0.390953752	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.432968	0.986	1.25948	241.5736878	108.2631976	350.6175224	
839	13:57	13:30:36	279.471371	169.881774	109.7841935	0.39282805	0.60711925	22.650	0.395317076	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.433755	0.986	1.26067	243.28976	108.2472148	352.3206539	
840	13:58	13:31:36	276.5327419	168.6595161	109.8732358	0.39447149	0.60552851	22.900	0.399680399	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.434554	0.986	1.26042	241.9511535	108.3350006	351.067211	
841	13:59	13:32:36	274.7710484	164.6927419	110.0783065	0.406618286	0.599381714	23.150	0.400403722	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.435366	0.986	1.25815	236.3943804	108.5372102	345.7021353	
842	14:00	13:33:36	272.7367742	162.2762903	110.4604839	0.405007864	0.594923236	23.400	0.408407045	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.436192	0.986	1.25666	233.0598405	108.9140371	342.7387433	
843	14:01	13:34:36	270.4173387	159.4772581	110.9400806	0.410255057	0.589744443	23.650	0.412730368	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.43703	0.986	1.25448	229.1736652	109.3869195	339.3189763	
844	14:02	13:35:36	272.0990323	161.1709677	110.9280645	0.407675336	0.592324664	23.900	0.417133691	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.437883	0.986	1.25647	231.74495	109.3750716	341.8831145	
845	14:03	13:36:36	271.1080645	160.7162903	110.9317742	0.407187949	0.592812651	24.150	0.421487014	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.438749	0.986	1.2572	231.2308665	108.8462894	340.8369666	
846	14:04	13:37:36	267.4031452	157.4004032	110.0027419	0.411374151	0.588625849	24.400	0.425860337	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.439629	0.986	1.25582	226.598144	108.4627035	335.8107921	
847	14:05	13:38:36	263.3475	153.3014516	109.4460484	0.415595547	0.584404453	24.650	0.430232661	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.440523	0.986	1.25443	221.6985495	107.9138037	330.3509475	
848	14:06	13:39:36	261.7152419	152.4866323	109.2287097	0.417357082	0.582642818	24.900	0.434586984	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.441431	0.986	1.25416	219.7988376	107.6995077	328.2232717	
849	14:07	13:40:36	260.1789516	150.5728226	109.606129	0.421272084	0.578272916	25.150	0.438950307	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.442354	0.986	1.25291	217.1793136	108.0716432	325.9806963	
850	14:08	13:41:36	261.1770968	150.8633871	110.3137097	0.422371299	0.577628701	25.400	0.44331363	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.443292	0.986	1.25295	217.7398543	108.7693177	327.2417172	
851	14:09	13:42:36	263.9392742	151.0859677	0.420899589	0.579100631	25.650	0.447676953	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.444244	0.986	1.25417	220.7372122	109.5307842	331.0082212		
852	14:10	13:43:36	267.8283065	156.0681452	111.7601613	0.417828258	0.582717142	25.900	0.452040276	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.445212	0.986	1.25464	225.5515048	110.1955119	336.4981949	
853	14:11	13:44:36	269.7330645	157.9583065	111.7747581	0.414390272	0.586609728	26.150	0.456403599	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.446195	0.986	1.2583	228.4384586	110.2099115	339.4048666	
854	14:12	13:45:36	266.7895161	155.2923387	111.4971774	0.417921885	0.582078115	26.400	0.460766923	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.447193	0.986	1.25726	224.7380216	109.9362169	335.4224998	
855	14:13	13:46:36	265.2298387	154.301129	110.9287097	0.418236162	0.581769838	26.650	0.465130246	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.448208	0.986	1.2577	223.4600733	109.3757077	333.5796697	
856	14:14	13:47:36	262.8465323	152.776371	110.0701613	0.418762083	0.581237917	26.900	0.469493569	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.449238	0.986	1.25806	221.4093385	108.529179	330.6757247	
857	14:15	13:48:36	259.4860484	150.4235484	109.0625	0.42031908	0.579698802	27.150	0.473856892	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.450285	0.986	1.25795	218.1569993	107.535625	326.4204149	
858	14:16	13:49:36	257.2044355	148.696774	108.5947581	0.42221184	0.57778816	27.400	0.478200215	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.451348	0.986	1.25768	215.6843936	107.0744315	323.4802269	
859	14:17	13:50:36	253.7894355	145.4005645	108.388871	0.427081887	0.572938113	27.650	0.482583538	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.452428	0.986	1.25603	211.1839111	106.8714288	318.767188	
860	14:18	13:51:36	248.8154839	140.6695161	108.1459677	0.434643239	0.565356761	27.900	0.486946861	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.453526	0.986	1.25312	204.4667535	106.6319242	311.7966169	
861	14:19	13:52:36	246.6914516	141.6226613	108.0687903	0.432809332	0.567190668	28.150	0.491310184	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.45464	0.986	1.25461	206.0100306	106.558273	313.2662443	
862	14:20	13:53:36	249.1493548	140.6807258	108.468629	0.435355885	0.56444415	28.400	0.495673508	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.455773	0.986	1.25406	204.799141	106.9500682	312.4480888	
863	14:21	13:54:36	251.8769355	142.5108065	109.366129	0.434204682	0.56579538	28.650	0.500036891	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.456923	0.986	1.25525	207.627266	107.8350032	316.1687642	
864	14:22	13:55:36	257.7775	147.7220968	110.0554032	0.426939524	0.573060476	28.900	0.504400154	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.458091	0.986	1.25984	215.3922837	108.5146276	324.6299466	
865	14:23	13:56:36	256.3914516	146.2754839	110.1159677	0.434948377	0.570516228	29.150	0.508763477	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.459278	0.986	1.25882	213.4569684	108.5743442	322.7501143	
866	14:24	13:57:36	256.4733871	146.3409677	110.1324194	0.42941071	0.57058929	29.400	0.513132288	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.460484	0.986	1.25954	213.728618	108.5905655	323.0385751	
867	14:25	13:58:36	254.3672419	144.5148387	109.8529032	0.431866487	0.568133313	29.650	0.517490123	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	1.461709	0.986	1.25907	211.2386019	108.		

