



**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**"ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΗΛΙΑΚΟΥ  
ΣΥΛΛΕΚΤΗ"**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΡΑΣΣΑΣ ΜΙΧΑΗΛ  
Α.Μ.: 38181**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ : ΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΑΙΓΑΛΕΩ  
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάζεται, κατασκευάζεται και αναλύεται η λειτουργία μιας πειραματικής διάταξης ηλιακού συλλέκτη με χρήση τεχνητού φωτός μέσω λάμπας και υπολογίζεται μέσω δοκιμών και ύστερα από μεγάλο αριθμό μετρήσεων, ο βαθμός απόδοσης που έχει η πειραματική διάταξη σε ανοικτό αλλά και κλειστό κύκλωμα. Στόχος της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι η επιμόρφωση των φοιτητών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών στον τομέα των ηλιακών συστημάτων. Αρχικά, το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στο θεωρητικό υπόβαθρο των ηλιακών συλλεκτών και στην αρχή λειτουργίας τους. Γίνεται μία έρευνα αγοράς όσον αφορά τις τιμές για την προμήθεια ενός ηλιακού θερμοσίφωνου για οικιακή χρήση και ακολούθως αναλύεται η διαδικασία και το ενδεικτικό κόστος συντήρησης του. Στη συνέχεια, γίνεται μια αναφορά στα πρότυπα του ΕΛΟΤ βάσει των οποίων γίνονται οι πιστοποιήσεις των ηλιακών συλλεκτών. Έπειτα, παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη του ηλιακού συλλέκτη καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται όλη η διαδικασία της κατασκευής, τα επιμέρους εξαρτήματα που την αποτελούν όπως επίσης και όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Τέλος, ακολουθεί όλη η διαδικασία της καταγραφής των αποτελεσμάτων των πειραματικών δοκιμών και του υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του συστήματος. Η διπλωματική εργασία καταλήγει στα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από το σύνολο της μελέτης της πειραματικής διάταξης.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Ηλιακός συλλέκτης, Ηλιακή ενέργεια, Πειραματική διαδικασία, Βαθμός απόδοσης ηλιακών θερμικών συστημάτων

## **ABSTRACT**

This thesis presents the design, construction and analysis of an experimental solar collector frame using artificial light through a lamp and calculates through tests and significant measurements the end performance of the experimental device in both opened and closed circuit. The purpose of this thesis is to educate students in the field of solar engineering.

The first chapter, sums the entire theoretical background of solar collectors and their principle of operation. A market research for the purchase of a solar water heater for home use, is taking place, while the procedure and its indicative maintenance costs if fully explained. Moreover, there is a reference to the ELOT (Elot Hellenic Organization for Standardization S.A.) standards that make solar collector certifications.

Furthermore, the experimental layout of the solar collector and the materials used for its construction are presented. The next chapter discusses the entire manufacturing process, its component parts as well as all of its technical features. Finally, the whole process of recording the results of the experimental tests and calculating the performance of the system, is described. The thesis concludes with the conclusions drawn from the whole study of the experimental design.

**KEY WORDS:** Solar collector, Solar energy, Experimental tests, Efficiency of solar heating systems

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	9
1.1. Ηλιακός Συλλέκτης.....	9
1.2. Αρχή Λειτουργίας Ηλιακού Συλλέκτη.....	13
1.3. Κύρια Μέρη Ηλιακού Συλλέκτη.....	14
1.4. Θερμοδοχείο Ηλιακού Θερμοσίφωνα.....	16
1.5. Ηλιακοί Θερμοσίφωνα - Τύποι.....	18
1.6. Ενδεικτικές Τιμές.....	22
1.7. Συντήρηση Ηλιακών Συλλεκτών.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	28
2.1 Πιστοποιήσεις ηλιακών θερμικών συστημάτων.....	28
2.2 Πρότυπα ΕΛΟΤ πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων.....	30
2.3 Απόδοση ηλιακών συλλεκτών.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	33
3.1 Πειραματική διάταξη ηλιακού συλλέκτη.....	33
3.2 Σενάρια κατασκευής – Σχεδιασμός.....	35
3.3 Υλικά κατασκευής.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....	38
4.1 Κατασκευή Πειραματικής Διάταξης Ηλιακού Συλλέκτη.....	38
4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κατασκευής.....	51
4.3 Παρεμβάσεις / Αστοχίες κατά τη Διάρκεια της Κατασκευής.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....	54
5.1 Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης.....	54
5.2 Πειραματικά Δεδομένα – Διεξαγωγή Μετρήσεων.....	57
5.2.1 Πειραματικά δεδομένα για ανοικτό κύκλωμα.....	59
5.2.2 Πειραματικά δεδομένα για κλειστό κύκλωμα.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> .....	75
6.1 Υπολογισμοί και αξιοποίηση πειραματικής διάταξης.....	75
6.2 Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	76
6.3 Προοπτικές εξέλιξης και βελτίωσης.....	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

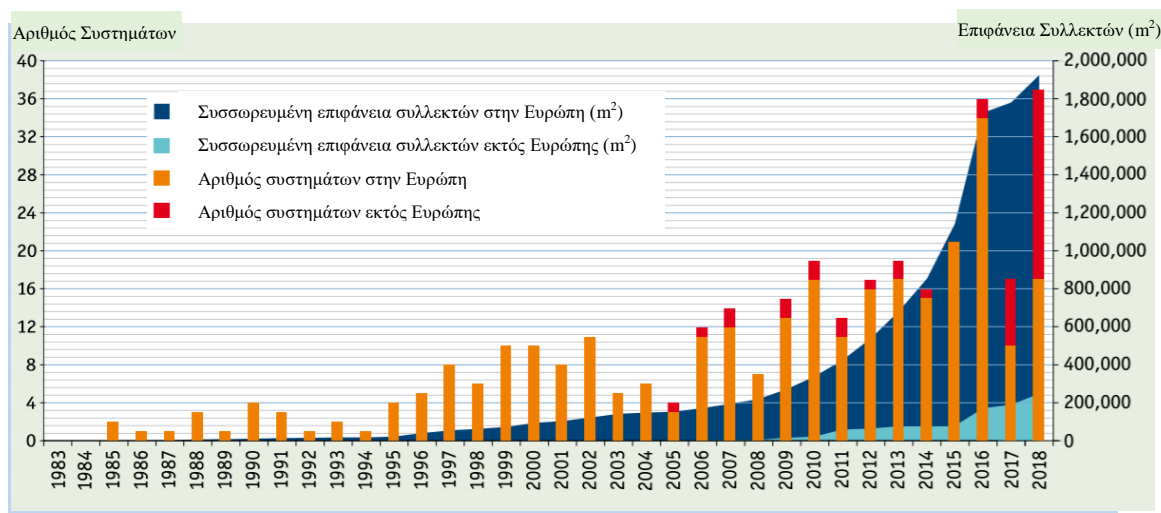
## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας τις τελευταίες δεκαετίες είναι αρκετά διαδεδομένη, ειδικά σε μία χώρα σαν την Ελλάδα, όπου υπάρχει ηλιοφάνεια τις περισσότερες ημέρες του χρόνου. Επίσης, τα τελευταία χρόνια διαδίδεται ακόμα περισσότερο καθώς όλο και περισσότεροι χρήστες αναζητούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με σκοπό την κάλυψη των αναγκών τους. Αυτό έχει ως βασικό κίνητρο την προστασία του περιβάλλοντος αλλά σίγουρα εξυπηρετεί και οικονομικούς σκοπούς.

Μία από τις παλαιότερες και πιο συνηθισμένες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας είναι οι ηλιακοί συλλέκτες για οικιακή ή επαγγελματική χρήση, με τη βοήθεια των οποίων θερμαίνεται το νερό χρήσης ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες της κάθε εγκατάστασης, σε συνδυασμό με τις δεξαμενές αποθήκευσης του ζεστού νερού.

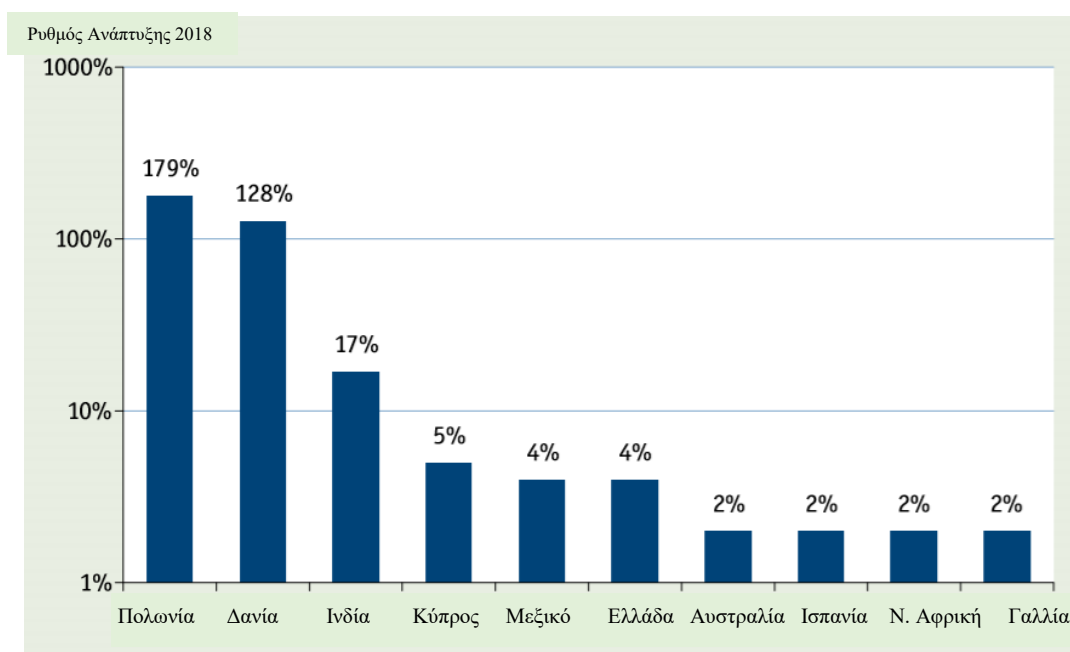
Η τεχνολογία όμως των ηλιακών συλλεκτών, όπως είναι γνωστή στις μέρες μας, δεν είναι κάτι νέο, ξεκίνησε περίπου στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα και από τότε και στην πορεία των ετών γνώρισε τεράστια εξέλιξη και πρόοδο. Βέβαια το ενδιαφέρον του ανθρώπου για την ηλιακή ενέργεια είχε ξεκινήσει πολύ νωρίτερα κάπου στον 7<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. [1]. Όλα αυτά τα χρόνια έγιναν τεράστια βήματα προόδου ώστε να φτάσει η τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών στο επίπεδο που είναι σήμερα και σίγουρα με πολλές προοπτικές εξέλιξης και βελτίωσης στο άμεσο μέλλον.

Τα τελευταία χρόνια, όπως δείχνει και το σχήμα 1, το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακών συλλεκτών παγκοσμίως βρίσκεται σε συστήματα τα οποία είναι τοποθετημένα σε Ευρωπαϊκές χώρες. Αυτό σίγουρα συμβαίνει λόγω του πιο ευνοϊκού κλίματος και του μεγάλου ποσοστού ηλιοφάνειας ημερησίως (στις χώρες της Κεντρικής και Νότιας Ευρώπης) αλλά και λόγω της ανώτερης τεχνολογικής γνώσης σε σχέση με άλλες χώρες [2].



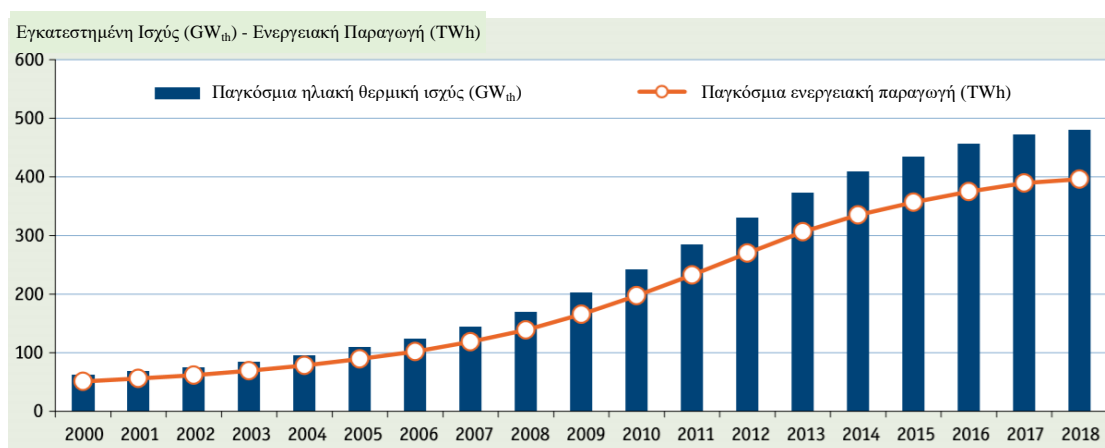
**Σχήμα 1:** Μεγάλα συστήματα ηλιακής θέρμανσης και μεγάλα οικιστικά, εμπορικά και δημόσια κτίρια παγκοσμίως – Ετήσια επιτεύγματα και εύρος περιοχής λειτουργίας το 2018 [2]

Επίσης, αν το θέμα εξεταστεί πιο αναλυτικά για κάθε χώρα, βάσει των στατιστικών ερευνών που έχουν γίνει για το έτος 2018 (σχήμα 2), οι χώρες με το μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης στον τομέα των ηλιακών συστημάτων είναι και πάλι από τον Ευρωπαϊκό χώρο. Στις πρώτες θέσεις βρίσκονται χώρες όπως η Πολωνία και η Δανία, ενώ η Ελλάδα βρίσκεται στην 6<sup>η</sup> θέση της σχετικής λίστας. Άλλες χώρες εκτός Ευρώπης που βρίσκονται στη λίστα είναι η Ινδία, το Μεξικό και η Αυστραλία. [2]



**Σχήμα 2:** Ρυθμός ανάπτυξης της ηλιακής θερμικής αγοράς στις πιο επιτυχημένες χώρες το 2018 [2]

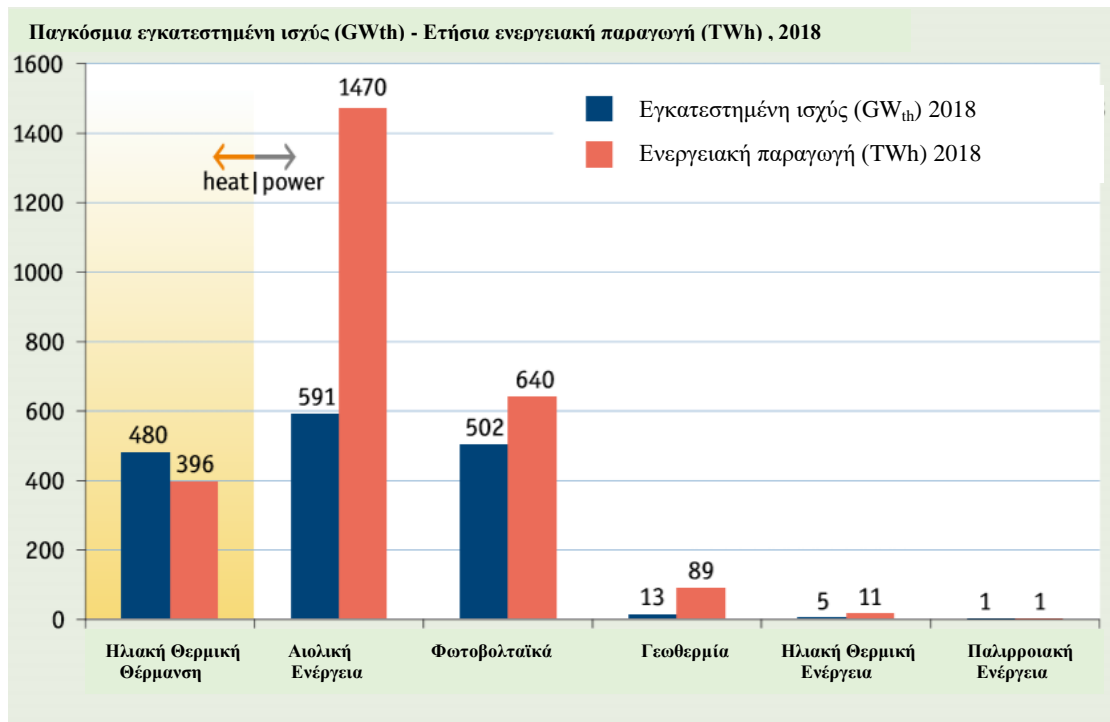
Έπειτα από μία περίοδο μεγάλης και σημαντικής ανάπτυξης των πωλήσεων των ηλιακών συστημάτων από το 2005 έως το 2016, ο ρυθμός ανάπτυξης παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί. Ανεξάρτητα βέβαια από αυτό, υπάρχουν ακόμα κάποιες χώρες οι οποίες αυξάνουν τον αριθμό τοποθετημένων ηλιακών συλλεκτών τους. Όπως αναφέρεται και στο σχήμα 3, η ηλιακή θερμική χωρητικότητα των ηλιακών συλλεκτών σε χρήση, έχει αυξηθεί από 62 GWth (89 εκατομμύρια m<sup>2</sup>) το 2000 σε 480 GWth (686 εκατομμύρια m<sup>2</sup>) το 2018. Επίσης, η αντίστοιχη ετήσια ηλιακή θερμική χωρητικότητα αυξήθηκε κατά ένα μεγάλο ποσοστό και έφτασε σε απόδοση 396 TWh το 2018 από 51 TWh που ήταν το 2000 [2].