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1016	16:27:36	16:46	17:02:426613	4.532491935	12.54177419	0.734542504	0.265454766	66.900	1.16762527	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	0.409478	0.986	1.80203	18.3542251	12.38618935	30.76841873	
1017	16:28:36	16:47:666667	15.80870161	3.863782258	11.94491935	0.755591423	0.244408377	67.150	1.171988593	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	0.4273383	0.986	1.79203	16.5075566	11.77769048	28.32970038	
1018	16:29:36	16:48:333333	14.67095161	3.274837097	11.39656452	0.776811554	0.223138846	67.400	1.1761631916	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	4.53033	0.986	1.78047	14.84289495	11.23701261	26.12116826	
1019	16:30:36	16:51	13.60980645	2.7519767742	10.85183871	0.797354374	0.202645626	67.650	1.1807102539	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	4.841884	0.986	1.77019	13.35375928	10.89991297	24.09195459	
1020	16:31:36	16:52:666667	13.09889516	2.71957806	10.38491935	0.7928088	0.2071912	67.900	1.185078562	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	5.213671	0.986	1.86475	14.14977599	10.23953048	24.42815041	
1021	16:32:36	16:53:333333	11.94925806	2.026008065	9.93225	0.830449049	0.169550951	68.150	1.189441885	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	5.624613	0.986	1.78296	11.48705181	9.7843245	21.30499628	
1022	16:33:36	16:54	11.21025	1.778395161	9.431854839	0.841359902	0.158640098	68.400	1.193805208	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	6.242613	0.986	1.82272	11.10183212	9.298808871	20.43318434	
1023	16:34:36	16:55:666667	10.91252226	2.038604839	8.87937419	0.813186221	0.186813179	68.650	1.198168531	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	6.98345	0.986	2.10922	14.23648554	8.749692435	23.016887	
1024	16:35:36	16:56:333333	10.06760484	1.754556452	8.313048387	0.825272555	0.174274445	68.900	1.202511855	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	7.978914	0.986	2.20752	13.99945424	8.19666571	22.22444475	
1025	16:36:36	16:57	9.332548387	1.568598774	7.769351613	0.831921924	0.168078076	69.150	1.206895178	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	8.387475	0.986	2.40092	14.72516322	7.65525629	22.40667751	
1026	16:37:36	16:58:666667	8.48841129	1.285975806	7.202435484	0.84580218	0.15149782	69.400	1.211298501	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	11.53354	0.986	2.56674	14.8318503	7.101601387	21.95733765	
1027	16:38:36	16:59:333333	7.43366129	0.605282258	6.638379032	0.846397519	0.083560265	69.650	1.212561824	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	15.20161	0.986	2.17668	9.20126506	6.545441726	15.76710067	
1028	16:39:36	16:60	6.354362903	0.277604839	6.076758065	0.856312719	0.043687281	69.900	1.219985187	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	22.90018	0.986	1.94619	6.357199837	5.991683452	12.3667893	
1029	16:40:36	16:61:666667	5.624669355	0.09991935	5.524677419	0.862222611	0.017777889	70.150	1.224348487	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	49.37071	0.986	1.84897	4.936673042	5.447331935	10.39984869	
1030	16:41:36	16:62:333333	4.985604839	-0.022314516	5.007919355	1.004475789	-0.004475789	70.400	1.228711793	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-218.663	0.986	1.97192	4.879350832	4.937808484	8.831205285	
1031	16:42:36	16:63	4.331306452	-0.147177419	4.478483871	1.039799114	-0.039799114	70.650	1.233075117	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-32.3118	0.986	2.12027	4.755563958	4.415785097	9.183554414	
1032	16:43:36	16:64:666667	3.697830645	-0.330580645	4.028441129	1.089398536	-0.089398536	70.900	1.237438844	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-16.9406	0.986	2.5917	5.601229283	3.972013532	9.588667486	
1033	16:44:36	16:65	3.097927419	-0.49658871	3.594516129	1.160297077	-0.160297077	71.150	1.241801671	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-11.2418	0.986	2.9489	5.582533412	3.544192903	9.135464505	
1034	16:45:36	16:66	2.678491935	-0.512645161	3.19137097	1.191393207	-0.19139321	71.400	1.246165086	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-8.2683	0.986	2.76003	4.238703869	3.146461177	7.392721945	
1035	16:46:36	16:67:666667	2.202943548	-0.606951613	2.809895161	1.27551846	-0.27551846	71.650	1.250558409	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-6.443	0.986	3.03565	3.910589173	2.770556629	6.68726501	
1036	16:47:36	16:68:333333	1.830169355	-0.658024194	2.488193548	1.359542789	-0.359542789	71.900	1.254891732	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-5.20848	0.986	3.21601	3.427307153	2.453358839	5.885896115	
1037	16:48:36	16:69	1.470145161	-0.693453458	2.16408871	1.472023829	-0.47202383	72.150	1.259255055	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-4.31789	0.986	3.49239	2.996937978	2.133791468	5.194220279	
1038	16:49:36	16:70:666667	1.191209677	-0.680403226	1.871612903	1.571186785	-0.57118678	72.400	1.263618378	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-3.64509	0.986	3.69405	2.480133622	1.845410323	4.328914467	
1039	16:50:36	16:84:333333	1.074612903	-0.503717742	1.578330645	1.468743433	-0.46874343	72.650	1.267981702	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-3.11891	0.986	2.91298	1.571050065	1.556234016	3.130322325	
1040	16:51:36	16:86	0.917008065	-0.395120968	1.312129032	1.430880581	-0.43088058	72.900	1.272345025	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-2.69613	0.986	2.57539	1.065298356	1.293759226	2.361649484	
1041	16:52:36	16:87:666667	0.735532258	-0.33722806	1.072758065	1.458478609	-0.45847861	73.150	1.276708348	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-2.94901	0.986	2.51786	0.792147396	1.057798452	1.851966759	
1042	16:53:36	16:89:333333	0.732653226	-0.33064516	0.86717742	1.189439855	-0.18943986	73.400	1.281071671	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-2.05892	0.986	1.59015	0.278006679	0.855569694	1.135723315	
1043	16:54:36	16:91	0.607467742	-0.092935484	0.700403226	1.152988344	-0.15298834	73.650	1.28544994	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-1.81286	0.986	1.41701	0.168479455	0.690597581	0.860790398	
1044	16:55:36	16:92:666667	0.398354839	-0.169395977	0.562314516	1.141592032	-0.41159203	73.900	1.289798317	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-1.60154	0.986	2.05384	0.26258748	0.544442113	0.818155368	
1045	16:56:36	16:94:333333	0.514854839	0.07575806	0.439129032	0.852918142	0.147801858	74.150	1.29416164	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-1.41807	0.986	0.69522	-0.107384599	0.432981226	0.327045452	
1046	16:57:36	16:96	0.479516129	0.146129032	0.333307097	0.695273216	0.304742884	74.400	1.298524963	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-1.25723	0.986	0.30518	-0.183728299	0.328719677	0.146393132	
1047	16:58:36	16:97:666667	0.572169355	0.308072581	0.264096774	0.461570988	0.538429012	74.650	1.302888287	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-1.11526	0.986	0.14258	-0.343582554	0.260399419	0.081577842	
1048	16:59:36	16:99:333333	0.515798387	0.307177419	0.208620968	0.404462234	0.59553766	74.900	1.307251611	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.98887	0.986	0.1873	-0.30375838	0.205700274	0.0596611601	
1049	17:00:36	17:01	0.369677419	0.189032258	0.180645161	0.180645161	0.488656195	75.150	1.311614933	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.87567	0.986	0.03685	-0.165529658	0.178116129	0.013623863	
1050	17:01:36	17:02:666667	0.318112903	0.165790323	0.15322581	0.478653121	0.511348005	75.400	1.315949759	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.7737	0.986	0.02171	-0.128272199	0.150190665	0.02281049	
1051	17:02:36	17:03:333333	0.309491935	0.187556452	0.132193584	0.399895891	0.606014019	75.650	1.320341578	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.68138	0.986	0.02165	-0.112796449	0.120228387	0.006700193	
1052	17:03:36	17:06	0.28941129	0.196645161	0.092766129	0.320533998	0.67946102	75.900	1.324704902	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.59739	0.986	0.08706	-0.117473516	0.091467403	0.025195011	
1053	17:04:36	17:07:666667	0.27508871	0.205	0.07008871	0.254785846	0.745214154	76.150	1.329068225	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.52066	0.986	0.13398	-0.106725165	0.069107468	0.036857124	
1054	17:05:36	17:09:333333	0.275080645	0.186758065	0.088322581	0.321078663	0.67891137	76.400	1.334341549	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.45029	0.986	0.01368	-0.084095	0.087086065	0.003762007	
1055	17:06:36	17:11	0.282741935	0.133169355	0.149572581	0.529007416	0.470992584	76.650	1.337979482	38.2178	0.667026	13.58	0.237016	-23.12	-0.40352	-0.38552	0.986	0.34823	-0.051339194	0.147478555	0.096933049	
1056	17:07:36	17:13	0.23306452	0.137572581	0.1652																	

# Μέρος μετρήσεων τάσης-ρεύματος (I-V) και θερμοκρασιών για διάφορα φορτία του φωτοβολταϊκού πλαισίου A (1<sup>η</sup> μέτρηση) κατά την πειραματική διαδικασία

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
CR1000_PVpanel	CR1000	4649	CR1000.Std1.22	VE_12V_1k	24439	Output	Counter	TC_1_Avg	TC_2_Avg	TC_3_Avg	TC_4_Avg	WP_Temp_Avg	Panel_Temp_Avg	Batt_Volt_Min	SolarRad
RECORD	Array_ID	Stn_Code	Exc	Reyma	V_Panel	V_Load	Counter	Avg	Avg	Avg	Avg	Deg C	Panel_Temp_Avg	Batt_Volt_Min	SolarRad
RN	Smp	Smp	Smp	mAmber	Smp	Smp	Smp	Avg	Avg	Avg	Avg	Deg C	Panel_Temp_Avg	Batt_Volt_Min	SolarRad
188801	350	568	0	0	19.16266	19.16	0	46.87	47.86	47.39	45.17	17.31	33.51	13.78	1495
188802	350	568	1300	0.011496	19.14894	19.15	1	46.87	47.86	47.39	45.17	17.31	33.54	13.78	1478
188803	350	568	1302	0.012171	19.14894	19.15	2	46.89	47.86	47.39	45.17	17.31	33.54	13.56	1462
188804	350	568	1304	0.012847	19.14207	19.14	3	46.89	47.86	47.41	45.17	17.31	33.54	13.43	1445
188805	350	568	1306	0.013522	19.13521	19.13	4	46.89	47.86	47.41	45.17	17.31	33.56	13.45	1426
188806	350	568	1308	0.014223	19.13521	19.13	5	46.92	47.86	47.41	45.17	17.31	33.56	13.44	1407
188807	350	568	1310	0.014959	19.13521	19.13	6	46.92	47.86	47.41	45.17	17.31	33.56	13.3	1389
188808	350	568	1312	0.015709	19.13521	19.13	7	46.92	47.86	47.41	45.17	17.31	33.56	13.23	1371
188809	350	568	1314	0.016495	19.13521	19.13	8	46.92	47.86	47.43	45.17	17.31	33.56	13.31	1352
188810	350	568	1316	0.017318	19.13521	19.13	9	46.92	47.86	47.43	45.17	17.31	33.59	13.24	1332
188811	350	568	1318	0.018177	19.13521	19.13	10	46.92	47.86	47.43	45.17	17.31	33.59	13.27	1316
188812	350	568	1320	0.019086	19.13521	19.13	11	46.94	47.86	47.43	45.19	17.31	33.59	13.36	1298
188813	350	568	1322	0.02002	19.13521	19.13	12	46.94	47.86	47.43	45.19	17.31	33.56	13.21	1277
188814	350	568	1324	0.021002	19.13521	19.13	13	46.94	47.86	47.43	45.19	17.31	33.56	13.36	1259
188815	350	568	1326	0.022022	19.12148	19.12	14	46.94	47.86	47.43	45.19	17.31	33.56	13.39	1240
188816	350	568	1328	0.02309	19.12148	19.12	15	46.96	47.86	47.46	45.19	17.31	33.56	13.38	1219
188817	350	568	1330	0.024208	19.12148	19.12	16	46.96	47.86	47.46	45.19	17.31	33.56	13.13	1199
188818	350	568	1332	0.025375	19.12148	19.12	17	46.96	47.86	47.46	45.22	17.31	33.56	13.28	1181
188819	350	568	1334	0.026567	19.12148	19.12	18	46.96	47.86	47.46	45.22	17.31	33.56	13.24	1162
188820	350	568	1336	0.02782	19.11462	19.11	19	46.96	47.86	47.46	45.22	17.31	33.56	13.14	1145
188821	350	568	1338	0.029146	19.10776	19.11	20	46.96	47.86	47.48	45.22	17.31	33.54	13.08	1127
188822	350	568	1340	0.03051	19.10776	19.11	21	46.99	47.86	47.48	45.22	17.31	33.54	13.2	1108
188823	350	568	1342	0.031947	19.10776	19.11	22	46.99	47.86	47.48	45.22	17.31	33.56	13.11	1088
188824	350	568	1344	0.033457	19.10776	19.11	23	47.01	47.86	47.48	45.22	17.31	33.56	13.18	1071
188825	350	568	1346	0.034968	19.10776	19.11	24	47.01	47.86	47.48	45.22	17.31	33.56	13.08	1052
188826	350	568	1348	0.036589	19.09403	19.09	25	47.01	47.86	47.48	45.24	17.31	33.56	13.05	1035
188827	350	568	1350	0.038248	19.09403	19.09	26	47.01	47.86	47.48	45.24	17.31	33.56	13.15	1019
188828	350	568	1352	0.039879	19.09403	19.09	27	47.01	47.86	47.48	45.24	17.31	33.56	13.16	1002
188829	350	568	1354	0.041822	19.09403	19.09	28	47.01	47.86	47.5	45.24	17.31	33.56	13.11	984
188830	350	568	1356	0.043701	19.08717	19.08	29	47.01	47.86	47.5	45.24	17.31	33.56	13.14	968
188831	350	568	1358	0.045654	19.0803	19.08	30	47.01	47.86	47.5	45.24	17.31	33.59	13.3	952
188832	350	568	1360	0.04768	19.0803	19.08	31	47.03	47.86	47.5	45.24	17.31	33.56	13.14	936
188833	350	568	1362	0.049781	19.0803	19.08	32	47.03	47.86	47.5	45.27	17.31	33.59	13.13	922
188834	350	568	1364	0.051955	19.07344	19.07	33	47.03	47.86	47.53	45.27	17.31	33.56	13.13	906
188835	350	568	1366	0.054239	19.06658	19.06	34	47.06	47.86	47.53	45.27	17.31	33.59	13.07	888
188836	350	568	1368	0.056598	19.06658	19.06	35	47.06	47.86	47.53	45.27	17.31	33.59	13.1	870
188837	350	568	1370	0.059029	19.06658	19.06	36	47.06	47.86	47.53	45.27	17.31	33.61	13.12	853

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
188977	350	568	1650	1.895228	3.102265	2.998	176	47.6	47.83	48.02	45.69	17.34	33.78	12.96	646.2	
188978	350	568	1652	1.895228	2.676733	2.573	177	47.6	47.83	48.02	45.71	17.34	33.78	13.12	644	
188979	350	568	1654	1.896469	2.271791	2.168	178	47.62	47.83	48.02	45.71	17.34	33.78	12.92	642.2	
188980	350	568	1656	1.897712	1.88744	1.783	179	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.78	13.01	640.9	
188981	350	568	1658	1.896469	1.537406	1.433	180	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.78	12.99	640	
188982	350	568	1660	1.897712	1.242279	1.138	181	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.78	13.06	637.8	
188983	350	568	1662	1.897712	1.002059	0.898	182	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.78	13.21	637.5	
188984	350	568	1664	1.897712	0.8236102	0.719	183	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.8	13.05	638.8	
188985	350	568	1666	1.898953	0.7069321	0.603	184	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.83	12.98	638.1	
188986	350	568	1668	1.898953	0.6314344	0.527	185	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.83	13.01	641.5	
188987	350	568	1670	1.900195	0.5833905	0.479	186	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.83	12.96	642.2	
188988	350	568	1672	1.900195	0.5490735	0.445	187	47.64	47.83	48.02	45.71	17.34	33.83	13.03	644.9	
188989	350	568	1674	1.900195	0.5216198	0.417	188	47.67	47.85	48.04	45.74	17.36	33.85	13.05	647.4	
188990	350	568	1676	1.900195	0.4941661	0.39	189	47.67	47.85	48.04	45.74	17.36	33.85	13.01	648.7	
188991	350	568	1678	1.900195	0.4667124	0.362	190	47.69	47.85	48.04	45.74	17.36	33.85	13.09	646.8	
188992	350	568	1680	1.900195	0.4529856	0.349	191	47.69	47.85	48.02	45.71	17.34	33.83	13.04	643.7	
188993	350	568	1682	1.900195	0.4392588	0.335	192	47.71	47.85	48.04	45.76	17.36	33.85	13.08	640	
188994	350	568	1684	1.900195	0.4186685	0.314	193	47.69	47.83	48.02	45.76	17.34	33.83	12.95	636.9	
188995	350	568	1686	1.901437	0.4118051	0.307	194	47.71	47.85	48.04	45.76	17.36	33.85	13.03	637.8	
188996	350	568	1688	1.900195	0.3980782	0.294	195	47.71	47.85	48.04	45.76	17.36	33.85	13.07	637.8	
188997	350	568	1690	1.901437	0.3843514	0.28	196	47.71	47.85	48.07	45.78	17.36	33.83	13.11	632.3	
188998	350	568	1692	1.900195	0.3706246	0.266	197	47.71	47.85	48.07	45.78	17.36	33.85	13.11	632.3	
188999	350	568	1694	1.900195	0.3637612	0.259	198	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.13	632.3	
189000	350	568	1696	1.900195	0.3568977	0.252	199	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.09	631	
189001	350	568	1698	1.901437	0.3431709	0.239	200	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.11	630.4	
189002	350	568	1700	1.898953	0.3431709	0.239	201	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.06	628.6	
189003	350	568	1702	1.902679	0.3294441	0.225	202	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.09	624.2	
189004	350	568	1704	1.900195	0.3294441	0.225	203	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.05	623.6	
189005	350	568	1706	1.902679	0.3225806	0.218	204	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.16	624.9	
189006	350	568	1708	1.902679	0.3157172	0.211	205	47.71	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.11	626.1	
189007	350	568	1710	1.901437	0.3157172	0.211	206	47.74	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.09	626.4	
189008	350	568	1712	1.902679	0.3019904	0.197	207	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.19	628.9	
189009	350	568	1714	1.901437	0.3019904	0.198	208	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.32	628.3	
189010	350	568	1716	1.902679	0.3019904	0.197	209	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.24	628.6	
189011	350	568	1718	1.902679	0.295127	0.191	210	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.19	627	
189012	350	568	1720	1.902679	0.2882636	0.184	211	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.19	629.2	
189013	350	568	1722	1.902679	0.2882636	0.184	212	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.25	632.6	
189014	350	568	1724	1.902679	0.2882636	0.184	213	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.11	636	
189015	350	568	1726	1.903921	0.2814001	0.177	214	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.1	639.7	
189016	350	568	1728	1.903921	0.2745367	0.17	215	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.03	641.5	
189017	350	568	1730	1.903921	0.2745367	0.17	216	47.76	47.85	48.09	45.78	17.36	33.85	13.04	643.4	