**Σχήμα 3:** Παγκόσμια ηλιακή θερμική ισχύς σε λειτουργία και ετήσια ενεργειακή παραγωγή 2000-2018 [2]

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ηλιακή ενέργεια είναι μία από τις βασικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο πλανήτη. Για πολλές δεκαετίες ήταν πρώτη στο τομέα των ανανεώσιμων πηγών, μέχρι που το 2015, όπου η αιολική ενέργεια γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη και την ξεπέρασε, όπως αντίστοιχα το ίδιο έκαναν τα φωτοβολταϊκά συστήματα το 2018, αφού και αυτά εξελίχθηκαν με ραγδαίο ρυθμό.

Αν γίνει μία σύγκριση μεταξύ της ηλιακής θερμικής ενέργειας με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η συμβολή της ηλιακής θερμικής ενέργειας στην κάλυψη της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης είναι αυτή τη στιγμή, αν εξαιρέσουμε τις παραδοσιακές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια, στην τρίτη θέση πίσω από την αιολική ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (σχήμα 4) [2].



**Σχήμα 4:** Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς (GW<sub>th</sub>) για το 2018 και ετήσια ενεργειακή παραγωγή (TWh) [2]

Συμπερασματικά, μετά από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι ξεκάθαρο το πόσο σημαντική και πολύτιμη κρίνεται η χρήση της ηλιακής ενέργειας για το παρόν, αλλά ακόμα περισσότερο για το μέλλον της ανθρωπότητας, μιας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δεκάδες εφαρμογές και να ωφελήσει οικονομικά τους χρήστες αλλά και περιβαλλοντικά τον ίδιο τον πλανήτη.

Με γνώμονα όλα τα προηγούμενα, αυτή η πτυχιακή εργασία θα εστιάσει και θα μελετήσει ίσως τη πιο διαδεδομένη εφαρμογή ηλιακής ενέργειας, ειδικά στην Ελλάδα, τους ηλιακούς συλλέκτες. Μέσα από τη σχεδίαση, την κατασκευή και την ανάλυση της λειτουργίας της διάταξης και μετέπειτα τη δημιουργία ενός εργαστηριακού πειράματος, βασιζόμενο στη συγκεκριμένη κατασκευή, θα γίνει προσπάθεια να μεταδοθεί στον κάθε φοιτητή του τμήματος των Μηχανολόγων Μηχανικών η αρχή λειτουργίας των ηλιακών συστημάτων και όλου του θεωρητικού υπόβαθρου, γύρω από αυτόν τον τεχνολογικό τομέα.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1.1. Ηλιακός Συλλέκτης

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι μία αρκετά διαδεδομένη συσκευή στην Ελλάδα για οικιακές και επαγγελματικές χρήσεις, καθώς χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία παράγει ζεστό νερό χρήσης. Αν θέλαμε να βρούμε ένα ορισμό για το τι ακριβώς είναι ένας ηλιακός συλλέκτης θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ένα σύστημα παραγωγής θερμότητας που αξιοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερο την ηλιακή ακτινοβολία.

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες ηλιακών συλλεκτών που προκύπτουν απ' τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά και από τη θερμική τους απόδοση.

Οι τρεις κατηγορίες είναι οι παρακάτω:

- **Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες**

Είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας το οποίο δεν χρησιμοποιεί διατάξεις συγκέντρωσης της και έτσι αξιοποιεί την ολική ηλιακή ακτινοβολία. Χρησιμοποιείται ειδικά σε οικιακές εφαρμογές καθώς έχει τη δυνατότητα παραγωγής ζεστού νερού θερμοκρασίας από 40 °C μέχρι 150 °C ανάλογα τον τύπο συλλέκτη. Υπάρχουν συλλέκτες χωρίς τζάμι, με μονό τζάμι και με διπλό τζάμι.

Πέρα από τους απλούς επίπεδους συλλέκτες με διαφανές κάλυμμα υπάρχουν και οι **επιλεκτικοί συλλέκτες**. Σ' αυτή την κατηγορία η απλή απορροφητική επιφάνεια η οποία είναι βαμμένη με μαύρο χρώμα έχει αντικατασταθεί από μία επιφάνεια με ειδική επίστρωση τιτανίου η οποία προσφέρει απορρόφηση της άμεσης και έμμεσης ακτινοβολίας, ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, μεγαλύτερη οικονομία και καλύτερη απόδοση. Συγκρινόμενοι με τους απλούς συλλέκτες, οι επιλεκτικοί έχουν 15 – 30 % μεγαλύτερη απόδοση [3].



**Εικόνα 1.1:** Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης [18]

- **Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες**

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν τη δυνατότητα επίτευξης θερμοκρασιών υψηλότερων από τους επίπεδους συλλέκτες καθώς η θερμοκρασία εξόδου ξεπερνάει τους 150 °C και μπορεί να φτάσει ως και 3000 °C. Αποτελούνται από ένα κάτοπτρο το οποίο κινείται και ακολουθεί την πορεία του ήλιου συγκεντρώνοντας με ανάκλαση την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η ιδιαιτερότητα τους είναι και το σημαντικότερο πλεονέκτημα που έχουν στην επίτευξη των υψηλών θερμοκρασιών. Για να γίνει η κίνηση των κατόπτρων μπορεί να υπάρχει ένας άξονας ελευθερίας ή και δύο. Η χρήση των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές.



**Εικόνα 1.2:** Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες [17]

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χωρίζονται σε :

- Γραμμικού τύπου
- Σημειακής εστίασης

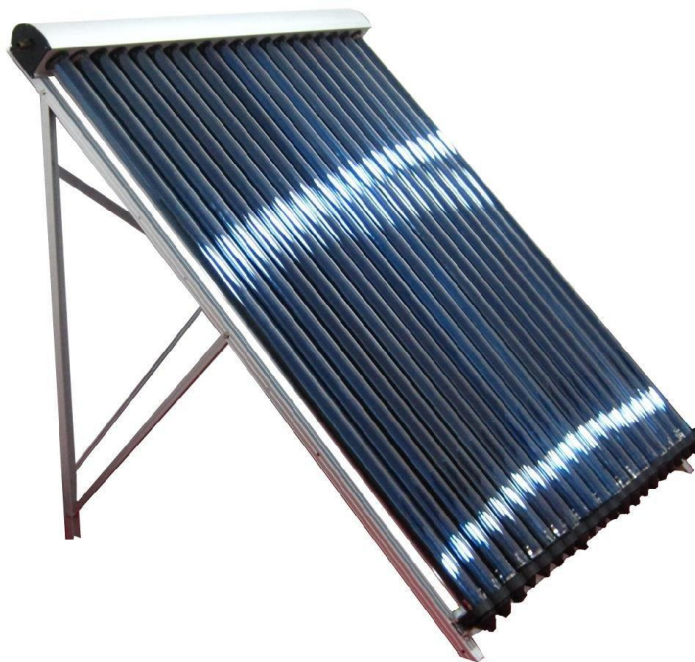
Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες **γραμμικού τύπου** συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία στους σωλήνες, που κυκλοφορεί το θερμοαπαγωγό ρευστό, που διασχίζουν το σημείο εστίασης, κατά μήκος των συλλεκτών [4].

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες **σημειακής εστίασης**, από την άλλη, συγκεντρώνουν όλη την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σημείο [4].

- **Συλλέκτες κενού**

Οι συλλέκτες κενού (εικόνα 1.3) έχουν πολλές ομοιότητες με τους απλούς επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, απλά έχουν μια βασική διαφορά στην απορροφητική τους επιφάνεια. Αποτελούνται από γυάλινους σωλήνες που είναι τοποθετημένοι ο ένας δίπλα στον άλλο. Μέσα σ' αυτούς τους σωλήνες υπάρχουν χάλκινοι σωλήνες, θερμομαντικοί όπως λέγονται, που μεταφέρουν τη θερμότητα που συλλέγεται από την

ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοδοχείο μέσω ενός κολλεκτέρ στο οποίο συνδέονται όλοι οι σωλήνες κενού.



**Εικόνα 1.3:** Συλλέκτης κενού [16]

Η υψηλή απόδοση αυτών των συλλεκτών οφείλεται στο ότι λόγω του κυλινδρικού σχήματος των σωλήνων (εικόνα 1.4) εκμεταλλεύονται πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία σε οποιαδήποτε θέση κι αν είναι ο ήλιος. Ακόμα πολύ σημαντικό ρόλο παίζει το κενό αέρος που δημιουργείται μεταξύ του θερμαντικού σωλήνα (απορροφητήρα) και του τζαμιού καθώς έτσι ελαχιστοποιούνται οι απώλειες του συστήματος. Οι συλλέκτες κενού έχουν μεγαλύτερες αποδόσεις, αλλά και μεγαλύτερο κόστος αγοράς λόγω της πολυπλοκότητας της κατασκευής.



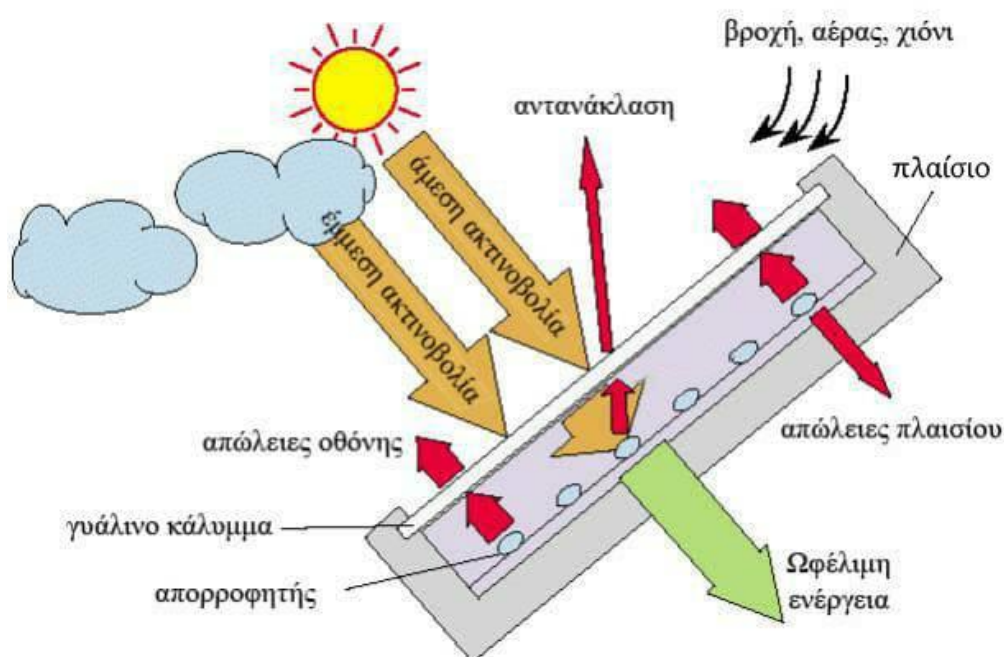
**Εικόνα 1.4 :** Σωλήνες κενού [13]

## 1.2. Αρχή Λειτουργίας Ηλιακού Συλλέκτη

Ο πυρήνας ενός ηλιακού συλλέκτη είναι η απορροφητική πλάκα, η οποία έρχεται σε επαφή με το σύστημα σωληνώσεων, δια μέσου του οποίου κυκλοφορεί το θερμοαπαγωγό ρευστό που απάγει τη θερμότητα από τον απορροφητήρα και τη μεταφέρει στην κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα η απορροφητική πλάκα είναι μία επίπεδη επιφάνεια που απορροφάει (συλλέγει) την ηλιακή ακτινοβολία. Το υλικό κατασκευής του απορροφητήρα είναι τις περισσότερες φορές ο χαλκός ή ο χάλυβας. Η εν λόγω επιφάνεια είναι συνήθως βαμμένη σε σκούρο χρώμα ώστε να βελτιώνεται η απορροφητικότητα της, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιείται επιλεκτική συλλεκτική επιφάνεια.

Μπροστά από την απορροφητική πλάκα υπάρχει η γυάλινη πρόσοψη που έχει το ρόλο του προστατευτικού μέσου μειώνοντας και τις θερμικές απώλειες. Η πρόσοψη έχει μεγάλη διαπερατότητα στην ορατή ακτινοβολία και μικρή στη θερμική ακτινοβολία. Έτσι κατά κάποιον τρόπο οι συνθήκες μέσα στο συλλέκτη θυμίζουν πολύ το φαινόμενο του θερμοκηπίου, δηλαδή παγιδεύεται θερμότητα ανάμεσα στη γυάλινη πρόσοψη και στην απορροφητική πλάκα. Αυτή η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή και συναγωγή στο θερμοαπαγωγό ρευστό που ρέει στις σωληνώσεις που βρίσκονται σε επαφή με την απορροφητική πλάκα.