Panel Output / PANEA 1 A / PANEA 1 B / PANEA 2 A / PANEA 2 B

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
189142	350	568	1980	1.907634	0.1853123	0.08	341	48.02	47.78	48.21	45.9	17.39	34.07	13	704.6	
189143	350	568	1982	1.907634	0.1853123	0.08	342	48.02	47.78	48.21	45.9	17.39	34.07	13.24	705.2	
189144	350	568	1984	1.907634	0.1853123	0.08	343	48.02	47.78	48.16	45.9	17.39	34.07	13.28	704	
189145	350	568	1986	1.907634	0.1853123	0.08	344	48.04	47.76	48.18	45.9	17.39	34.07	13.29	702.7	
189146	350	568	1988	1.907634	0.1784489	0.074	345	48.02	47.78	48.16	45.9	17.39	34.07	13.28	699.6	
189147	350	568	1990	1.907634	0.1784489	0.074	346	48.04	47.78	48.18	45.9	17.39	34.07	13.27	699	
189148	350	568	1992	1.907634	0.1853123	0.08	347	48.02	47.76	48.18	45.9	17.39	34.07	13.19	698.1	
189149	350	568	1994	1.908876	0.1784489	0.074	348	48.04	47.74	48.16	45.9	17.39	34.07	12.88	697.2	
189150	350	568	1996	1.908876	0.1784489	0.074	349	48.07	47.74	48.18	45.9	17.39	34.07	12.93	692.8	
189151	350	568	1998	1.908876	0.1784489	0.074	350	48.04	47.74	48.18	45.9	17.39	34.07	13.1	691	
189152	350	568	2000	1.908876	0.1784489	0.074	351	48.04	47.74	48.18	45.9	17.39	34.07	13.05	691.6	
189153	350	568	2002	1.908876	0.1784489	0.074	352	48.07	47.74	48.18	45.9	17.39	34.07	13.22	689.8	
189154	350	568	2004	1.908876	0.1784489	0.074	353	48.07	47.74	48.18	45.9	17.39	34.07	13.21	688.5	
189155	350	568	2006	1.908876	0.1784489	0.074	354	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.2	687.9	
189156	350	568	2008	1.908876	0.1784489	0.074	355	48.04	47.74	48.18	45.9	17.39	34.07	13.16	688.8	
189157	350	568	2010	1.908876	0.1784489	0.074	356	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.15	687.9	
189158	350	568	2012	1.908876	0.1784489	0.074	357	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.21	686.7	
189159	350	568	2014	1.908876	0.1784489	0.074	358	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.2	687	
189160	350	568	2016	1.908876	0.1784489	0.074	359	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.06	686.5	
189161	350	568	2018	1.908876	0.1784489	0.074	360	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.12	13.11	689.1	
189162	350	568	2020	1.908876	0.1784489	0.074	361	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.12	13.34	691	
189163	350	568	2022	1.908876	0.1784489	0.074	362	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.34	693.5	
189164	350	568	2024	1.908876	0.1784489	0.074	363	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.16	695.3	
189165	350	568	2026	1.908876	0.1784489	0.074	364	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.22	697.8	
189166	350	568	2028	1.907634	0.1784489	0.074	365	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	12.99	702.1	
189167	350	568	2030	1.908876	0.1784489	0.074	366	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	12.97	705.2	
189170	350	568	2036	1.908876	0.1784489	0.074	369	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.08	706.1	
189171	350	568	2038	1.910118	0.1784489	0.073	370	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.13	714.8	
189172	350	568	2040	1.910118	0.1784489	0.073	371	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	12.94	717.3	
189173	350	568	2042	1.910118	0.1784489	0.073	372	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	12.99	717.3	
189174	350	568	2044	1.910118	0.1784489	0.073	373	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.14	717.3	
189175	350	568	2046	1.910118	0.1784489	0.073	374	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.2	718.5	
189176	350	568	2048	1.908876	0.1784489	0.074	375	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.14	721	
189177	350	568	2050	1.908876	0.1784489	0.074	376	48.11	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.24	724.1	
189178	350	568	2052	1.908876	0.1784489	0.074	377	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.24	724.7	
189179	350	568	2054	1.910118	0.1784489	0.073	378	48.09	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.43	723.4	
189180	350	568	2056	1.910118	0.1784489	0.073	379	48.09	47.76	48.18	45.93	17.41	34.09	13.29	725.3	
189181	350	568	2058	1.910118	0.1784489	0.073	380	48.11	47.76	48.21	45.93	17.41	34.09	13.18	725.6	
189182	350	568	2060	1.908876	0.1784489	0.074	381	48.11	47.76	48.18	45.93	17.41	34.09	13.28	723.3	

Panel Output

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
189313	350	568	2322	1.910118	0.1784489	0.073	512	48.42	47.76	48.37	46.12	17.46	34.34	13.27	721.6	
189314	350	568	2324	1.910118	0.1784489	0.073	513	48.42	47.76	48.37	46.12	17.46	34.34	13.28	724.7	
189315	350	568	2326	1.910118	0.1784489	0.073	514	48.42	47.76	48.37	46.12	17.46	34.34	13	728.4	
189316	350	568	2328	1.910118	0.1784489	0.073	515	48.42	47.76	48.37	46.12	17.46	34.34	13.13	733	
189317	350	568	2330	1.910118	0.1784489	0.073	516	48.44	47.79	48.37	46.14	17.46	34.34	13.33	734.6	
189318	350	568	2332	1.908876	0.1784489	0.074	517	48.44	47.79	48.37	46.14	17.46	34.34	13.24	735.8	
189319	350	568	2334	1.910118	0.1784489	0.073	518	48.44	47.79	48.4	46.14	17.46	34.34	13.2	735.2	
189320	350	568	2336	1.910118	0.1784489	0.073	519	48.44	47.79	48.4	46.14	17.46	34.34	13.24	736.4	
189321	350	568	2338	1.908876	0.1784489	0.074	520	48.44	47.79	48.42	46.16	17.46	34.34	13.26	738.9	
189322	350	568	2340	1.910118	0.1784489	0.073	521	48.44	47.79	48.42	46.16	17.46	34.34	13.29	740.7	
189323	350	568	2342	1.910118	0.1784489	0.073	522	48.47	47.79	48.42	46.16	17.46	34.34	13.27	743.2	
189324	350	568	2344	1.908876	0.1784489	0.074	523	48.47	47.79	48.42	46.16	17.46	34.34	13.29	745.7	
189325	350	568	2346	1.910118	0.1784489	0.073	524	48.47	47.79	48.42	46.16	17.46	34.34	13.27	748.2	
189326	350	568	2348	1.908876	0.1784489	0.074	525	48.47	47.81	48.42	46.16	17.46	34.34	13.29	748.5	
189327	350	568	2350	1.907634	0.1784489	0.074	526	48.47	47.81	48.42	46.16	17.46	34.34	13.28	747.9	
189328	350	568	2352	1.908876	0.1784489	0.074	527	48.47	47.81	48.42	46.16	17.46	34.34	13.29	746.6	
189329	350	568	2354	1.908876	0.1784489	0.074	528	48.47	47.81	48.42	46.16	17.46	34.34	13.28	744.5	
189330	350	568	2356	1.908876	0.1784489	0.074	529	48.47	47.81	48.42	46.16	17.46	34.36	13.29	745.7	
189331	350	568	2358	1.908876	0.1784489	0.074	530	48.47	47.81	48.42	46.16	17.46	34.36	13.28	743.8	
189332	350	568	2360	1.908876	0.1784489	0.074	531	48.49	47.81	48.44	46.16	17.46	34.36	13.29	742.3	
189333	350	568	2362	1.907634	0.1784489	0.074	532	48.49	47.81	48.44	46.16	17.46	34.36	13.28	743.8	
189334	350	568	2364	1.907634	0.1784489	0.074	533	48.49	47.81	48.44	46.16	17.46	34.34	13.28	745.7	
189335	350	568	2366	1.908876	0.1784489	0.074	534	48.49	47.81	48.47	46.16	17.46	34.34	13.26	746.6	
189336	350	568	2368	1.910118	0.1784489	0.073	535	48.49	47.81	48.47	46.16	17.46	34.34	13.25	748.5	
189337	350	568	2370	1.910118	0.1784489	0.073	536	48.51	47.81	48.47	46.19	17.46	34.34	13.25	751.9	
189338	350	568	2372	1.907634	0.1784489	0.074	537	48.51	47.81	48.47	46.19	17.46	34.34	13.28	754.3	
189339	350	568	2374	1.907634	0.1784489	0.074	538	48.51	47.81	48.47	46.19	17.46	34.34	13.21	755	
189340	350	568	2376	1.907634	0.1784489	0.074	539	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.12	753.1	
189341	350	568	2378	1.908876	0.1784489	0.073	540	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.2	751.9	
189342	350	568	2380	1.910118	0.1784489	0.073	541	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.22	755.9	
189343	350	568	2382	1.908876	0.1784489	0.074	542	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.2	757.1	
189344	350	568	2384	1.910118	0.1784489	0.073	543	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.24	757.7	
189345	350	568	2386	1.908876	0.1784489	0.074	544	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.2	756.2	
189346	350	568	2388	1.908876	0.1784489	0.074	545	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.25	755.3	
189347	350	568	2390	1.908876	0.1784489	0.074	546	48.51	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.22	752.5	
189348	350	568	2392	1.908876	0.1784489	0.074	547	48.54	47.81	48.47	46.21	17.46	34.34	13.24	751.9	
189349	350	568	2394	1.908876	0.1784489	0.074	548	48.54	47.81	48.49	46.21	17.46	34.34	13.27	751.3	
189350	350	568	2396	1.910118	0.1784489	0.073	549	48.54	47.81	48.51	46.21	17.46	34.34	13.3	751.9	
				47.81115	47.8082	48.04215	45.77275									
189533	350	568	1300	0.012025	19.05403	19.09	1	48.65	48.35	49.24	47.1	17.59	34.87	13.63	455.8	

Panel Output

## Μετρήσεις ολικής ακτινοβολίας στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών για το πλαίσιο A (1<sup>η</sup> μέτρηση) κατά την πειραματική διαδικασία