Τέλος, ένα βασικό στοιχείο που υπάρχει στους ηλιακούς συλλέκτες είναι η μόνωση τους. Το πλαίσιο καλύπτεται τόσο στην πλάτη όσο και στις πλευρικές επιφάνειες με μόνωση, συνήθως με υαλοβάμβακα ή πετροβάμβακα ή μόνωση πολυουρεθάνης [5]. Μια τυπική απεικόνιση και δομή ενός ηλιακού συλλέκτη παρουσιάζεται στην εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4: Τυπική απεικόνιση και δομή ηλιακού συλλέκτη [10]

### 1.3. Κύρια Μέρη Ηλιακού Συλλέκτη

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (όπως αυτός που ασχολείται η συγκεκριμένη εργασία) αποτελείται από τα παρακάτω τέσσερα κύρια μέρη [5] :

- Τη γυάλινη διαφανές στην ορατή ακτινοβολία πρόσοψη
- Την απορροφητική επιφάνεια της ακτινοβολίας
- Τις σωληνώσεις μέσα στις οποίες ρέει το θερμοαπαγωγό ρευστό (νερό)
- Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο του συλλέκτη

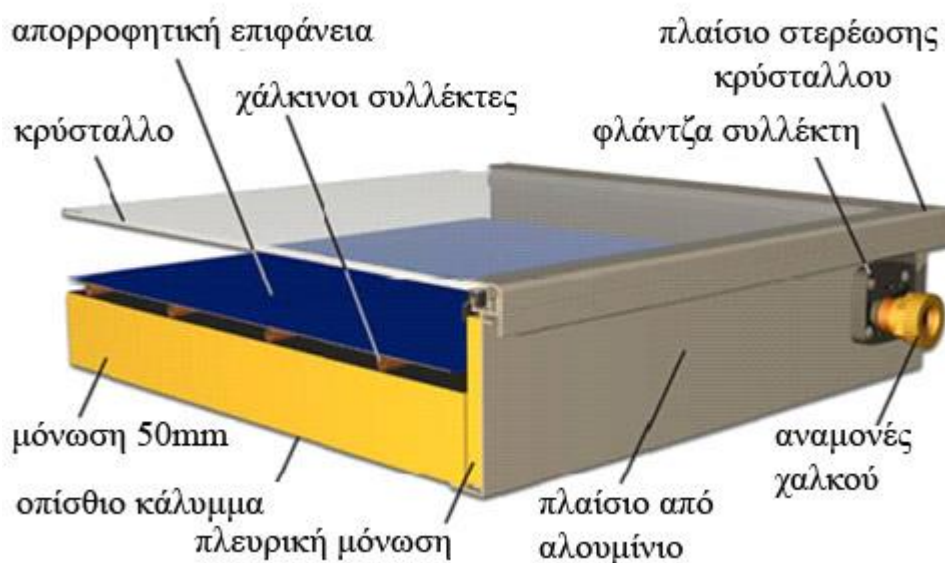
Αναλυτικά τα κύρια επιμέρους τμήματα των ηλιακών συλλεκτών (εικόνα 1.5) [4] :

Η **γυάλινη πρόσοψη** λειτουργεί ως προστατευτικό κάλυμμα και μειώνει τις θερμικές απώλειες ως προς το περιβάλλον. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται απλό τζάμι ενώ σε εφαρμογές που βρίσκονται σε περιοχές με αντίξοες συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί και διπλό τζάμι για επιπλέον προστασία και μείωση θερμικών απωλειών. Βέβαια όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του καλύμματος τόσο μικρότερη είναι η διαπερατότητα του. Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών , όπως θέρμανση νερού πισίνας, χρησιμοποιούνται συλλέκτες χωρίς κάλυμμα, έτσι μειώνεται το κόστος της κατασκευής.

Στην **απορροφητική επιφάνεια** πέρα από την πλάκα απορρόφησης συμπεριλαμβάνονται και οι σωλήνες μέσα από τους οποίους κυκλοφορεί το θερμοαπάγωγο ρευστό. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την πλάκα είναι είτε

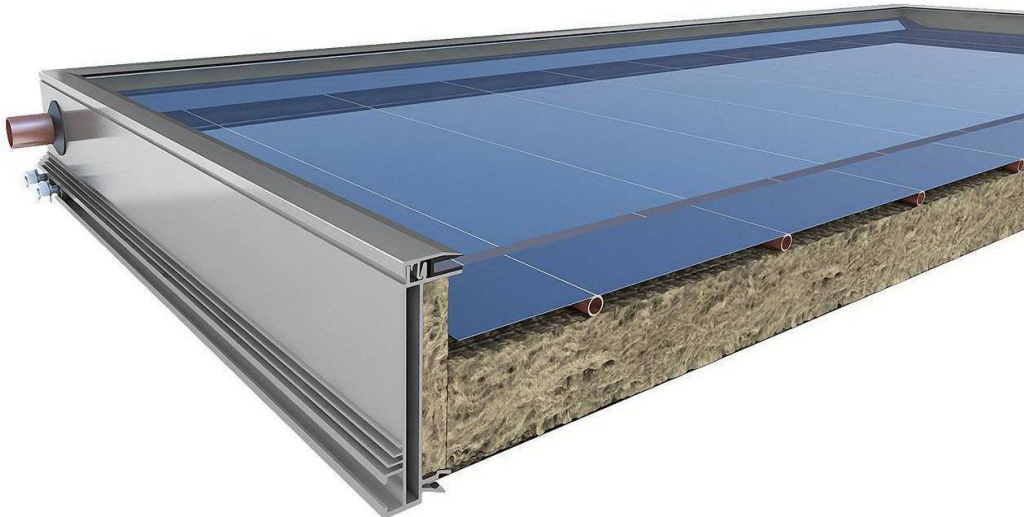
χαλκός είτε αλουμίνιο, διότι και τα δύο αυτά υλικά είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας. Για την μείωση της ανάκλαση η επιφάνεια βάφεται με μαύρο χρώμα ή τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται ειδική επίστρωση τιτανίου για να δημιουργηθεί επιλεκτική επιφάνεια.

Οι σωληνώσεις που ρέει το ρευστό βρίσκονται πάντα σε απόλυτα επαφή με την πλάκα ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση. Το υλικό που χρησιμοποιείται για τους σωλήνες είναι χαλκός, διότι είναι ένας πολύ καλός αγωγός της θερμότητας.



Εικόνα 1.5: Τυπική μορφή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [8]

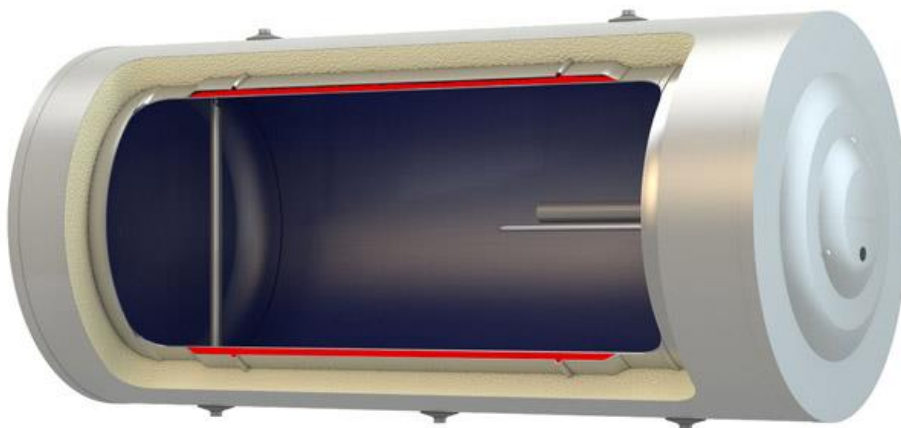
Το **πλαίσιο του συλλέκτη** (εικόνα 1.6) πρέπει να είναι στεγανό και αντιδιαβρωτικό. Η κατασκευή του συνηθίζεται να γίνεται από αλουμίνιο. Στα περιφερειακά τοιχώματα και στο πίσω μέρος του βρίσκεται πάντα θερμομονωτικό υλικό για να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.



**Εικόνα 1.6 :** Θερμομονωμένο πλαίσιο ηλιακού συλλέκτη [13]

#### **1.4. Θερμοδοχείο Ηλιακού Θερμοσίφωνα**

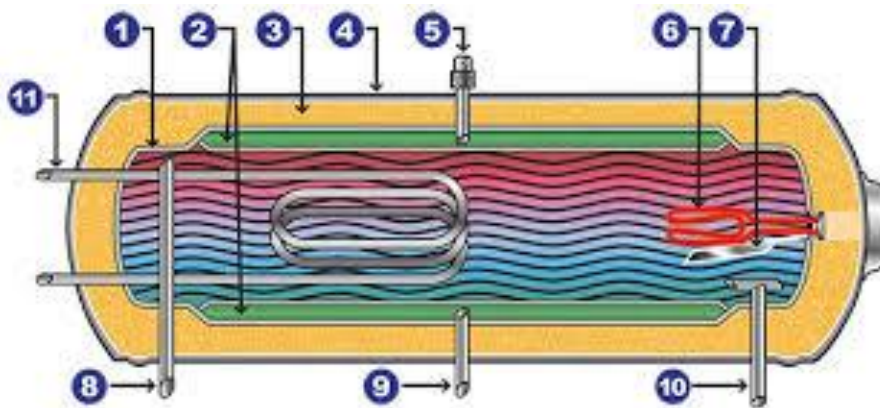
Το θερμοδοχείο ενός ηλιακού θερμοσίφωνα είναι ένα δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης. Στην παρακάτω εικόνα 1.7 υπάρχει ένα δοχείο σε μερική τομή ώστε να είναι ευδιάκριτο το εσωτερικό του [8]. Τα θερμοδοχείο κατασκευάζεται από αλουμίνιο και στο εσωτερικό υπάρχει μόνωση για να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.



**Εικόνα 1.7:** Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης [10]

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που θερμαίνουν το νερό με την ήλιο και με το ρεύμα ονομάζονται **διπλής ενέργειας**, εάν μπορούν να το θερμάνουν και συνδυαζόμενα με την θέρμανση του χώρου ονομάζονται **τριπλής ενέργειας** (εικόνα 1.8) [8].

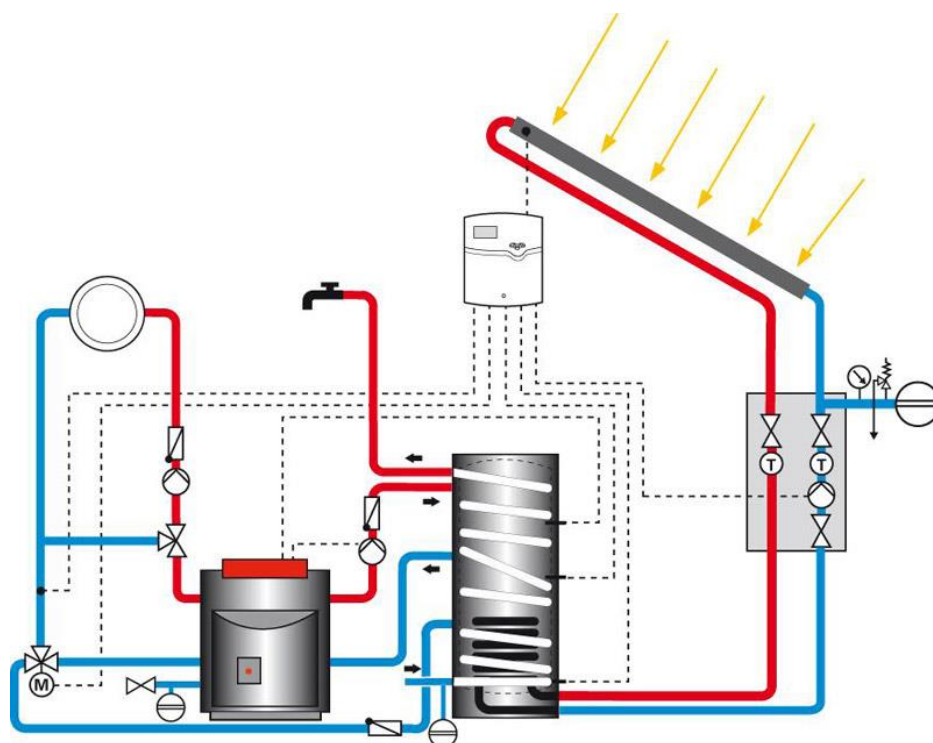




**Εικόνα 1.8:** Θερμοδοχείο (μπόιλερ) τριπλής ενέργειας [14]

Στην παραπάνω εικόνα 1.8 αναφέρονται αναλυτικά τα μέρη που αποτελείται ένα μπόιλερ τριπλής ενέργειας :

1. Θερμοδοχείο (Μπόιλερ)
2. Μανδύας κλειστού κυκλώματος
3. Μόνωση πολυουρεθάνης 5 cm πυκνότητας 40 kg/m<sup>3</sup> που εξασφαλίζει τη διατήρηση ζεστού του νερού
4. Εξωτερικό περίβλημα
5. Σωλήνας εξαέρωσης
6. Ηλεκτρική αντίσταση
7. Ράβδος μαγνησίου (ανόδιο) , κατά της ηλεκτρόλυσης
8. Έξοδος ζεστού νερού
9. Έξοδος κλειστού κυκλώματος
10. Είσοδος κρύου νερού
11. Σερπαντίνα για σύνδεση με την κεντρική θέρμανση (τριπλή ενεργεία)
12. Βαλβίδα ασφάλειας κλειστού κυκλώματος
13. Βαλβίδα θερμοκρασίας και πίεσεως



**Εικόνα 1.9:** Σύστημα συλλέκτη που χρησιμοποιεί μπόιλερ τριπλής ενέργειας για τη σύνδεση με τη θέρμανση του χώρου και παροχή ZNX [15]

### 1.5. Ηλιακοί Θερμοσίφωνες - Τύποι

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο κυκλώματος και τον τρόπο ροής του ρευστού στο κύκλωμα.

Αρχικά, έχουμε τον διαχωρισμό μεταξύ συστημάτων ανοικτού και κλειστού κυκλώματος :

#### ➤ Ηλιακοί θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος

Στους θερμοσίφωνες ανοικτού κυκλώματος το νερό χρήσης ρέει μέσα από τον συλλέκτη, θερμαίνεται και έπειτα αποθηκεύεται στο θερμοδοχείο , όπως βλέπουμε και στην εικόνα 1.10 .

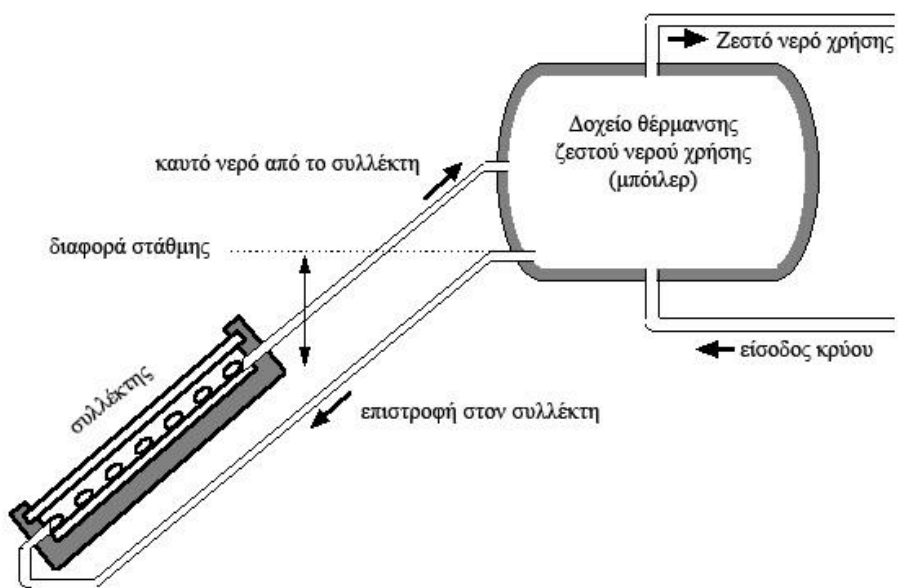
Τα συστήματα αυτά δεν είναι τόσο διαδεδομένα καθώς θεωρείται ανθυγιεινό το ότι το ίδιο νερό που περνάει μέσα από τις σωληνώσεις του συλλέκτη είναι αυτό που χρησιμοποιούμε. [8]

#### ➤ Ηλιακοί θερμοσίφωνες κλειστού κυκλώματος

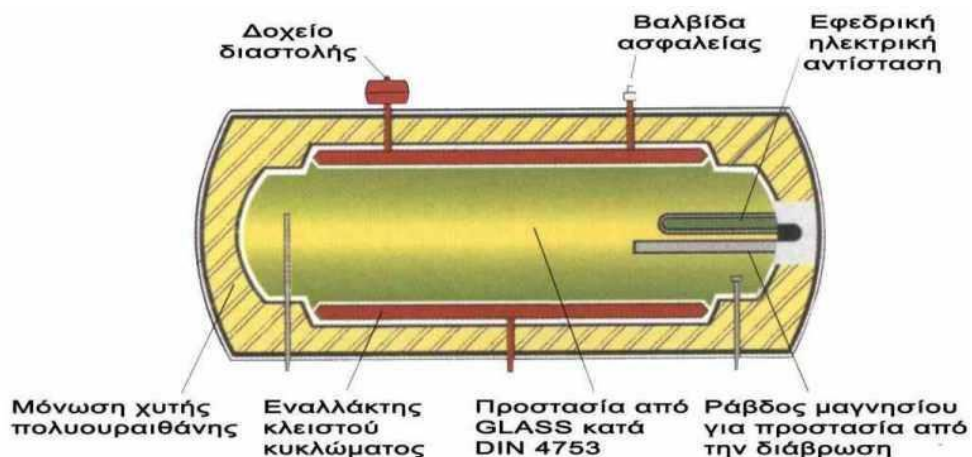
Σ αυτή τη διάταξη το νερό που βρίσκεται στο δοχείο ζεστού νερού χρήσης (ZNX), το οποίο θέλουμε να θερμάνουμε, είναι πλήρως διαχωρισμένο από το ρευστό (νερό +

αντιψυκτικό υγρό) που κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα (εναλλάκτης). Μέσω του κλειστού κυκλώματος λοιπόν γίνεται η μεταφορά της ενέργειας έμμεσα από το συλλέκτη στο θερμοδοχείο. [8]

Παλαιότερα οι εναλλάκτες βρισκόταν εμβαπτισμένοι μέσα στο δοχείο και ήταν τύπου σερπαντίνας, από χαλκοσωλήνα. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται οι εναλλάκτες τύπου μανδύα που τοποθετούνται περιμετρικά του δοχείο στο εσωτερικό τοίχωμα του, ώστε να έχουν άμεση επαφή με το νερό που είναι προς θέρμανση.