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1				Όρα					Ir-->102					
2	105	2014	353	1	15.63	13.84	6.062	12.95	6.317	12.5	6.036	12.72	6.215	10.74
3	102	2014	353	1	13.84	5792	12.13	14.71	-26.17					
4	105	2014	353	1	15.63	13.84	6.087	13.11	6.394	10.42	6.011	12.56	6.241	10.54
5	102	2014	353	1	13.84	5792	12.03	14.44	-26.9					
6	105	2014	353	2	15.61	13.84	5.988	13.1	6.32	9.93	6.064	12.75	6.166	10.56
7	102	2014	353	2	13.84	5792	12.16	14.39	-26.59					
8	105	2014	353	2	15.61	13.84	6.013	12.97	6.218	11.13	6.09	12.73	6.141	10.64
9	102	2014	353	2	13.84	5792	12.23	14.51	-27.08					
10	105	2014	353	3	15.61	13.84	6.013	12.97	6.218	11.17	6.09	12.75	6.141	10.64
11	102	2014	353	3	13.84	5792	12.21	14.51	-27.32					
12	105	2014	353	3	15.61	13.84	6.09	12.89	6.269	11.99	6.064	12.56	6.166	10.66
13	102	2014	353	3	13.84	5792	12.11	14.63	-27.45					
14	105	2014	353	4	15.58	13.84	5.965	12.91	6.22	12.63	5.99	12.65	6.143	10.69
15	102	2014	353	4	13.84	5792	12.09	14.63	-27.08					
16	105	2014	353	4	15.58	13.84	5.99	13.1	6.245	9.22	6.015	12.59	6.118	10.44
17	102	2014	353	4	13.84	5792	12.06	14.27	-27.81					
18	105	2014	353	5	15.58	13.85	6.041	13.02	6.245	11.4	5.99	12.49	6.143	10.55
19	102	2014	353	5	13.85	5792	12.01	14.55	-27.39					
20	105	2014	353	5	15.56	13.85	6.043	12.86	6.197	11.92	5.967	12.53	6.069	10.61
21	102	2014	353	5	13.85	5792	12.06	14.54	-27.63					
22	105	2014	353	6	15.56	13.84	6.043	13.02	6.248	10.79	5.916	12.51	6.095	10.49
23	102	2014	353	6	13.84	5792	11.99	14.43	-27.57					
24	105	2014	353	6	15.56	13.85	5.992	13	6.222	11.08	5.89	12.51	6.069	10.53
25	102	2014	353	6	13.85	5792	11.96	14.51	-27.51					
26	105	2014	353	7	15.56	13.85	5.967	13.08	6.248	10.14	5.916	12.51	6.095	10.47
27	102	2014	353	7	13.85	5792	11.96	14.31	-27.63					
28	105	2014	353	7	15.54	13.85	5.944	12.92	6.122	11.02	5.969	12.7	6.046	10.57
29	102	2014	353	7	13.85	5792	12.17	14.44	-27.33					
30	105	2014	353	8	15.54	13.84	5.944	12.86	6.148	12.33	5.918	12.64	6.071	10.65
31	102	2014	353	8	13.84	5792	12.12	14.6	-27.02					
32	105	2014	353	8	15.54	13.85	5.969	13.06	6.276	10.25	5.893	12.49	6.097	10.49
33	102	2014	353	8	13.85	5792	11.99	14.31	-27.33					
34	105	2014	353	9	15.52	13.85	5.895	12.95	6.176	10.09	5.921	12.68	6.048	10.54
35	102	2014	353	9	13.85	5792	12.12	14.3	-27.14					
36	105	2014	353	9	15.52	13.85	5.997	12.84	6.202	12.5	5.972	12.62	6.125	10.64
37	102	2014	353	9	13.85	5792	12.07	14.54	-26.41					
38	105	2014	353	10	15.52	13.85	5.997	12.82	6.227	12.29	5.946	12.5	6.099	10.64
39	102	2014	353	10	13.85	5792	12.07	14.52	-26.78					
40	105	2014	353	10	15.52	13.84	5.997	13.07	6.227	9.27	6.048	12.62	6.15	10.43
41	102	2014	353	10	13.84	5792	12.07	14.26	-26.84					

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
3092	105	2014	353	1253	16.18	13.84	46.83	14.42	45.65	57.44	44.3	13.35	30.11	36.71		
3093	102	2014	353	1253	13.84	5792	18.05	53.83	642.2							
3094	105	2014	353	1254	16.2	13.83	46.97	14.6	45.84	57.51	44.49	13.41	30.44	36.69		
3095	102	2014	353	1254	13.83	5792	18.33	53.78	642.8							
3096	105	2014	353	1254	16.23	13.84	47.15	14.49	46	57.69	44.47	13.39	30.56	36.87		
3097	102	2014	353	1254	13.84	5792	18.47	54.01	644.8							
3098	105	2014	353	1255	16.25	13.83	47.17	14.65	46.12	57.76	44.53	13.45	30.8	36.83		
3099	102	2014	353	1255	13.83	5792	18.82	53.94	647.5							
3100	105	2014	353	1255	16.27	13.83	47.36	14.65	46.3	57.86	44.63	13.52	30.88	36.91		
3101	102	2014	353	1255	13.83	5792	19.04	54.02	649.7							
3102	105	2014	353	1256	16.29	13.83	47.62	14.54	46.56	58.02	44.74	13.46	30.92	37.09		
3103	102	2014	353	1256	13.83	5792	19.29	54.3	651							
3104	105	2014	353	1256	16.32	13.84	47.8	14.56	46.77	58.15	44.93	13.48	31.04	37.19		
3105	102	2014	353	1256	13.84	5792	19.44	54.4	651							
3106	105	2014	353	1257	16.34	13.83	47.96	14.58	46.98	58.23	45.14	13.49	31.16	37.25		
3107	102	2014	353	1257	13.83	5792	19.46	54.48	655							
3108	105	2014	353	1257	16.36	13.84	48.08	14.66	47.21	58.27	45.3	13.51	31.28	37.27		M.O
3109	102	2014	353	1257	13.84	5792	19.41	54.56	657.9							656.0706
3110	105	2014	353	1258	16.39	13.83	48.05	14.77	47.35	58.31	45.37	13.51	31.33	37.27		
3111	102	2014	353	1258	13.83	5792	19.48	54.43	659.9							
3112	105	2014	353	1258	16.41	13.84	48.19	14.71	47.46	58.41	45.42	13.56	31.4	37.41		
3113	102	2014	353	1258	13.84	5792	19.65	54.73	660.5							
3114	105	2014	353	1259	16.45	13.83	48.24	14.83	47.63	58.49	45.46	13.58	31.51	37.44		
3115	102	2014	353	1259	13.83	5792	19.7	54.65	661							
3116	105	2014	353	1259	16.48	13.84	48.19	14.92	47.67	58.61	45.51	13.72	31.68	37.48		
3117	102	2014	353	1259	13.84	5792	19.84	54.72	661.2							
3118	105	2014	353	1300	16.5	13.83	48.44	14.8	47.81	58.78	45.57	13.65	31.7	37.67		
3119	102	2014	353	1300	13.83	5792	19.79	54.97	659.5							
3120	105	2014	353	1300	16.52	13.83	48.53	14.84	48.02	58.91	45.74	13.77	31.82	37.75		
3121	102	2014	353	1300	13.83	5792	19.79	55.09	658.6							
3122	105	2014	353	1301	16.55	13.83	48.72	15	48.25	58.9	46.02	13.69	31.87	37.64		
3123	102	2014	353	1301	13.83	5792	19.71	54.89	659							
3124	105	2014	353	1301	16.57	13.83	48.6	15.05	48.34	59.13	46.13	13.8	31.99	37.78		
3125	102	2014	353	1301	13.83	5792	19.81	55.04	659.2							
3126	105	2014	353	1302	16.59	13.83	48.72	15.11	48.5	59.17	46.3	13.8	32.06	37.8		
3127	102	2014	353	1302	13.83	5792	19.91	55.1	658.4							
3128	105	2014	353	1302	16.62	13.83	48.71	14.98	48.53	59.32	46.44	13.84	32.13	38.02		
3129	102	2014	353	1302	13.83	5792	20.33	55.39	659							
3130	105	2014	353	1303	16.64	13.83	48.43	15.12	48.36							



## Ιδιότητες δομικών υλικών

Ιδιότητες δομικών υλικών (σε μέση θερμοκρασία 24°C)