**Εικόνα 1.10:** Διάταξη θερμοσίφωνα ανοικτού κυκλώματος [8]



**Εικόνα 1.11 :** Μπόιλερ κλειστού κυκλώματος [21]

Ο τύπος κλειστού κυκλώματος είναι αυτός που χρησιμοποιείται σε όλους πλέον τους θερμοσίφωνες τα τελευταία χρόνια. Σε σχέση με του ανοικτού τύπου, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, πολύ λιγότερες φθορές και καλύτερη συνολική απόδοση.

Έπειτα, έχουμε το διαχωρισμό ανάμεσα σε συστήματα φυσικής ή εξαναγκασμένης ροής ρευστού :

#### ➤ **Φυσικής ροής**

Το μπόιλερ σ' αυτή την περίπτωση είναι τοποθετημένο ψηλότερα από το συλλέκτη, έτσι η ροή του νερού στο κύκλωμα γίνεται με φυσικό τρόπο, καθώς το θερμό νερό ανεβαίνει ψηλά και ωθεί το κρύο προς τον συλλέκτη για να θερμανθεί (εικόνα 1.12). Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας λόγω της πιο συμπαγής κατασκευής τους είναι οικονομικότερα, πιο εύκολα στην τοποθέτησης σου και δεν χρειάζονται τόσο τακτική συντήρηση όσο τα βεβιασμένης ροής. [5]



**Εικόνα 1.12:** Ηλιακός θερμοσίφωνας φυσικής ροής [13]

#### ➤ **Εξαναγκασμένης ροής**

Συναντάμε αυτόν τον τύπο (εικόνα 1.13) στις εφαρμογές όπου το μπόιλερ είναι τοποθετημένο χαμηλότερα απ' ότι ο συλλέκτης (συνήθως μέσα στο σπίτι). Επειδή λοιπόν δεν μπορεί το νερό να κινηθεί φυσικά λόγω της υψομετρικής διαφοράς τοποθετείται ένας κυκλοφορητής (εικόνα 1.14) ο οποίος θα κινεί το νερό και θα μεταφέρει την ενέργεια από τον συλλέκτη στο θερμοδοχείο [5].



**Εικόνα 1.13:** Σύστημα εξαναγκασμένης ροής σε οικία [8]



**Εικόνα 1.14:** Κυκλοφορητές ηλιακών συστημάτων [11] , [12]

Τα συστήματα εξαναγκασμένης ροής είναι σαφώς πιο ακριβά από τα φυσικής ροής όμως έχουν κάποια βασικά πλεονεκτήματα. Λόγω του ότι το μπόιλερ δεν τοποθετείται στην οροφή, δηλαδή σε εξωτερικό χώρο, είναι σίγουρα πιο καλαίσθητο αλλά επίσης βοηθάει και αρκετά την απόδοση του συστήματος καθώς δεν είναι εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες. Επίσης, η σύνδεση του μπόιλερ με τη θέρμανση είναι πιο εύκολη (εάν βέβαια υπάρχει θερμοσίφωνας τριπλής ενέργειας).

## 1.6. Ενδεικτικές Τιμές

Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται κάποιες ενδεικτικές τιμές για διάφορα μοντέλα συλλεκτών από επώνυμες εταιρείες του χώρου. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των τύπων ηλιακών θερμοσιφώνων που ακολουθούν είναι ότι όλα τα boiler - θερμοδοχεία είναι 150 - 160 L και διπλής ενέργειας. Όλα τα συστήματα τριπλής ενέργειας έχουν υψηλότερο κόστος από το αντίστοιχο μοντέλο διπλής που αναφέρεται.

Στον πίνακα 1.Ι παραθέτουμε μοντέλα και τιμές από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ενώ στο πίνακα 1.ΙΙ τα συστήματα χρησιμοποιούν συλλέκτες κενού.

**Πίνακας 1.Ι:** Ενδεικτικές τιμές ηλιακών θερμοσιφώνων με επίπεδους συλλέκτες (Ιανουάριος 2020)

A/A	Μάρκα	Μοντέλο	Τιμή
1	Calpak	Mark 4 160 lt / 2.1 m <sup>2</sup> Glass	880 €
2	Calpak	GigaXS 160 lt / 2 m <sup>2</sup> Glass	1.100 €
3	Maltezos	Malt SAC 160 lt / 1.95 m <sup>2</sup> Inox	1.040 €
4	Helioakmi	Megasun 160 lt / 2.62 m <sup>2</sup> Glass	790 €
5	Nobel	Aelios CUS 160 lt / 3 m <sup>2</sup> Glass	680 €
6	Pyramis	160 lt / 2 m <sup>2</sup> Glass	650 €
7	MasterSOL	ECO 160 lt / 3 m <sup>2</sup> Glass	540 €
8	SOL – Violaris	EnergyPro 160 lt / 2 m <sup>2</sup> Glass	440 €
9	Super Solar	SG 160 lt / 2 m <sup>2</sup>	385 €
10	Elitherm	GBA eco 160 lt / 2 m <sup>2</sup> Glass	410 €
11	Vitassol	160 lt / 2 m <sup>2</sup> Inox	420 €
12	Sonne	Atlas 160 lt / 2.3 m <sup>2</sup> Glass	610 €
13	Galaxy Solar	Plus 160 lt / 2 m <sup>2</sup> Glass	470 €
14	Howat	Prometeus 160 lt / 2 m <sup>2</sup> Glass	520 €

**Πίνακας 1.Π:** Ενδεικτικές τιμές ηλιακών θερμοσιφώνων με συλλέκτες κενού (Ιανουάριος 2020)

A/A	Μάρκα	Μοντέλο	Τιμή
1	Calpak	VacuumTS 160 lt / 2.48 m <sup>2</sup> Glass	1.230 €
2	PanSolar	150 lt / 3.4 m <sup>2</sup> Inox	850 €
3	Sieline	150 SXV 150 lt / 1.9 m <sup>2</sup> Gla	1.150 €
4	Welle	150 lt Inox	650 €
5	Green Solar	GS S150 Inox	830 €
6	ILIOSak	Vacuum Tube 150 lt / 1.9 m <sup>2</sup> Glass	1.100 €

Αν γίνει μία σύντομη ανάλυση στους παραπάνω πίνακες είναι άμεσα αντιληπτό ότι οι επιλογές που υπάρχουν στην αγορά για τους επίπεδους συλλέκτες είναι πολύ περισσότερες απ' ό τι για τους συλλέκτες κενού. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι σωλήνες κενού είναι μία σχετικά νεότερη τεχνολογία που συνεχώς αναπτύσσεται και βελτιώνεται. Σίγουρα όμως οι συλλέκτες κενού έχουν τη δυναμική να επιτύχουν πολύ καλύτερους βαθμούς απόδοσης, έτσι είναι λογική και η διαφοροποίηση που έχουν οι τιμές τους σε σχέση με τους απλούς συλλέκτες, οι οποίοι είναι σαφώς πιο ακριβοί.

### 1.7. Συντήρηση Ηλιακών Συλλεκτών

Όπως οι περισσότερες συσκευές έτσι και τα ηλιακά χρειάζονται προληπτική συντήρηση από κάποιον εξειδικευμένο τεχνικό. Με την προληπτική συντήρηση κερδίζουμε την μακροζωία του ηλιακού και ταυτόχρονα την καλύτερη θερμική του απόδοση. Οι περισσότερες εργασίες που πραγματοποιούνται δεν είναι στο συλλέκτη αλλά στο θερμοδοχείο. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά όλες οι εργασίες που απαιτούνται σε κάθε συντήρηση.

#### 1) Έλεγχος αντιψυκτικού υγρού και συμπλήρωση

Σε όλα τα ηλιακά χρησιμοποιείται αντιψυκτικό υγρό στο κλειστό κύκλωμα τους ώστε να μην παγώνει το νερό που ρέει μέσα σε αυτό. Το συμπλήρωμα του αντιψυκτικού είναι η πιο βασική εργασία της συντήρησης καθώς με την

πάροδο του χρόνου και τη χρήση η ποσότητα του μειώνεται. Αυτή είναι μία εργασία που μπορεί να κάνει και ο ίδιος ο χρήστης ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

## 2) Αντικατάσταση ανοδίου

Επίσης στο θερμοδοχείο υπάρχει μία ράβδος μαγνησίου (ανόδιο), η οποία συγκρατεί τα άλατα του νερού και χρειάζεται αντικατάσταση ανά περίπου 2 έτη (βάσει των οδηγιών των κατασκευαστών) κατά τη διάρκεια της συντήρησης.



**Εικόνα 1.15:** Διάφοροι τύποι ανοδίων [20]

## 3) Εσωτερικός καθαρισμός θερμοδοχείου (boiler)

Όλο το εσωτερικό μέρος του θερμοδοχείου καθαρίζεται ώστε να απομακρυνθούν τυχόν άλατα και χόμα που συσσωρεύονται εκεί από την χρήση. Αν δεν γίνεται τακτικός καθαρισμός, η φθορά του boiler επιταχύνεται, άρα έχουμε μείωση στη διάρκεια ζωής της συσκευής και σίγουρα η ποιότητα του νερού χρήσης δεν είναι η καλύτερη.

## 4) Καθαρισμός ηλεκτρικής αντίστασης

Σχεδόν σε όλα τα ηλιακά υπάρχει μία ηλεκτρική αντίσταση η οποία ελέγχεται από έναν θερμοστάτη, αυτή η αντίσταση βοηθάει το σύστημα να επιτύχει την



απόδοση που επιθυμεί ο χρήστης τις ημέρες με λιγότερη ή καθόλου ηλιοφάνεια.

Έτσι σε κάθε συντήρηση ο τεχνικός οφείλει να καθαρίζει την αντίσταση από τυχόν άλατα που μειώνουν την απόδοση της και να ελέγχει την σωστή λειτουργία της όπως και του θερμοστάτη.



**Εικόνα 1.16:** Ηλεκτρική αντίσταση boiler [19]

#### **5) Αντικατάσταση φλάντζας αντίστασης**

Η φλάντζα είναι υπεύθυνη για την στεγανότητα του θερμοδοχείου στην περιοχή όπου βιδώνει η ηλεκτρική αντίσταση. Σε κάθε συντήρηση γίνεται έλεγχος και εφόσον κριθεί απαραίτητο την αντικαθιστούμε.

#### **6) Αλλαγή μονώσεων στις σωληνώσεις του δικτύου**

Οι μονώσεις των σωληνώσεων είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του συστήματος καθώς οι ηλιακοί είναι εκτεθειμένοι σε όλα τα καιρικά φαινόμενα. Έτσι, ελέγχεται η κατάσταση τους και τα σημεία που έχουν μεγάλη φθορά αντικαθίστανται.

Έχοντας πάντοτε άρτιες μονώσεις μειώνουμε το ενδεχόμενο κάποιου σπασίματος στις σωληνώσεις μας σ' ένα ενδεχόμενο παγετό.

#### **7) Έλεγχος και καθαρισμός συλλέκτη**

Στην επιφάνεια του συλλέκτη συγκεντρώνεται σκόνη και διάφοροι ρύποι, οι οποίοι μειώνουν την απόδοση του συστήματος απ' τη στιγμή που περιορίζουν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη. Ο καθαρισμός της

γυάλινης επιφάνειας μπορεί να γίνεται και από τον χρήστη ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Επίσης, ο τεχνικός ελέγχει όλες της ενώσεις για να σιγουρευτεί ότι δεν υπάρχουν ανεπιθύμητες διαρροές, όπως επίσης και το γυαλί για κάποιο σπάσιμο στην επιφάνεια του.

#### 8) Έλεγχος της ασφαλιστικής βαλβίδας του κλειστού κυκλώματος

Η βαλβίδα ασφαλείας θα ανοίξει σε περίπτωση υπερθέρμανσης του boiler. Γίνεται έλεγχος για να διασφαλίσουμε ότι το δουλεύει κανονικά.

Ενδεικτικά στο Πίνακα 1.III αναφέρεται το κόστος της γενικής συντήρησης ενός ηλιακού θερμοσιφώνου καθώς και το κόστος των αναλωσίμων ανταλλακτικών που πιθανόν να χρειαστούν αντικατάσταση. Επισημαίνεται ότι βάσει των οδηγιών των κατασκευαστών ο έλεγχος και ο καθαρισμός των ηλιακών συστημάτων είναι αναγκαίο να γίνεται κάθε ένα ή δύο χρόνια. Πέρα από τη βελτίωση της απόδοσης η προληπτική συντήρηση είναι τα τελευταία χρόνια βασικός όρος, από τους περισσότερους κατασκευαστές, για την ισχύ της εγγύησης της συσκευής.

**Πίνακα 1.III :** Ενδεικτικό κόστος εργασιών και ανταλλακτικών (Ιανουάριος 2020)

A/A	Εργασία / Ανταλλακτικό	Τιμή
1	Γενική συντήρηση	40 - 60 €
2	Ανόδιο μαγνησίου	4 - 10 €
3	Αντιψυκτικό υγρό (5L)	10 - 20 €
4	Θερμοστάτης	8 - 20 €
5	Αντίσταση	10 - 25 €
6	Φλάτζα αντίστασης	1 – 3 €
7	Ασφαλιστική βαλβίδα	20 – 30 €

Όλες οι τιμές που αναγράφονται στον παραπάνω Πίνακα 1.ΠΙ προέκυψαν από έρευνα τιμών που διεξήχθη τον Ιανουάριο του 2020 και αφορά καταστήματα και τεχνικές εταιρείες εντός Αττικής.

Επίσης να αναφερθεί ότι η αντικατάσταση του ανοδίου μαγνησίου , η πλήρωση του συστήματος με αντιψυκτικό υγρό και η αντικατάσταση της φλάτζας της αντίστασης είναι απαραίτητα σε κάθε συντήρηση. Σε αντίθεση, ο θερμοστάτης, η αντίσταση και η ασφαλιστική βαλβίδα ελέγχονται σε κάθε service αλλά αντικαθίστανται μόνο εφόσον κριθεί απαραίτητο από τον εκάστοτε τεχνικό ή σε περίπτωση που λόγω φθοράς ή βλάβης τους, δημιουργείται πρόβλημα στη σωστή λειτουργία της συσκευής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Πιστοποιήσεις ηλιακών θερμικών συστημάτων

Το Εργαστήριο Ηλιακών και άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ "Δημόκριτος" αποτελεί το μοναδικό αναγνωρισμένο εργαστήριο χαρακτηρισμού και αξιολόγησης θερμικών ηλιακών συστημάτων στην Ελλάδα. Έτσι, υλοποιεί ερευνητικές και αναπτυξιακές δράσεις στον τομέα των τεχνολογιών εκμετάλλευσης της θερμικής ηλιακής ενέργειας και της εξοικονόμησης ενέργειας, παρέχοντας παράλληλα αξιόπιστες επιστημονικές υπηρεσίες στους αντίστοιχους παραγωγικούς κλάδους [9].

Το Εργαστήριο πραγματοποιεί δοκιμές απόδοσης και επιδόσεων σε ηλιακούς συλλέκτες με κάλυμμα, σε συνθήκες σταθερής κατάστασης που προβλέπονται από το πρότυπο, στο ύπαιθρο με φυσική ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης πραγματοποιεί τις δοκιμές αξιοπιστίας συλλεκτών όπως αυτές αναφέρονται στο πρότυπο.



**Εικόνα 2.1 :** Ηλιακός συλλέκτης δοκιμών [9]

Οι δοκιμές και οι μετρήσεις που προσφέρονται από το εργαστήριο σύμφωνα με το πρότυπο EN 12975 – 2 είναι:

- Καμπύλη στιγμιαίας απόδοσης
- Πτώση πίεσης
- Ενεργός θερμοχωρητικότητα
- Προσδιορισμός σταθεράς χρόνου
- Εσωτερική πίεση σε μεταλλικούς απορροφητές
- Αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία στασιμότητας
- Έκθεση στον ήλιο
- Εσωτερικό θερμικό πλήγμα
- Εξωτερικό θερμικό πλήγμα
- Διείσδυσης βροχής
- Μηχανικές δοκιμές
- Ετήσια απολαβή ηλιακού συλλέκτη



**Εικόνα 2.2 :** Εγκαταστάσεις εργαστηρίου δοκιμών Δημόκριτος [9]

## 2.2 Πρότυπα ΕΛΟΤ πιστοποίησης ηλιακών θερμικών συστημάτων

Για την πιστοποίηση κάθε ηλιακού θερμικού συστήματος είναι απαραίτητη η εφαρμογή του προτύπου ΕΛΟΤ EN 12975.02/2H . Παρακάτω αναφέρονται οι δοκιμές και οι έλεγχοι που γίνονται σε κάθε ηλιακό συλλέκτη πριν διατεθεί προς παραγωγή και πώληση.

Αρχικά, κάθε συλλέκτης πριν ξεκινήσουν οι δοκιμές θα πρέπει να ταυτοποιηθεί με τη χρήση του πακέτου των σχεδίων του που θα πρέπει να τον συνοδεύουν. Σε αυτά τα σχέδια θα πρέπει να παρουσιάζονται οι διαστάσεις του συλλέκτη, η λίστα όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του και άλλων οπτικών στοιχείων του.

Οι δοκιμές και οι έλεγχοι στους οποίους υπόκεινται όλοι οι συλλέκτες για να πιστοποιηθούν είναι οι εξής:

- Εσωτερική πίεση απορροφητή
- Έκθεση
- Εσωτερικό θερμικό σοκ
- Εξωτερικό θερμικό σοκ
- Θερμική απόδοση
- Έλεγχος σε βροχή
- Αντίσταση στον πάγο
- Έλεγχος μηχανικής φόρτισης

## 2.3 Απόδοση ηλιακών συλλεκτών

Το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος από έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη, σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, είναι η διαφορά του ποσού της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από τον απορροφητήρα και των απωλειών ενέργειας στο περιβάλλον.

Ο υπολογισμός της ωφέλιμης θερμικής ισχύος προκύπτει από την παρακάτω σχέσης :

$$Q = A_c \times G_T \times F_R \times (\tau \times \alpha)_n - A_r \times F_r \times U_L \times (T_{\text{εισ}} - T_{\alpha})$$

**Q** : ωφέλιμη συλλεγόμενη ισχύς (W)

**A<sub>c</sub>** : επιφάνεια συλλέκτη (m<sup>2</sup>)

**G<sub>T</sub>** : ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m<sup>2</sup>)

**F<sub>R</sub>** : συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

$\tau$  : διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος του συλλέκτη στην ηλιακή ακτινοβολία

$\alpha$  : απορροφητικότητα του απορροφητήρα στην ηλιακή ακτινοβολία

$U_L$ : συνολικός ισοδύναμος συντελεστής ενεργειακών απωλειών του συλλέκτη ( $W/m^2/^\circ C$ )

$T_{\epsilon\iota\sigma}$  : θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη ( $^\circ C$ )

$T_\alpha$  : θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $^\circ C$ )

**Πίνακας 2.1 :** Αντιπροσωπευτικές τιμές για τις παραμέτρους απόδοσης διάφορων τύπων ηλιακών συλλεκτών

Περιγραφή ηλιακού συλλέκτη νερού	$F_R(\tau\alpha)_n$	$F_R U_L$
Μαύρο χρώμα , 1 υαλοπίνακα	0,82	7,5
Μαύρο χρώμα , 2 υαλοπίνακες ή επιλεκτική επιφάνεια με 1 υαλοπίνακα	0,75	5
Σωλήνες κενού - αέρος	0,57	1,82
Απλός συλλέκτης, χωρίς κάλυμμα και μόνωση	0,86	21,5

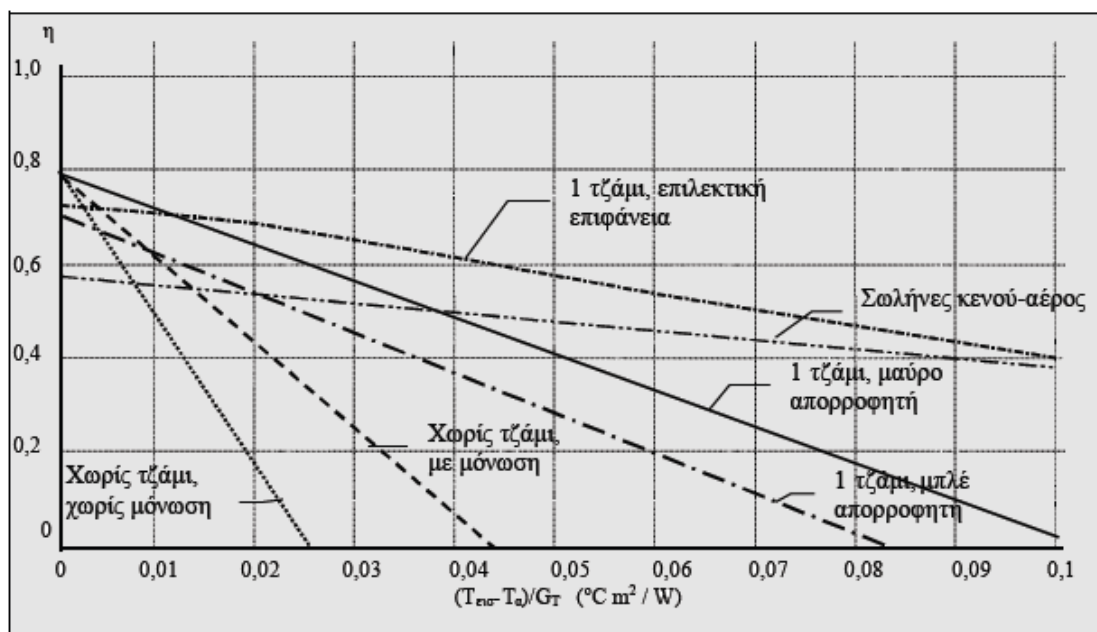
### Βαθμός απόδοσης ηλιακών συλλεκτών

Ορίζεται ως βαθμός απόδοσης κάθε ηλιακού συλλέκτη, ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του για δεδομένη τιμή έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και εξωτερικής θερμοκρασίας. [4]

Η στιγμιαία απόδοση ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\eta = \frac{Q}{A_C \times G_T} = F_R \times (\tau \times \alpha)_n - F_R \times U_L \times \frac{(T_{\epsilon\iota\sigma} - T_\alpha)}{G_T}$$

Στο παρακάτω σχήμα 2.1 παρουσιάζονται κάποιες τυπικές καμπύλες διαφορετικών τύπων επίπεδων ηλιακών συλλεκτών.



**Σχήμα 2.1 :** Τυπικές καμπύλες απόδοσης διαφορετικών συλλεκτών

Πέρα από τις σχέσεις που αναφέρθηκαν για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης, υπενθυμίζεται ότι ο βαθμός απόδοσης που παρουσιάζει ένας ηλιακός συλλέκτης επηρεάζεται άμεσα και μεταβάλλεται από την παλαιότητα του, από τη σωστή ή πλημμελή συντήρηση που υφίσταται και από την κατάσταση και τις συνθήκες λειτουργίας του [4].



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Πειραματική διάταξη ηλιακού συλλέκτη

Ακολούθως περιγράφεται η αρχική ιδέα της πειραματικής διάταξης και οι διάφοροι περιορισμοί που τέθηκαν εξ αρχής ή προέκυψαν στην πορεία. Αρχικά, η κατασκευή του ηλιακού συλλέκτη θα αποτελέσει μια πειραματική διάταξη, συνεπώς θα δημιουργηθεί μία εργαστηριακή άσκηση με σκοπό:

- να παρουσιάζει βαθμό απόδοσης σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα (για παράδειγμα σε ένα εργαστηριακό 2ωρο) και
- να χρησιμοποιείται από αρχάριους χρήστες, όσον αφορά το συγκεκριμένο τομέα των ηλιακών συστημάτων, όπως είναι οι φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών

Όσον αφορά το συλλέκτη, που είναι ίσως το βασικότερο κομμάτι της κατασκευής, υπήρξε η σκέψη να γίνει επικοινωνία με κάποιο εργοστάσιο ή βιοτεχνία κατασκευής συλλεκτών ώστε να κατασκευαστεί ένας συλλέκτης κατόπιν παραγγελίας στις διαστάσεις που είχαν οριστεί για τη διάταξη του πειράματος. Αυτή η ιδέα αποδείχθηκε άστοχη καθώς οι περισσότερες από τις βιοτεχνίες, με τις οποίες υπήρξε επικοινωνία, δεν είχαν τη δυνατότητα να κατασκευάσουν ένα τόσο μικρό σε διαστάσεις συλλέκτη λόγω τις συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής τους. Από την άλλη, μια βιοτεχνία που δέχθηκε να ασχοληθεί με το συγκεκριμένο εγχείρημα, το κοστολόγησε με ένα πολύ υψηλό ποσό που δεν ήταν δυνατόν να καλυφθεί. Έτσι μην έχοντας τους απαιτούμενους πόρους για κάτι τέτοιο πάρθηκε η απόφαση να δημιουργηθεί ο συλλέκτης από το συγγραφέα της πτυχιακής εργασίας με ίδια μέσα.

Οι δύο βασικές προϋποθέσεις της κατασκευής, που είχαν τεθεί εξ' αρχής, είναι :

- να διατηρηθεί ένα μικρό μέγεθος
- να είναι φορητή

Επόμενο πολύ βασικό κομμάτι της κατασκευής είναι το δοχείο αποθήκευσης του ζεστού νερού. Σ' αυτό το σημείο αντιμετωπίστηκε το μεγαλύτερο πρόβλημα, αφού η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ανέφερε ξεκάθαρα ότι :

- το κύκλωμα θα πρέπει να δουλεύει και ως κλειστό αλλά και ως ανοιχτό
- η χωρητικότητα του δοχείου να είναι περίπου 7-8 L νερό

Καμία συσκευή από αυτές που υπήρχαν στο εμπόριο δεν πληρούσε τις παραπάνω προδιαγραφές. Έτσι προέκυψαν δύο πιθανές επιλογές, είτε θα γινόταν παραμετροποίηση μίας έτοιμης συσκευής είτε θα γινόταν δημιουργία ενός νέου δοχείου από την αρχή. Στη πρώτη περίπτωση ο σημαντικότερος περιορισμός ώστε να ευδοκιμήσει ήταν το μέγεθος καθώς τα μικρότερα θερμοδοχεία της αγοράς είναι χωρητικότητας 40 λίτρων, αρκετά μεγαλύτερη δηλαδή από την επιθυμητή. Με γνώμονα αυτό λοιπόν και σε συνδυασμό με το κόστος που θα είχε ένα έτοιμο δοχείο συν τις εργατώρες επεξεργασίας για την τροποποίηση του στο ιδανικό αποτέλεσμα επιλέχθηκε το δεύτερο σενάριο ως πιο βιώσιμο παρά το μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας που παρουσίαζε. Όλη η διαδικασία της κατασκευής του θερμοδοχείου μαζί με φωτογραφικό υλικό αναλύεται στο Κεφάλαιο 4.

Αφού βρέθηκαν οι λύσεις στις δύο πρώτες και βασικές κατασκευές της διάταξης τα υπόλοιπα εξαρτήματα βρέθηκαν σχετικά εύκολα καθώς τα περισσότερα ήταν εξαρτήματα που υπήρχαν στο εμπόριο. Τα περισσότερα από αυτά τα εξαρτήματα (όπως αντλία ρευστών, βάνες, παροχόμετρο κ.α.) προσαρμόζονται σε ένα ειδικά διαμορφωμένο πλαστικό κουτί, όπως παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Επίσης να αναφερθεί ότι για τον προβολέα έγινε ειδική κατασκευή ώστε να αυξομειώνεται η απόσταση από το συλλέκτη, το ύψος και η κλίση του., η οποία προσαρμόζεται πάνω στη βάση έδρασης του συλλέκτη.

Τέλος, στην πειραματική διάταξη υπάρχουν και τα θερμόμετρα με τα οποία ελέγχεται και καταγράφεται ανά πάσα στιγμή η θερμοκρασία εισόδου του νερού ( $T_{in}$ ), η θερμοκρασία εξόδου του ( $T_{out}$ ), η θερμοκρασία νερού στο θερμοδοχείο ( $T_{tank}$ ) και η θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T_{περ}$ ) οι οποίες θα μας χρειαστούν ώστε να γίνει το πειραματικό μέρος της πτυχιακής εργασίας και να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ( $\eta_{\text{συστ}}$ ) αλλά και του συλλέκτη ( $\eta_{\text{συλ}}$ ).