Υλικό	Πάχος	Πυκν.	Θερμ. αγωγ.	Ειδική Θερμ.	Τιμή R
	L mm	$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	k W/m·K	$c_p$ KJ/Kg·K	(L/k) K·m <sup>2</sup> /W
<b>Υλικά οροφής</b>					
Κεραμίδια αμιάντου - τσιμέντου		1900	–	1.00	0.037
Τόπι ασφάλτου επίστρωσης οροφής		1100		1.51	0.026
Κεραμίδια ασφάλτου		1100	–	1.26	0.077
Ενσωματωμένη επίστρωση οροφής	10	1100	–	1.46	0.058
Σχιστόλίθος	13	–	–	1.26	0.009
Ξυλοκέραμοι απλοί και πλαστικοί με επίστρωση μεμβράνης		–	–	1.30	0.166
		–	–	1.30	0.166
<b>Υλικά σοβατίσματος</b>					
Ασβεστοκονίαμα τσιμέντου, μίγμα αδρανών με άμμο	19	1860	0.72	0.84	0.026
Ασβεστοκονίαμα γύψου:					
ελαφρύ μίγμα αδρανών	13	720	–	–	0.055
μίγμα αδρανών με άμμο	13	1680	0.81	0.84	0.016
μίγμα αδρανών με περλίτη	–	720	0.22	1.34	–
<b>Υλικά επίστρωσης τοίχου (με επίπεδες επιφάνειες)</b>					
Κεραμίδια αμιάντου τσιμέντου	–	1900	–	–	0.037
Επίστρωση τοίχου από κόντρα πλακέ	11	–	–	1.17	0.12
Επίστρωση τοίχου από ξύλο	25	–	–	1.30	0.139
Επίστρωση τοίχου από κόντρα πλακέ	10	–	–	1.21	0.111
Επίστρωση τοίχου από αλουμίνιο ή ατσάλι πάνω από την επικάλυψη:					
χωρίς υποστήριξη	10	–	–	1.22	0.11
υποστήριξη μονωτικής πλάκας	10	–	–	1.34	0.32
Αρχιτεκτονικό γυαλί	–	2530	1.0	0.84	0.018
<b>Ξύλα</b>					
Σκληρό ξύλο (σφεντάμι, βελανιδιά, κ.λ.π.)	–	721	0.159	1.26	–
Μαλακό ξύλο (έλατο, πεύκο, κ.λ.π.)	–	513	0.115	1.38	–
<b>Μέταλλα</b>					
Αλουμίνιο (1100)	–	2739	222	0.896	–
Χάλυβας, μέσης σκληρότητας	–	7833	45.3	0.502	–
Χάλυβας, ανοξείδωτος	–	7913	15.6	0.456	–

Πηγή: Οι Πίνακες 5 και 6 προέρχονται από την αναφορά ASHRAE, Handbook of Fundamentals (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Κεφάλαιο 22, Πίνακας 4 και χρησιμοποιούνται μετά από άδεια.

Πηγή : YUNUS A.ÇENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Mc-Craw Hill, 2012.

Ιδιότητες στερεών μετάλλων.

Συστατικό	Σημείο τήξης K	Ιδιότητες στους 300 K				Ιδιότητες σε διάφορες θερμοκρασίες (K)					
		$\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/Kg · K	$k$ W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1000
Αλουμίνιο:											
Καθαρό	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
Κράμα 2024-T6 (4.5%Cu, 1.5%Mg, 0.6%Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	1033	1146	
Κράμα 195, χυτό (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2			174	185		
Βηρύλλιο	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
Βισμούθιο	545	9780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
Βόριο	2573	2500	1107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
Κάδμιο	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
Χρόμιο	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
Κοβάλτιο	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
Χαλκός:											
Καθαρός	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
Ορείχαλκος εμπ. (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	42	52	59			
Φωσφ. μπρούτζος (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17	41	65	74			
Θήκξη ορείχαλκου (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149		
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19				
Γερμάνιο	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
Χρυσός	1336	19300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
Ιρίδιο	2720	22500	130	147	50.3	109	124	131	135	140	145
Σίδηρος:											
καθαρός	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
Astmco (καθ.99.75%)		7870	447	72.7	20.7	216	384	490	574	680	975
ανθρ. χάλυβας: απλός άνθρακας (Mn≤1% Si≤0.1%)		7854	434	60.5	17.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8	215	384	490	574	680	975
ανθρ-πυριτ. (Mn≤1%, 0.1%≤Si≤0.6%)		7817	446	51.9	14.9			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1169
								58.7	48.8	39.2	31.3
								49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971
								501	582	699	971

Πηγή : YUNUS A.ÇENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις TZIOΛA, Mc-Craw Hill, 2012.

## ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΑΜΕΤΑΛΛΩΝ

Ικανότητα εκπομπής επιφανειών: (β) αμέταλλα

Υλικό	Θερμοκρ. Κ	Ικανότητα εκπ. ε	Υλικό	Θερμοκρ. Κ	Ικανότητα εκπ. ε
Αλουμίνα	800 – 1400	0.65 – 0.45	Κόκκινο αστάρι	300	0.93
Οξείδ. αλουμ	600 – 1500	0.69 – 0.41	Λευκό ακρυλικό	300	0.90
Αμιάντος	300	0.96	Λευκό βερνίκι	300	0.90
Στρώμα ασφάλτου	300	0.85 – 0.93	Λευκό χαρτί	300	0.90
Τούβλο			Λευκός γύψος	300	0.93
κοινό	300	0.93 – 0.96	Πορσελάνη, σιλβ.	300	0.92
πυρότουβλο	1200	0.75	Κρύσταλλος ακατέργ.	300	0.93
Νήμα άνθρακα	2000	0.53	τετηγμένος		
Υφασμα	300	0.75 – 0.90	Ελαστικό		
Τσιμέντο	300	0.88 – 0.94	σκληρό	300	0.93
Γυαλί			μαλακό	300	0.86
ιζάμι	300	0.90 – 0.95	Άμμος	300	0.90
πυρέξ	300 – 1200	0.82 – 0.62	Καρβ. πυριτίου	600 – 1500	0.87 – 0.85
κεραμικό υλικό	300 – 1500	0.85 – 0.57	Ανθρ. δέρμα	300	0.95
Πάγος	273	0.95 – 0.99	Χιόνι	273	0.80 – 0.90
Οξείδ, μαγνησίου	400 – 800	0.69 – 0.55	Χώμα, έδαφος	300	0.93 – 0.96
Τοιχοποιία	300	0.80	Κάπνα	300 – 500	0.95
Βαφές			Τέφλον	300 – 500	0.85 – 0.92
αλουμινίου	300	0.40 – 0.50	Νερό, βαθύ	273 – 373	0.95 – 0.96
μαύρη λάκα	300	0.88	Ξύλο		
γυαλιστερή			οξιά	300	0.94
Λάδια, όλα	300	0.92 – 0.96	βελανιδιά	300	0.90
τα χρώματα					

Πηγή : YUNUS A.ÇENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Mc-Craw Hill, 2012.

## Πίνακας θερμοφυσικών ιδιοτήτων του αέρα

Ιδιότητες του αέρα<sup>1,2</sup> (σε πίεση 1 atm)

Θερμ. <i>T</i> , °C	Πυκν. $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Ειδ. θερμ. $c_p$ J/Kg · K	Θερμ. αγωγ. $k$ W/m · K	Θερμ. διαχ. $\alpha$ m <sup>2</sup> /s	Δυναμικό ιξώδες $\mu$ Kg/m · s	Κινητικό ιξώδες $\nu$ Kg/m · s	Αριθμός Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

<sup>1</sup> Για τα ιδανικά αέρια οι ιδιότητες  $c_p$ ,  $k$ ,  $m$  και Pr είναι ανεξάρτητες της πίεσης. Οι ιδιότητες  $\rho$ ,  $\nu$  και  $\alpha$  σε πίεση  $P$  (εκπερασμένη σε ατμόσφαιρες) διαφορετική της 1 atm, προσδιορίζονται πολλαπλασιάζοντας τις τιμές της  $\rho$  σε μία δεδομένη θερμοκρασία επί  $P$  και διαιρώντας το  $\nu$  και το  $\alpha$  με το  $P$ .

<sup>2</sup> Τα δεδομένα δημιουργήθηκαν από την εφαρμογή EES που αναπτύχθηκε από τους S.A. Klein & F.L. Alvarado. Αρχικές πηγές: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984 και Thermophysical Properties of Matter. Vol. 3: Thermal Conductivity, Y.S. Touloukian, P.E. Liley, S.C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y.S. Touloukian, S.C. Saxena, & P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Πηγή : YUNUS A.ÇENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Mc-Craw Hill, 2012.

# Ιδιότητες κορεσμένου νερού

Ιδιότητες κορεσμένου νερού<sup>γ</sup>.