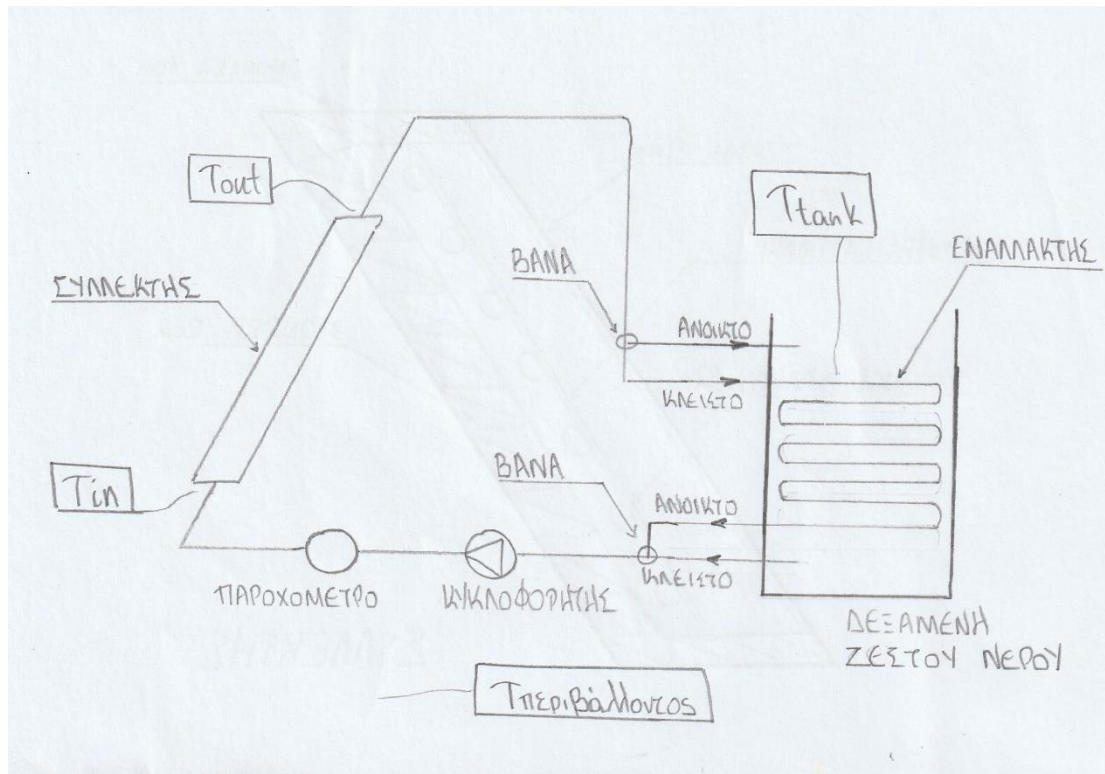
Η κατασκευή αυτής της πτυχιακής εργασίας αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. Το συλλέκτη
2. Τη βάση του συλλέκτη, που έχει τη δυνατότητα αλλαγής κλίσης
3. Τη λάμπα πυρακτώσεως, η οποία μας παράγει το τεχνητό φως που χρειαζόμαστε ώστε να προσομοιάσουμε την ηλιακή ακτινοβολία
4. Τη βάση για τη λάμπα, που έχει τη δυνατότητα ρύθμισης του ύψους
5. Τη δεξαμενή - θερμοδοχείο

6. Τους αισθητήρες θερμοκρασίας νερού εισόδου, νερού εξόδου και δεξαμενής
7. Τον μετρητή παροχής του νερού στο κύκλωμα
8. Την αντλία νερού – κυκλοφορητή
9. Τον εξαερωτήρα του κυκλώματος

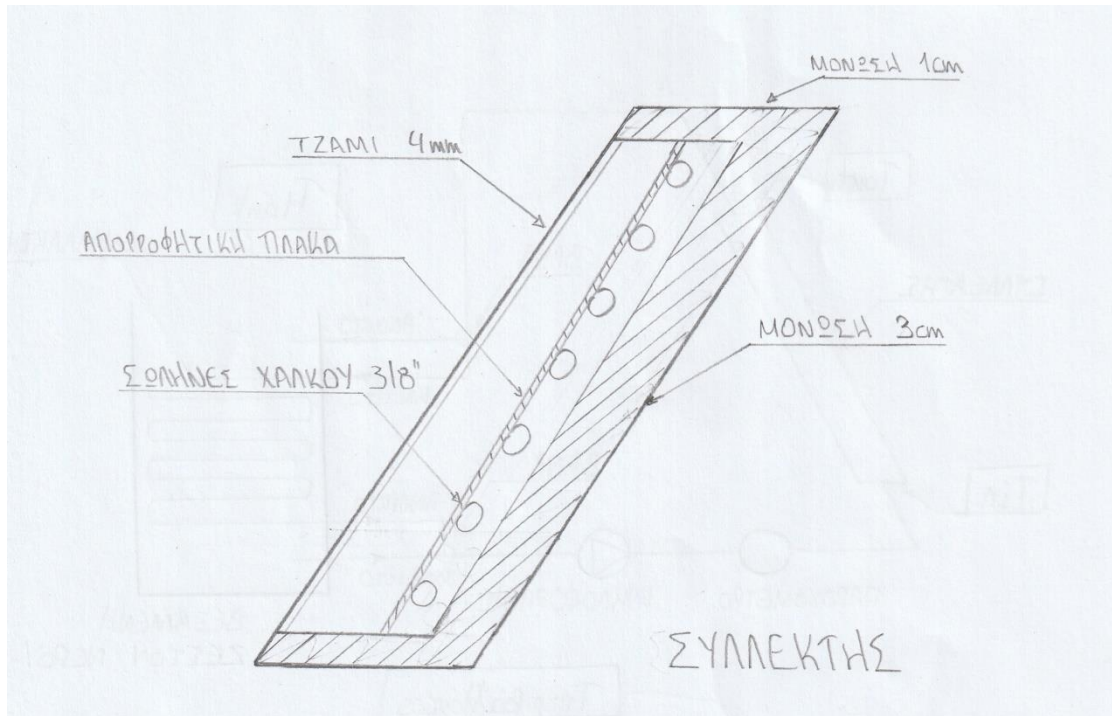
### 3.2 Σενάρια κατασκευής – Σχεδιασμός

Αρχικά δημιουργήθηκε το σκαρίφημα που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.1

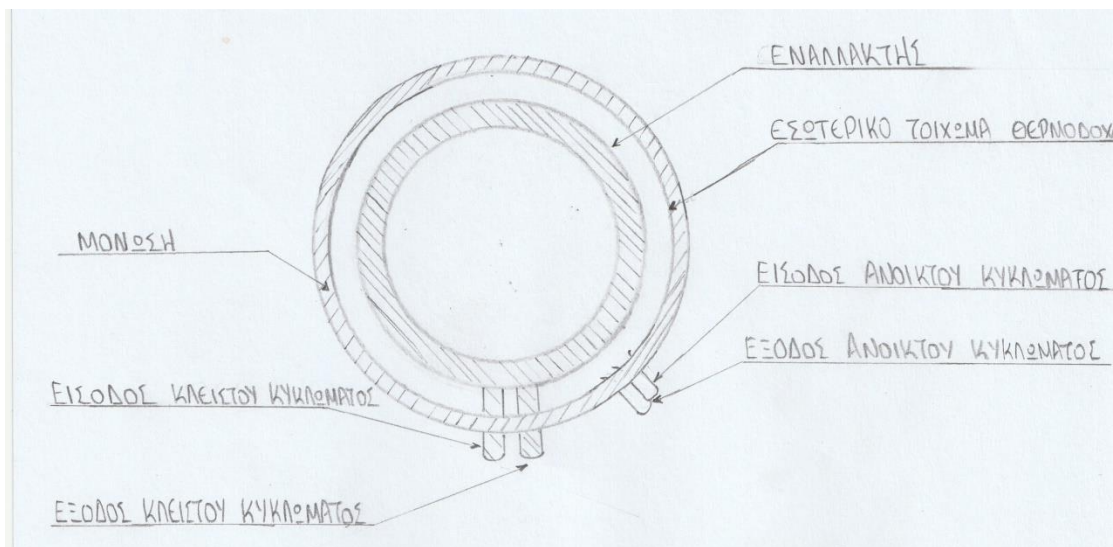


**Εικόνα 3.1** : Σκαρίφημα πειραματικής διάταξης

Ακολούθως, πριν την κατασκευή της πειραματικής διάταξης σχεδιάστηκαν και παρουσιάζονται σε τομή ο συλλέκτης του συστήματος στην εικόνα 3.2, όπως και το θερμοδοχείο στην εικόνα 3.3.



**Εικόνα 3.2 :** Σκαρίφημα – Πλάγια όψη σε τομή του συλλέκτη της πειραματικής διάταξης



**Εικόνα 3.3 :** Σκαρίφημα – Κάτοψη σε τομή θερμοδοχείου της πειραματικής διάταξης

Οι διαστάσεις καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά όλων των επιμέρους κατασκευών της πειραματικής διάταξης αναφέρονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.,

### 3.3 Υλικά κατασκευής

Στον παρακάτω πίνακα 3.1 αναγράφονται όλα τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πειραματικής διάταξης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

**Πίνακας 3.1:** Υλικά τα οποία χρειάστηκαν στην κατασκευή

A/A	Είδος – Χαρακτηριστικά στοιχεία	Ποσότητα
1	Σίδερο Σταντζαριστό μήκους: 4000mm (100x20x5 mm)	1 τεμ
2	Σίδερο Σταντζαριστό μήκους: 4000mm (30x30x5 mm)	2 τεμ
4	Χαλκοσωλήνα 3/8” (κουλούρα:30 m)	8 m
5	Λαμαρίνα πάχους: 8mm (50x50 mm)	2 τεμ
6	Προβολέας με λάμπα 1000W	1 τεμ
7	Διακόπτες Υ	2 τεμ
8	Κυκλοφορητής / Αντλία ρευστών	1 τεμ
9	Λάστιχο 12 mm X 9 mm	4 m
10	Χάλκινο Ταφ 1/4”	2 τεμ
11	Μετασχηματιστής / Τροφοδοτικό (3 - 12V)	1 τεμ
12	Πλαστικές τάπες 30 x 30	6 τεμ
13	Πλαστικές βάσεις έδρασης	4 τεμ
13	Τζάμι (46 x 36 cm) πάχους 4 mm	1 τεμ
14	Μετρητής παροχής	1 τεμ
15	Ακρυλικό φύλλο (51 x 101 cm) πάχους 3mm	1 τεμ
16	Ακρυλικό φύλλο (51 x 101 cm) πάχους 4mm	1 τεμ
17	Πλαστικό κουτί ηλεκτρονικών κατασκευών	1 τεμ
18	Ψηφιακό θερμόμετρο	4 τεμ
19	Αλκαλική μπαταρία AAA	1 τεμ
20	Διακόπτης on/off	2 τεμ
21	Γωνία αυτόματη συνδετική Φ12	7 τεμ
22	Συνδετικό αυτόματο Φ12	1 τεμ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### 4.1 Κατασκευή Πειραματικής Διάταξης Ηλιακού Συλλέκτη

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση όλων των εργασιών οι οποίες χρειάστηκαν ώστε να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα.

Αρχικά, δημιουργήθηκε η βασική κατασκευή στην οποία θα προσαρμοστεί ο συλλέκτης και ο προβολέας. Χρησιμοποιήθηκε στραντζαριστό σίδερο 30 x 30 mm, το οποίο κόπηκε σε κομμάτια, στις επιθυμητές διαστάσεις που χρειάζονταν, τα οποία συνδέθηκαν μεταξύ τους με σφικτήρες και έγινε έλεγχος κεντρότητας με αλφάδι και γωνία. Στη συνέχεια με χρήση ηλεκτροκόλλησης, τα κομμάτια συγκολλήθηκαν μεταξύ τους, έτσι η κατασκευή έγινε απόλυτα σταθερή όπως δείχνει η εικόνα 4.1 .



**Εικόνα 4.1:** Βάση συλλέκτη

Πάνω σε αυτή την αρχική κατασκευή προσαρμόστηκε και η βάση που θα τοποθετηθεί ο προβολέας (εικόνα 4.2). Η βάση αυτή έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει την απόσταση του προβολέα από το συλλέκτη, το ύψος από το οποίο η

λάμπα θα εκπέμπει την ακτινοβολία της αλλά και την κλίση του φωτός που θα πέφτει πάνω στο συλλέκτη. Για τη δημιουργία της χρειάστηκε, όπως και στη βάση του συλλέκτη, στραντζαριστό σίδηρο 30 x 30 mm.



**Εικόνα 4.2:** Βάση συλλέκτη και προβολέα

Έπειτα, ασχοληθήκαμε με τη δημιουργία του συλλέκτη. Αρχικά για την κατασκευή του πλαισίου επιλέχθηκε στραντζαριστό σίδηρο 100 x 20 mm. Κόπηκαν τέσσερα κομμάτια στις διαστάσεις που θέλαμε ώστε να δημιουργηθεί αυτή η κατασκευή, έγινε σύσφιξη των κομματιών με σφικτήρες, έλεγχος της κεντρότητας τους και έπειτα συγκόλληση με τη βοήθεια της ηλεκτροκόλλησης.

Ο τρόπος που προσαρμόστηκε το πλαίσιο του συλλέκτη πάνω στην κατασκευή φαίνεται στην εικόνα 4.3 .



**Εικόνα 4.3:** Βάση συλλέκτη με το πλαίσιο του συλλέκτη

Στην πλάτη του συλλέκτη συγκολλήθηκε ένα κομμάτι λαμαρίνας πάχους 8 mm. Η οπίσθια επιφάνεια του συλλέκτη μονώθηκε με μόνωση πάχους 30 mm αλλά και στα πλευρικά τοιχώματα τοποθετήθηκε μόνωση 10 mm.

Για να δημιουργηθεί η απορροφητική πλάκα χρειάστηκε ένα κομμάτι λαμαρίνας πάχους 6 mm και διαστάσεων 45 x 35 cm. Στην πίσω πλευρά αυτής της λαμαρίνας, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.4, δημιουργήθηκε ένα δίκτυο σωληνώσεων που θα ρέει το θερμοαπαγωγό ρευστό.





**Εικόνα 4.4:** Απορροφητική επιφάνεια

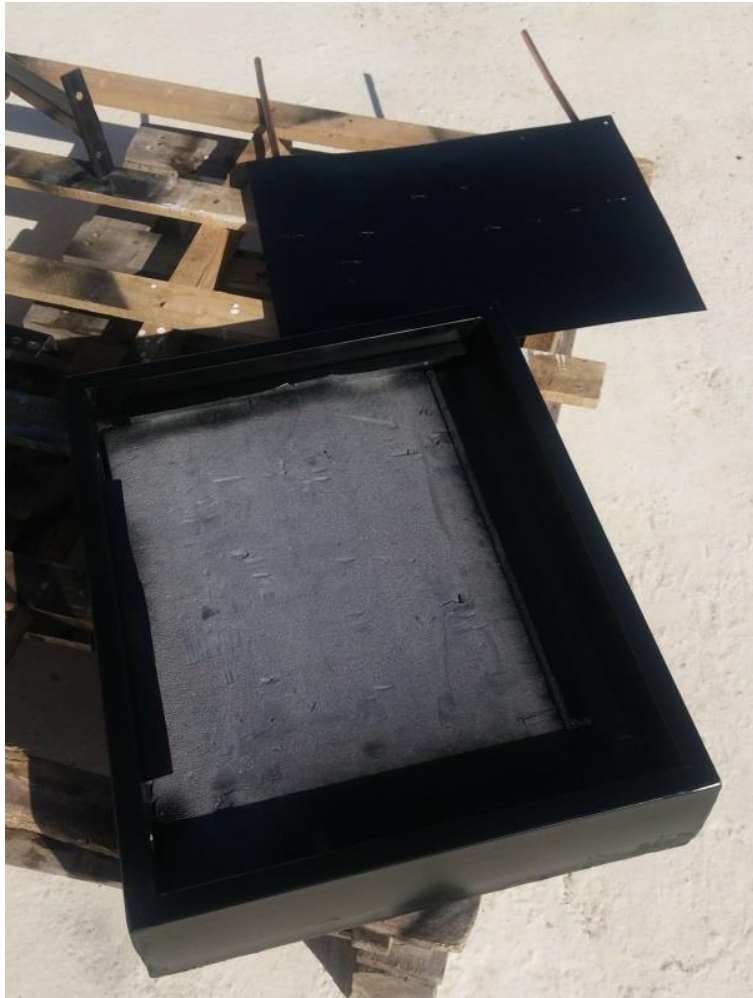
Για αυτό το δίκτυο χρησιμοποιήθηκε ευθύγραμμη σωλήνα χαλκού διατομής 3/8" και χάλκινα εξαρτήματα τύπου 'Υ' τα οποία κολλήθηκαν μεταξύ τους ώστε να καλυφθεί όσο τον δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια από την λαμαρίνα, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5 .



**Εικόνα 4.5:** Απορροφητική επιφάνεια

Η απορροφητική πλάκα βάφτηκε με μαύρο χρώμα, εικόνα 4.6, για να επιτευχθεί μεγαλύτερη απορροφητικότητα και έπειτα βιδώθηκε στο πλαίσιο του συλλέκτη. Η επιλογή να χρησιμοποιηθεί ειδική επίστρωση τιτανίου για να δημιουργηθεί επιλεκτική επιφάνεια, κρίθηκε ιδιαίτερος δαπανηρή και για αυτό επιλέχθηκε η λύση απλής βαφής με μαύρη μπογιά.

Για την προσαρμογή της πλάκας πάνω στο πλαίσιο του συλλέκτη, βιδώθηκαν στα τοιχώματα του πλαισίου μεταλλικές βάσεις σχήματος Γ ώστε να γίνει η στήριξη.



**Εικόνα 4.6:** Διαδικασία βαφής συλλέκτη

Το τελευταίο κομμάτι για την ολοκλήρωση του συλλέκτη ήταν η γυάλινη πρόσοψη, για την οποία χρησιμοποιήθηκε ένα διάφανο τζάμι 4 mm. Αυτή η επιλογή έγινε για να περνάει όσο το δυνατόν περισσότερη ακτινοβολία στην απορροφητική πλάκα του συλλέκτη, ενώ η επιλογή να χρησιμοποιηθεί άθραυστο γυαλί, όπως χρησιμοποιείται στους συλλέκτες παραγωγής, για να έχει μεγαλύτερη αντοχή στους εξωτερικούς παράγοντες όπως το χαλάζι, κρίθηκε δαπανηρό και όχι και τόσο ουσιαστικό για ένα συλλέκτη ο οποίος θα βρίσκεται σε εργαστηριακό περιβάλλον. Για να τοποθετηθεί το τζάμι πάνω στο πλαίσιο του συλλέκτη βιδώθηκε σε κάθε πλευρά. Το τζάμι προσαρμόστηκε πάνω στο πλαίσιο χρησιμοποιώντας μαύρη σιλικόνη.

Στη συνέχεια αναλύεται η κατασκευή της δεξαμενής αποθήκευσης του νερού της διάταξης. Όπως αναφέρεται και σε επόμενη ενότητα το συγκεκριμένο κομμάτι της κατασκευής ήταν από τα δυσκολότερα τόσο για να την τελική υλοποίηση του όσο και για τη δυσκολία που αντιμετωπίστηκε εξ' αρχής ώστε να αποφασιστεί η μορφή του και ο τρόπος δημιουργίας του. Για την κατασκευή του θερμοδοχείου επιλέχθηκε

μία φιάλη αερίου (εικόνα 4.7), μιας και πρακτικά προσομοιάζει τα συμβατικά boiler που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην αγορά.



**Εικόνα 4.7:** Φιάλη

Αρχικά, κόπηκε με σιδεροπρίονο το επάνω μέρος της φιάλης και αφαιρέθηκε (εικόνα 4.8), έπειτα προσαρμόστηκε μέσα στο δοχείο ένα εσωτερικός εναλλάκτης τύπου σερπαντίνας που δημιουργήθηκε με εύκαμπτη σωλήνα χαλκού 3/8" και χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του κλειστού κυκλώματος. Προφανώς, η δημιουργία εναλλάκτη τύπου μανδύα κρίθηκε ανέφικτη διότι δεν υπήρχαν τα κατάλληλα μέσα για την κατασκευή του. Έπειτα, συγκολλήθηκαν με ασημοκόλληση δύο κομμάτια σωλήνας χαλκού 3/8", ένα στο πάνω και ένα στο κάτω μέρος του δοχείου ώστε να δημιουργηθεί η είσοδος και η έξοδος του νερού για τη λειτουργία του ανοιχτού κυκλώματος (εικόνα 4.9).



**Εικόνα 4.8:** Φιάλη μετά την κοπή του πάνω μέρους

Όλο το δοχείο βάφτηκε με αντισκουριακή μπογιά και τοποθετήθηκε περιμετρικά μόνωση πάχους 15mm για καλύτερη απόδοση του συστήματος και μείωση των απωλειών. Για το θερμοδοχείο δημιουργήθηκε και καπάκι ώστε να μειωθούν όσο είναι εφικτό οι απώλειες. Για το καπάκι προσαρμόστηκε ένα κομμάτι μόνωση πάχους 5 cm πάνω σε ένα κομμάτι plexiglass πάχους 3 mm και όλο επενδύθηκε με ταινία αλουμινίου και για μόνωση αλλά και για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα.



**Εικόνα 4.9:** Θερμοδοχείο πειραματικής διάταξης

Για την πρακτικότητα την διάταξης και ένα πιο συμπαγές αποτέλεσμα δημιουργήθηκε ένα κουτί από ακρυλικό πλαστικό (plexiglass), στο οποίο τοποθετήθηκε το θερμοδοχείο, οι βάνες για την είσοδο και την έξοδο του νερού όπως και για την εναλλαγή κλειστού – ανοικτού κυκλώματος, το όργανο μέτρησης παροχής του συστήματος (εικόνα 4.10) και ο κυκλοφορητής (εικόνα 4.11). Το συγκεκριμένο κουτί διευκολύνει τη μεταφορά της πειραματικής διάταξης.



**Εικόνα 4.10 :** Όργανο ρύθμισης και μέτρησης παροχής ρευστού



**Εικόνα 4.11 :** Κυκλοφορητής συστήματος / Αντλία ρευστών

Η κατασκευή αυτή δημιουργήθηκε εξ' ολοκλήρου από την αρχή. Αγοράστηκαν 2 φύλλα plexiglass τα οποία κόπηκαν στις επιθυμητές διαστάσεις για να δημιουργηθεί το κάτω μέρος / βάση και οι τέσσερις πλευρές της κατασκευής.

Κολλήθηκαν όλα τα κομμάτια με ακρυλική κόλλα. Χρησιμοποιήθηκε και ταινία αλουμινίου σε όλες τις ενώσεις για να γίνει πιο στιβαρή η κατασκευή. Έπειτα

χρησιμοποιώντας ένα dremel ανοίχθηκαν όλες οι οπές που χρειάζονταν είτε για την τοποθέτηση και τη στήριξη των οργάνων είτε για το πέρασμα των σωληνώσεων.

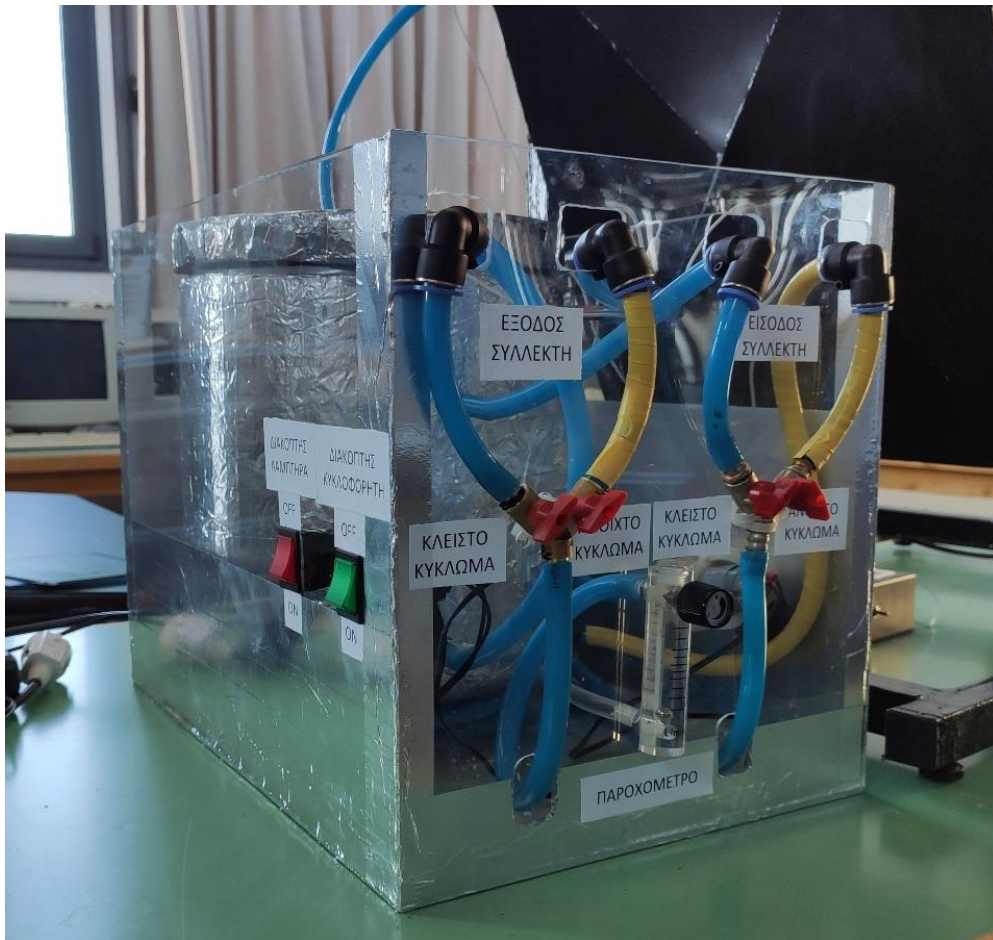
Το λάστιχο που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του δικτύου και τη μεταφορά του νερού είναι εσωτερικής διατομής 9 mm και εξωτερικής 12 mm.



**Εικόνα 4.12 :** Κουτί θερμοδοχείου, σωληνώσεων και οργάνων

Στην αριστερή πλευρική επιφάνεια της συγκεκριμένης κατασκευής τοποθετήθηκαν δύο διακόπτες. Ο πράσινος διακόπτης θέτει σε λειτουργία και αντίστοιχα απενεργοποιεί την αντλία του νερού όποτε επιλέξει ο χρήστης. Επίσης, υπάρχει και ο κόκκινος διακόπτης, ο οποίος θέτει σε λειτουργία και απενεργοποιεί τον λαμπτήρα. Οι διακόπτες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν ανοχή στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος έως 16 Amber.





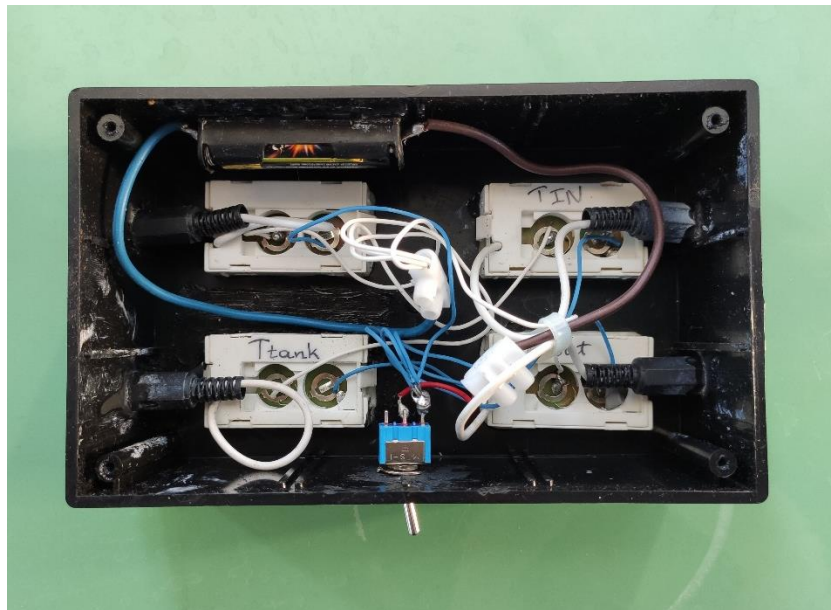
**Εικόνα 4.13 :** Κουτί θερμοδοχείου, σωληνώσεων και οργάνων – Τελική μορφή

Τελευταία κατασκευή της πειραματικής διάταξης είναι το μικρό κουτί που φιλοξενεί τα τέσσερα ψηφιακά θερμομέτρα (Τεισόδου νερού , Τεξόδου νερού, Τδεξαμενής και Τπεριβάλλοντος). Αγοράστηκε ένα πλαστικό κουτί ηλεκτρονικών κατασκευών διαστάσεων 16 x 10 x 5 cm , δημιουργήθηκαν οι απαιτούμενες οπές για να προσαρμοστεί το κάθε ένα θερμομέτρο με τη βοήθεια ενός dremel. Στο καλώδιο του κάθε θερμομέτρου παρεμβάλλαμε ένα αρσενικό και ένα θηλυκό βίσμα mini-jack , έτσι ώστε να μπορεί η συσκευή να είναι εύκολα μεταφερόμενη και το κάθε θερμομέτρο να είναι αποσπώμενο (εικόνα 4.14).



**Εικόνα 4.14 :** Πλαστικό κουτί θερμομέτρων

Τέλος, όσον αφορά την τροφοδοσία των θερμομέτρων καταργήθηκε η εργοστασιακή, συνδέθηκαν μεταξύ τους παράλληλα και πλέον τροφοδοτούνται από μια αλκαλική μπαταρία AAA ενώ έχουμε παρεμβάλει και ένα διακόπτη on-off. Όλες οι νέες παραμετροποιήσεις και συνδέσεις που έγιναν φαίνονται στην εικόνα 4.15.

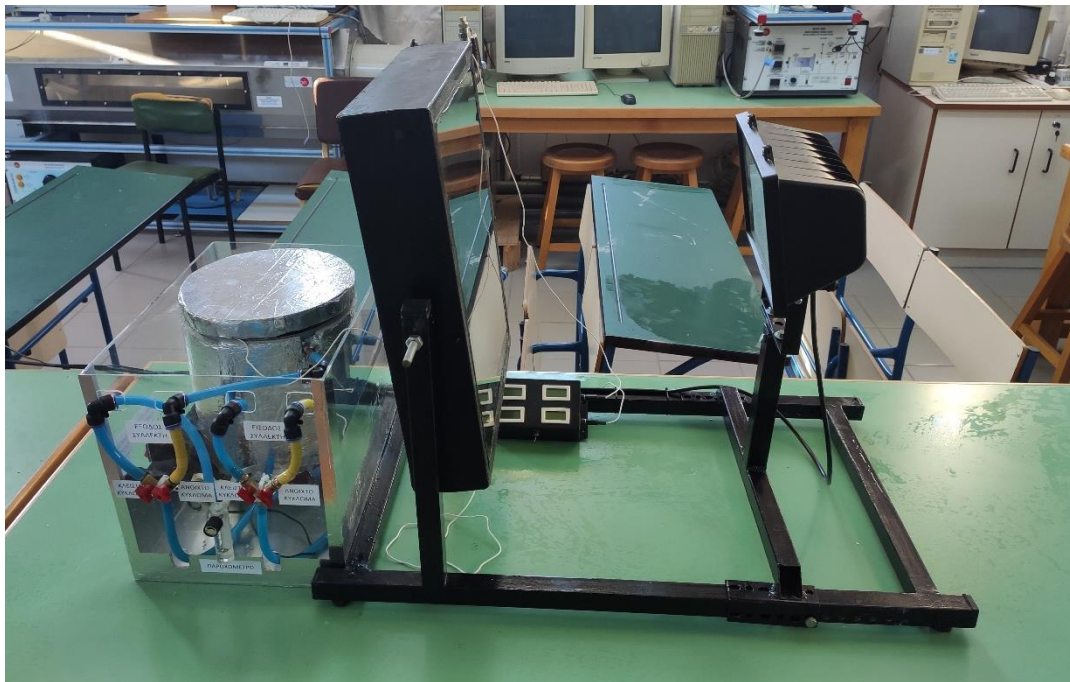


**Εικόνα 4.15 :** Πλαστικό κουτί θερμομέτρων (εσωτερική όψη - συνδεσμολογία)

## 4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κατασκευής

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται όλες οι διαστάσεις και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πειραματικής διάταξης (εικόνα 4.16).