Θερμοκρασία $T$ °C	Πίεση κορεσμού $P_{sat}$ kPa	Πυκνότητα $\rho$ , Kg/m <sup>3</sup>		Ενθαλπία εξάτμισης $h_{fg}$ KJ/Kg	Ειδική θερμότητα <sup>β</sup> $c_p$ , J/Kg·K		Θερμική αγωγιμότητα $k$ , W/m·K		Δυναμικό ιξώδες <sup>α</sup> $\mu$ , Kg/m·s		Αριθμός Prandtl Pr	Συντελεστής επέκτασης όγκου $\beta$ 1/K	
		Υγρό	Ατμός		Υγρό	Ατμός	Υγρό	Ατμός	Υγρό	Ατμός			
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2501	4217	1854	0.561	0.0171	1.792 × 10 <sup>-3</sup>	0.922 × 10 <sup>-5</sup>	13.5	1.00	-0.068 × 10 <sup>-3</sup>
5	0.8721	999.9	0.0068	2490	4205	1857	0.571	0.0173	1.519 × 10 <sup>-3</sup>	0.934 × 10 <sup>-5</sup>	11.2	1.00	0.015 × 10 <sup>-3</sup>
10	1.2276	999.7	0.0094	2478	4194	1862	0.580	0.0176	1.307 × 10 <sup>-3</sup>	0.946 × 10 <sup>-5</sup>	9.45	1.00	0.733 × 10 <sup>-3</sup>
15	1.7051	999.1	0.0128	2466	4185	1863	0.589	0.0179	1.138 × 10 <sup>-3</sup>	0.959 × 10 <sup>-5</sup>	8.09	1.00	0.138 × 10 <sup>-3</sup>
20	2.339	998.0	0.0173	2454	4182	1867	0.598	0.0182	1.002 × 10 <sup>-3</sup>	0.973 × 10 <sup>-5</sup>	7.01	1.00	0.195 × 10 <sup>-3</sup>
25	3.169	997.0	0.0231	2442	4180	1870	0.607	0.0186	0.891 × 10 <sup>-3</sup>	0.987 × 10 <sup>-5</sup>	6.14	1.00	0.247 × 10 <sup>-3</sup>
30	4.246	996.0	0.0304	2431	4178	1875	0.615	0.0189	0.798 × 10 <sup>-3</sup>	1.001 × 10 <sup>-5</sup>	5.42	1.00	0.294 × 10 <sup>-3</sup>
35	5.628	994.0	0.0397	2419	4178	1880	0.623	0.0192	0.720 × 10 <sup>-3</sup>	1.016 × 10 <sup>-5</sup>	4.83	1.00	0.337 × 10 <sup>-3</sup>
40	7.384	992.1	0.0512	2407	4179	1885	0.631	0.0196	0.653 × 10 <sup>-3</sup>	1.031 × 10 <sup>-5</sup>	4.32	1.00	0.377 × 10 <sup>-3</sup>
45	9.593	990.1	0.0655	2395	4180	1892	0.637	0.0200	0.596 × 10 <sup>-3</sup>	1.046 × 10 <sup>-5</sup>	3.91	1.00	0.415 × 10 <sup>-3</sup>
50	12.35	988.1	0.0831	2383	4181	1900	0.644	0.0204	0.547 × 10 <sup>-3</sup>	1.062 × 10 <sup>-5</sup>	3.55	1.00	0.451 × 10 <sup>-3</sup>
55	15.76	985.2	0.1045	2371	4183	1908	0.649	0.0208	0.504 × 10 <sup>-3</sup>	1.077 × 10 <sup>-5</sup>	3.25	1.00	0.484 × 10 <sup>-3</sup>
60	19.94	983.3	0.1304	2359	4185	1916	0.654	0.0212	0.467 × 10 <sup>-3</sup>	1.093 × 10 <sup>-5</sup>	2.99	1.00	0.517 × 10 <sup>-3</sup>
65	25.03	980.4	0.1614	2346	4187	1926	0.659	0.0216	0.433 × 10 <sup>-3</sup>	1.110 × 10 <sup>-5</sup>	2.75	1.00	0.548 × 10 <sup>-3</sup>
70	31.19	977.5	0.1983	2334	4190	1936	0.663	0.0221	0.404 × 10 <sup>-3</sup>	1.126 × 10 <sup>-5</sup>	2.55	1.00	0.578 × 10 <sup>-3</sup>
75	38.58	974.7	0.2421	2321	4193	1948	0.667	0.0225	0.378 × 10 <sup>-3</sup>	1.142 × 10 <sup>-5</sup>	2.38	1.00	0.607 × 10 <sup>-3</sup>
80	47.39	971.8	0.2935	2309	4197	1962	0.670	0.0230	0.355 × 10 <sup>-3</sup>	1.159 × 10 <sup>-5</sup>	2.22	1.00	0.633 × 10 <sup>-3</sup>
85	57.83	968.1	0.3536	2296	4201	1977	0.673	0.0235	0.333 × 10 <sup>-3</sup>	1.176 × 10 <sup>-5</sup>	2.08	1.00	0.670 × 10 <sup>-3</sup>
90	70.14	965.3	0.4235	2283	4206	1993	0.675	0.0240	0.315 × 10 <sup>-3</sup>	1.193 × 10 <sup>-5</sup>	1.96	1.00	0.702 × 10 <sup>-3</sup>
95	84.55	961.5	0.5045	2270	4212	2010	0.677	0.0246	0.297 × 10 <sup>-3</sup>	1.210 × 10 <sup>-5</sup>	1.85	1.00	0.716 × 10 <sup>-3</sup>
100	101.33	957.9	0.5978	2257	4217	2029	0.679	0.0251	0.282 × 10 <sup>-3</sup>	1.227 × 10 <sup>-5</sup>	1.75	1.00	0.750 × 10 <sup>-3</sup>

<sup>α</sup> Το κινηματικό ιξώδες  $\nu$  και η θερμική διαχυτικότητα  $\alpha$  μπορούν να υπολογιστούν από τους ορισμούς τους.  $\nu = \mu/\rho_p$  και  $\alpha = k/\rho_p c_p = \nu/Pr$ . Οι θερμοκρασίες 0.01°C, 100°C και 374.14°C, είναι οι θερμοκρασίες τριπλού σημείου, βρασμού και κρίσιμου σημείου του νερού, αντίστοιχα. Οι ιδιότητες που παρατίθενται παραπάνω (εκτός από την πυκνότητα των ατμών), μπορούν να χρησιμοποιηθούν με οποιαδήποτε πίεση με αμελητέο σφάλμα, εκτός από την περιοχή θερμοκρασιών που είναι κοντά στο κρίσιμο σημείο.

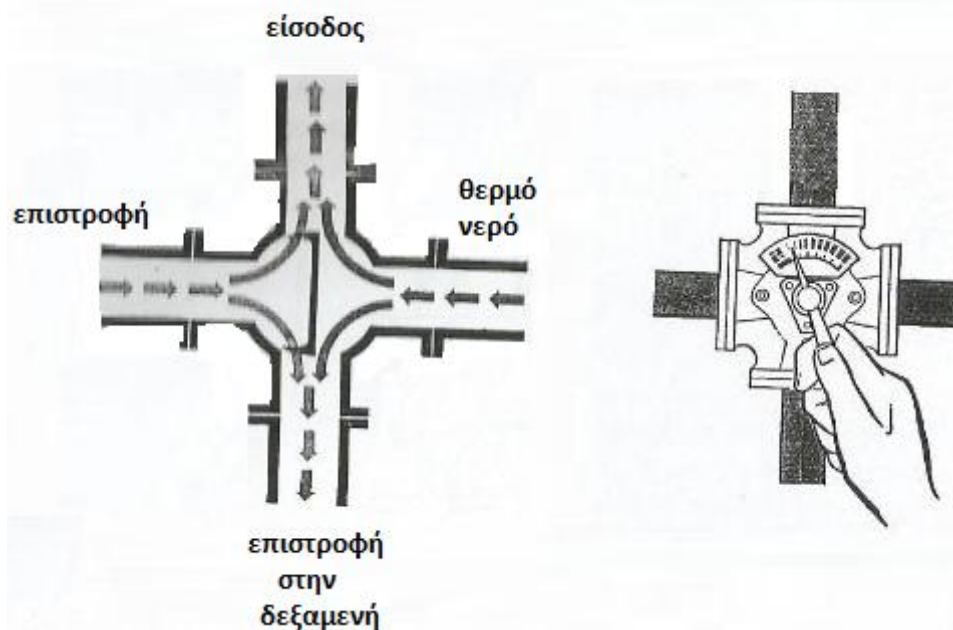
<sup>β</sup> Η μονάδα KJ/Kg·C για την ειδική θερμότητα είναι ισοδύναμη με τη μονάδα KJ/Kg·K ενώ η μονάδα W/m<sup>2</sup>·C για τη θερμική αγωγιμότητα είναι ισοδύναμη με τη μονάδα W/m·K.

<sup>γ</sup> Τα δεδομένα για το ιξώδες και τη θερμική αγωγιμότητα προέρχονται από την αναφορά J.V. Sengers & J.T.R. Watson, Journal of Physical and Chemical Reference Data 15 (1986), pp. 1291-1322. Τα υπόλοιπα δεδομένα προέρχονται από άλλες πηγές ή έχουν υπολογιστεί.

Πηγή : YUNUS A.ΖENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Mc-Craw Hill, 2012.

## Τετράοδη βάνα μείξης

Η τετράοδη βάνα που χρησιμοποιείται για την ρύθμιση της σωστής θερμοκρασίας λειτουργίας του ενδοδαπέδιου συστήματος του οικίσκου, είναι τύπου ZENTRA Duplex-Mischer Montage Bedienung ZR. Συγκριμένα στον οικίσκο έχει εγκατασταθεί έτσι ώστε το νερό εισόδου να αναμειγνύεται με το νερό της επιστροφής μέσω της κινητής βάνας και συνεπώς να ψύχεται βλ. Σχ. 1.3 και 1.4 σελ 8 και 14 αντίστοιχα, προκειμένου το νερό εισόδου στο ενδοδαπέδιο σύστημα μεταξύ 30 – 40 [°C]. Η αρχή λειτουργίας της φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



## ΡΟΟΜΕΤΡΟ

Το ροόμετρο χρησιμοποιείται τόσο για την μέτρηση και καταγραφή της ροής στο ενδοδαπέδιο σύστημα, όσο και στο κύκλωμα των συλλεκτών. Είναι τύπου FLOMID FX και θα πρέπει να αναφέρουμε πως δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη μέτρηση και των δυο παραπάνω για τεχνικούς σχεδιαστικούς λόγους, ενώ ο τρόπος επίτευξης της επιθυμητής μέτρησης περιγράφεται στην *Ενότητα 1.4*.


Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στον Νόμο του Faraday μέσω της Ηλεκτρομαγνητικής Επαγωγής όπου η ροή ρευστού σε σωλήνα με μέση ταχύτητα δημιουργεί μια τάση όταν βρίσκεται εντός κάθετου μαγνητικού πεδίου. Αυτή η τάση είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ρευστού και έτσι προσδιορίζεται η τιμή της ροής με την βοήθεια ψηφιακού μικροεπεξεργαστή. Παρακάτω φαίνονται τα χαρακτηριστικά του ροόμετρου που έχει τοποθετηθεί στον ενεργειακό οικίσκο [28].

## Series XT5, Electronic Control Units

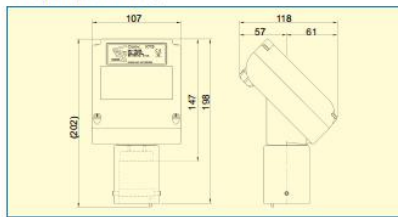
### Technical Features

- Power supply: 230, 240, 115, 24 Vac 50/60 Hz  
24 VDC
- Power consumption:  $\leq 5$  VA
- Analog output: 4-20 mA. Active or passive
- Pulse output:
- **Opto isolated V max.: 30 Vdc. I max: 30 mA**  
Maximum frequency in "P/U" mode: 6,25 Hz  
Maximum frequency in "Hz" mode: 10000 Hz  
Maximum frequency in "Hz" mode: 0,04 Hz
- **Optional. V max: 240 Vac / 350 Vdc. I max: 100 mA**  
Maximum frequency in "P/U" mode: 6,25 Hz  
Maximum frequency in "Hz" mode: 75 Hz
- Totaliser: N° of digits: 7 (2 decimal points)\*\*  
Digit size: 8 mm  
Button reset
- Flow indicator: N° of digits 4 (up to 2 decimal point configuration)\*\*  
Digit size 5 mm

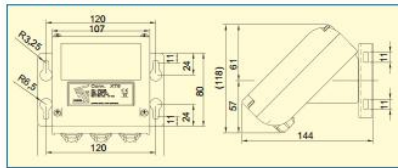
\*\* When 4 digit counter reaches 10000, 1 decimal point is automatically eliminated.  
When 5 digit counter reaches 10000, the other decimal point is eliminated.

In accordance with Directive 73/23/CEE Low voltage  
In accordance with Directive 89/336/CEE electromagnetic compatibility 

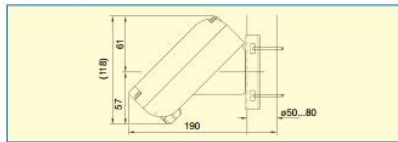
### XT5 (Compact model)



### XT5/M (Wall Mounting)



### XT5/M (Pipe Mounting)



### General Features

- Protection level: IP67
- Ambient temperature range: 0 ... +60°C

### Electrical Features referring to analog loop and Communications

- Reception Impedance: Rx>8,5 M  $\Omega$  Cx<200pF
- Models: XT5 compact model  
XT5/M...T Wall or Pipe mounted  
XT5H compact model with HART communication  
XT5HM Wall or Pipe mounted with HART communication

### HART Communication

The XT5H converter has a MODEM for HART communication. You will find all the features regarding HART communication in the corresponding document "Field Device Specification"



### Summary of main communication features

- Manufacturer, Model and revision Tecfluid S.A., XT5 converter, Rev.0
- Type of apparatus Transmitter
- HART protocol revision 6.0
- Device description available No
- Number and type of sensors 1, exterior
- Number and type of actuators 0
- Number and type of auxiliary host signals 1, 4 - 20 mA
- Number of Device variables 2
- Number of Dynamic variables 1
- Dynamic Mappables variables No
- Number of Common practice commands 13
- Number of Device specifics commands 8
- Additional Device Status Bits 17
- Alternative function Modes? No
- Burts Mode? No
- Write Protection? Yes

### XT5 Compact



### XT5 Wall & Pipe







## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαννόπουλος Ανδρέας Χρ., Ατμοηλεκτρικοί Σταθμοί, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2011.
2. Δελίδης Κωνσταντίνος, ΤΕΧΝΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2006.
3. Καλδέλης Ιωάννης Κ., Καβαδιάς Κοσμάς Α, Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας, Εκδόσεις ΑΘ.ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, Αθήνα, 2001.
4. ΚΑΠΛΑΝΗΣ Σ.Ν., ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Ηλιακή Μηχανική, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2004.
5. ΚΑΠΛΑΝΗΣ Σ.Ν., ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ III, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2004.
6. Κάππος Γιάννης Θ., ΔΟΥΛΕΨΤΕ ΜΕ ΤΟ AutoCAD 2006, Εκδόσεις ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 2005.
7. Καραμπετάκης Νικόλαος, Εισαγωγή στην Fortran 90/95, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2002.
8. Κορωνάκης Περικλής, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΡΕΥΣΤΩΝ, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2009.
9. Κουρής Σ.Σ, Σωτηρόπουλος Β.Α, Ηλεκτρολογικές και Μηχανολογικές εγκαταστάσεις σε κτίρια, Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΙΔΕΙΑ, Θεσσαλονίκη, 1996.
10. ΝΑΝΟΥΣΗΣ Δ. ΝΑΝΟΥΣΗΣ, Ρευστομηχανική, Ά ΤΟΜΟΣ, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2005.
11. ΧΑΡΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Γ., ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΤΗΡΙΩΝ, ΤΟΜΟΣ I, Εκδόσεις ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2003.
12. YUNUS A.ÇENGEL., AFSHIN J. GHAJAR., ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ και ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, 4<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Mc-Craw Hill, 2012.

13. Kaplanis S., Kaplani E., An intelligent energy building with integration of REC, ICT tools and nanocoatings in its shell. To be presented in the Int. Conf. SEEP2014, 23-25 November, Dubai, 2014.
14. Kaplanis S., Kaplani E., Intelligent energy buildings and introduction to nanotechnologies, University of West Scotland, 12 June 2014.
15. Kaplani E., Detection of Degradation Effects in Field-Aged c-Si SOLAR Cells through IR Thermography and Digital Image Processing by E. Kaplani.
16. Kaplani E., Degradation Effects in sc-Si PV Modules Subjected to Natural and Induced Ageing after Several Years of Field Operation – Journal of Engineering Science and Technology Review 5, Special issue on Renewable Energy Systems., 2012
17. Kaplanis Socrates, Papanastasiou Nikolaos , The study and performance of a modified conventional refrigerator to serve as a PV powered. Fachhochschule Aachen, Aachen, North Rhine-Westphalia, Germany Renewable Energy (Impact Factor: 3.48). 05/2006; 31(6):771-780. DOI: 10.1016/j.renene.2005.04.012
18. E. Kaplani (2012). PV module performance at S.T.C. and field conditions. Innovation Week on PV systems Engineering and the other Renewable Energy Systems. 1-12 July 2012, T.E.I of Patras, Greece.
19. Αρχιμήδης Ι - Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στο ΤΕΙ Πάτρας / Υποέργο 2, Ανάπτυξη-σχεδιασμός και ενσωμάτωση τεχνολογιών ηλιακής Ενέργειας στα κτίρια.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://www.cres.gr/pepesecc/apotelesmata.html>

<http://www.solarquest.com/microsolar/suppliers/siemens/sm55.pdf>

[http://www.texnologia.gr/index.asp?mod=eshop\\_item&ID=21452533&p=7203](http://www.texnologia.gr/index.asp?mod=eshop_item&ID=21452533&p=7203)

<http://www.kippzonen.com/Product/11/CMP-3Pyranometer#.VPybxfsUgU>

[http://library.tee.gr/digital/kma/kma\\_m1515/kma\\_m1515\\_PVGuide\\_Approved.pdf](http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf)

<http://www.ise.fraunhofer.de/en/service-units/callab-pv-cells-callab-pv-modules/callab-pv-modules/stc-measurements>

<https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/cr10x.pdf>

<http://www.wickes.co.uk/Grundfos-Alpha-2L-15-50-Domestic-Pump-12mm-Connections/p/228261#>

<http://www.steamequipments.com/pdf/flowmeter/Flomid.pdf>.

<http://www.google.gr/search?>