- Οι διαστάσεις του συλλέκτη είναι 50 cm ύψος, 40 cm πλάτος και 10 cm βάθος.
- Η κατασκευή έδρασης του συλλέκτη και του προβολέα έχει μήκος 85 cm και πλάτος 50 cm.
- Το θερμοδοχείο έχει συνολικό ύψος 30 cm, ωφέλιμο ύψος για να γεμίσει με νερό 25 cm και διάμετρο 24 cm.
- Το βάρος του άδειο ανέρχεται στα 3,8 kg.
- Το λάστιχο που χρησιμοποιείται για την μεταφορά του νερού είναι εσωτερικής διατομής 9 mm και εξωτερικής 12 mm.
- Το κουτί που φιλοξενεί το θερμοδοχείο, τις βάνες, τον κυκλοφορητή και το παροχόμετρο έχει διαστάσεις : 43 cm μήκος, 30 cm πλάτος, 35 cm ύψος
- Το πλαστικό κουτί που τοποθετούνται τα θερμόμετρα είναι 16 cm μήκος, 10 cm πλάτος και 5 cm ύψος.
- Τα θερμόμετρα είναι ψηφιακά, με ανάλυση ενός δεκαδικού ψηφίου.
- Ο προβολέας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ακτινοβολίας λειτουργεί στα 230 V με 50 Hz και με λάμπα 1000 W.
- Ο κυκλοφορητής του συστήματος είναι μία αντλία ρευστών, η οποία δουλεύει στα 6-12 V DC και η ταχύτητα ροής του νερού είναι 1-3 L/min.
- Το τροφοδοτικό που επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη αντλία ρευστών, βάσει των προδιαγραφών της, έχει τη δυνατότητα ρύθμισης του ρεύματος από 3 έως 12 V.



**Εικόνα 4.16:** Τελική μορφή πειραματικής διάταξης ηλιακού συλλέκτη της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας

### 4.3 Παρεμβάσεις / Αστοχίες κατά τη Διάρκεια της Κατασκευής

Σ' αυτή την ενότητα θα αναφερθούν κάποιες αρχικές επιλογές που έγιναν αλλά αποδείχθηκαν λανθασμένες αφού το σύστημα είτε δεν δούλευε καθόλου είτε δεν έδινε την επιθυμητή απόδοση.

Αρχικά, για ένα μεγάλο μέρος της διαδικασίας κατασκευής αλλά και κάποιων εκ των αρχικών δοκιμών, ο συλλέκτης δεν είχε γυάλινη πρόσοψη. Έγινε αντιληπτό από την πρώτη στιγμή και πρακτικά πόσο χαμηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος με ένα συλλέκτη χωρίς τζάμι.

Κατά δεύτερον, είναι πολύ σημαντικό για μέγιστη απόδοση σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα να υπάρχει η κατάλληλη ταχύτητα του νερού στο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο κυκλοφορητή και με το σωστό ρεύμα από το μετασχηματιστή. Στη συγκεκριμένη πειραματική διάταξη δοκιμάστηκαν πάνω από 5 διαφορετικοί κυκλοφορητές και 3 μετασχηματιστές ώστε καθαρά πειραματικά και μετά από πολλές δοκιμές να βρεθεί τελικά ο ιδανικός συνδυασμός που έδινε το καλύτερο αποτέλεσμα.

Ο προβολέας που χρησιμοποιείται είναι ισχύος 1000 Watt ενώ αρχικά στις πρώτες ενδεικτικές μετρήσεις που έγιναν ο προβολέας ήταν ισχύος 500 Watt. Αυτή η αλλαγή

έγινε καθώς τα 500 Watt παραπάνω , τα οποία έχει η νέα λάμπα, δίνουν καλύτερο και πιο γρήγορο αποτέλεσμα στη θέρμανση του συλλέκτη.

Επίσης, βασικό κομμάτι της κατασκευής είναι το θερμοδοχείο, το οποίο αρχικά ήταν πλαστικό και μεγαλύτερου όγκου από αυτό που τελικά χρειαζόταν για το πείραμα. Επιλέχθηκε η κατασκευή του θερμοδοχείου να είναι μεταλλική ώστε να δημιουργηθούν πιο εύκολα, με τα μέσα τα οποία υπήρχαν, οι αναμονές για να επιτευχθεί η εναλλαγή ανοιχτού - κλειστού κυκλώματος και να διασφαλιστεί η απόλυτη στεγανότητα του δοχείου. Επίσης, με τη μόνωση που έγινε περιμετρικά του δοχείου και στο καπάκι του μειώθηκαν ακόμα περισσότερο οι απώλειες που προέκυπταν αρχικά με το πλαστικό ανοικτό δοχείο.

Τα λάστιχα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του νερού στο κύκλωμα αρχικά ήταν διαμέτρου 8mm, όμως πρώτον ήταν λίγο μικρότερα από τις αναμονές των οργάνων και δεύτερον δεν βοηθούσαν τόσο στην απόδοση καθώς λόγω της μικρότερης διατομής τους δημιουργούσαν μεγαλύτερες ταχύτητες ροής του νερού από τις επιθυμητές. Στη συνέχεια έγινε νέα δοκιμή με λάστιχα διαμέτρου 3/8” (9,5mm) αλλά δεν ταίριαζαν καθόλου στις ταχύτητες ροής που υπήρχαν βάσει του κυκλοφορητή. Άρα, η βέλτιστη λύση και απόδοση δόθηκε με τη χρήση διαμέτρου 9mm, που αποδείχθηκε ιδανική.

Ένας ακόμα προβληματισμός ο οποίος παρατηρήθηκε όσον αφορά τα λάστιχα πέρα από τη διατομή τους είναι και η διάταξη τους όπως επίσης και το συνολικό μήκος του δικτύου. Χρειάστηκαν δεκάδες δοκιμές και αλλαγές στο κύκλωμα για να βρεθούν τα κατάλληλα εξαρτήματα και η δομή του δικτύου ώστε να αποδίδει σωστά η συσκευή και στο ανοικτό αλλά και στο κλειστό κύκλωμα, που είναι σαφώς πιο απαιτητικό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### 5.1 Λειτουργία Πειραματικής Διάταξης

Η εκτέλεση του πειράματος για την εύρεση πρώτον της απόδοσης ενός ηλιακού θερμικού συστήματος ( $n_{\text{συστ}}$ ) και δεύτερον της απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη ( $n_{\text{σολ}}$ ), για τύπου διάταξης ανοικτού κυκλώματος απαιτεί τα εξής βήματα:

- Γίνεται πλήρωση του θερμοδοχείου με νερό, μέχρι να καλυφθεί τελείως ο εναλλάκτης του κλειστού κυκλώματος και σημειώνεται ο όγκος νερού ( $V=8\text{lit}$ ).
- Επιλέγεται η κατάλληλη κλίση-γωνία του συλλέκτη σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ( $\beta$ )
- Επιλέγεται η κατάλληλη κλίση-γωνία της πηγής ακτινοβολίας ( $\alpha$ )
- Συνδέεται η συσκευή στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε να τροφοδοτηθεί τόσο ο προβολέας, όσο και ο κυκλοφορητής του συστήματος.
- Θέτουμε σε λειτουργία τον κυκλοφορητή πατώντας τον πράσινο διακόπτη, ώστε να πάει στη θέση ON, αφού πρώτα βεβαιωθούμε πως οι βάνες της διάταξης είναι ρυθμισμένες στη θέση ON για το ανοικτό κύκλωμα και στη θέση OFF για το κλειστό.
- Το παροχόμετρο της συσκευής ρυθμίζεται καταλλήλως για τις εκάστοτε μετρήσεις και καταγράφεται η τιμή παροχής ( $\dot{m}$ ).
- Θέτουμε σε λειτουργία το προβολέα πατώντας τον κόκκινο διακόπτη (6), αφού ελέγχουμε ότι βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση ( $L$ ), από όπου και προκύπτουν οι διαφορετικές τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας ( $I$ ).
- Ταυτόχρονα θέτουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο ώστε να αρχίσει να καταγράφει το χρόνο ( $t$ ).
- Καταγράφονται η θερμοκρασία εισόδου ( $T_{\text{in}}$ ), η θερμοκρασία εξόδου ( $T_{\text{out}}$ ), η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο ( $T_{\text{tank}}$ ) και η θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T_{\text{περ}}$ ), κάθε 5 λεπτά. Η διάρκεια του πειράματος θα πρέπει διαρκέσει τουλάχιστον 30 λεπτά.
- Μόλις συμπληρωθούν τα 30 λεπτά (ή ο εκάστοτε χρόνος που έχει τεθεί), σβήνουμε τον προβολέα (κόκκινος διακόπτης (6)) και στη συνέχεια το τροφοδοτικό του κυκλοφορητή (πράσινος διακόπτης (7)).

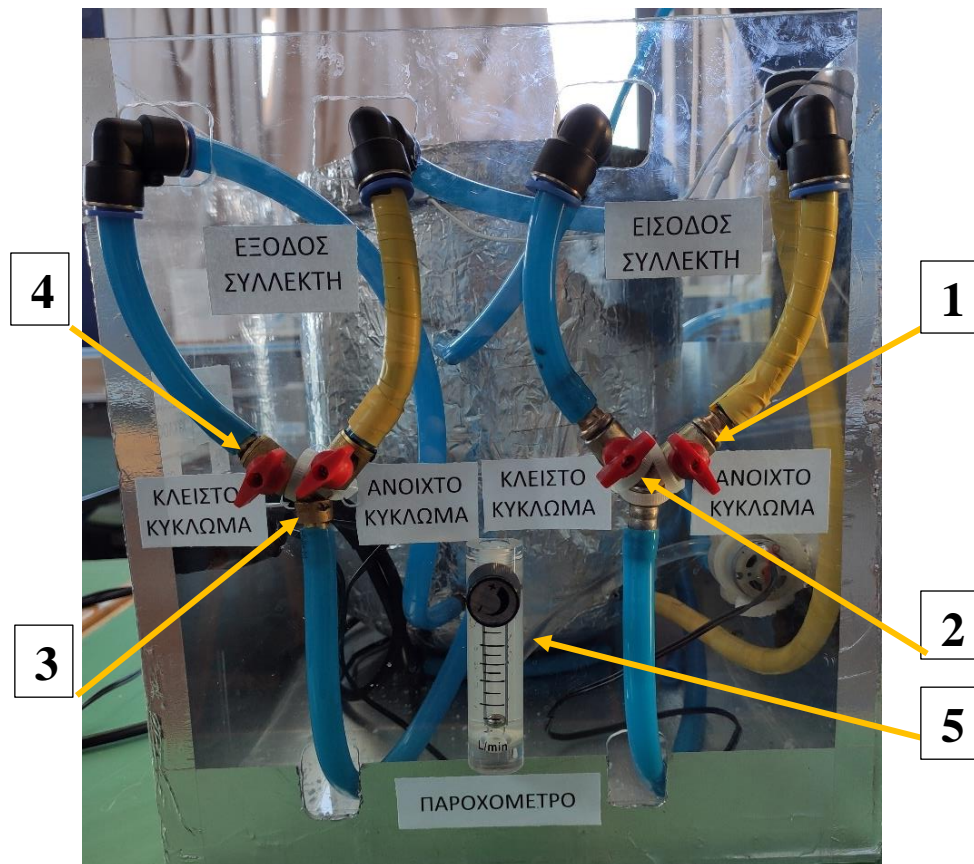
Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η εκτέλεση του πειράματος για λειτουργία κλειστού κυκλώματος, όπου είναι σχεδόν ίδια με του ανοικτού, η μόνη διαφορά παρατηρείται στον τρόπο που θα ρυθμιστούν οι βάνες.

Τα επιμέρους βήματα είναι τα εξής:

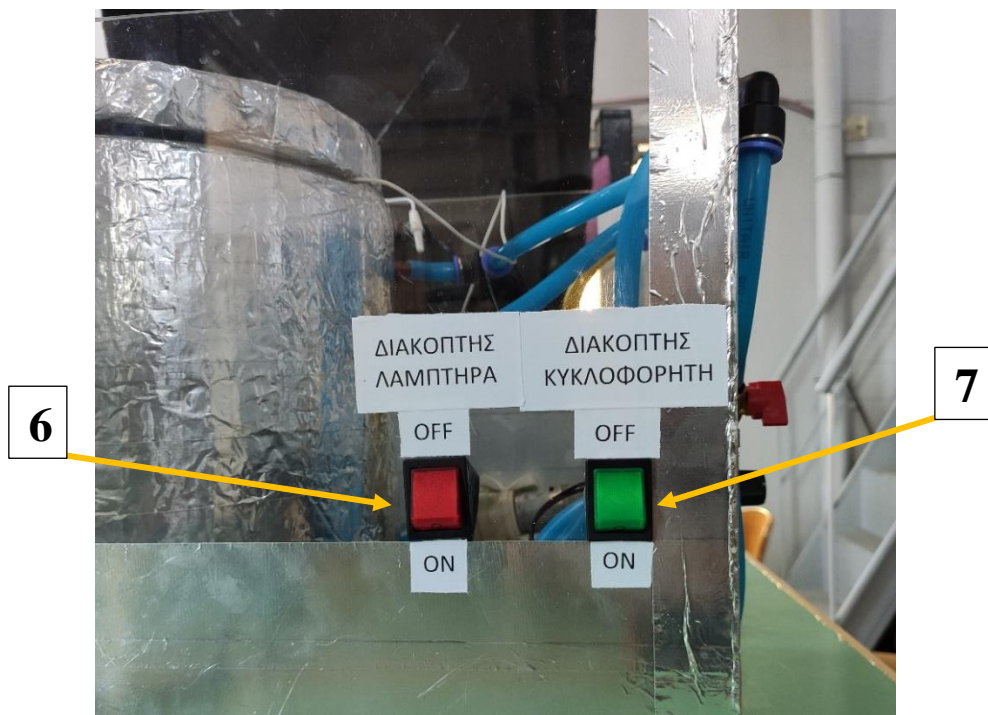
- Γίνεται πλήρωση του θερμοδοχείου με νερό, μέχρι να καλυφθεί τελείως ο εναλλάκτης του κλειστού κυκλώματος και σημειώνεται ο όγκος νερού ( $V=8lit$ ).
- Επιλέγεται η κατάλληλη κλίση-γωνία του συλλέκτη σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ( $\beta$ )
- Επιλέγεται η κατάλληλη κλίση-γωνία της πηγής ακτινοβολίας ( $\alpha$ )
- Συνδέεται η συσκευή στην παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε να τροφοδοτηθεί τόσο ο προβολέας, όσο και ο κυκλοφορητής του συστήματος.
- Τοποθετούμε στη θέση ON την βάνα εισόδου στο συλλέκτη για το ανοικτό κύκλωμα και τη βάνα εξόδου από το συλλέκτη για τα κλειστά κύκλωμα.
- Θέτουμε σε λειτουργία τον κυκλοφορητή πατώντας τον πράσινο διακόπτη (7), ώστε να πάει στη θέση ON.
- Ανοίγουμε το εξαεριστικό στην έξοδο του συλλέκτη για να γίνει εξαέρωση στο κύκλωμα.
- Όταν γίνει αντιληπτό ότι το κλειστό κύκλωμα γέμισε, τότε κλείνουμε τη βάνα εισόδου στο συλλέκτη για το ανοικτό κύκλωμα και ανοίγουμε τη βάνα εισόδου στο συλλέκτη για το κλειστό κύκλωμα.
- Το παροχόμετρο της συσκευής ρυθμίζεται καταλλήλως για τις εκάστοτε μετρήσεις και καταγράφεται η τιμή παροχής ( $\dot{m}$ ).
- Θέτουμε σε λειτουργία το προβολέα πατώντας τον κόκκινο διακόπτη (6), αφού ελέγχουμε ότι βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση (L), από όπου και προκύπτουν οι διαφορετικές τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (I).
- Ταυτόχρονα θέτουμε σε λειτουργία το χρονόμετρο ώστε να αρχίσει να καταγράφει το χρόνο (t).
- Καταγράφονται η θερμοκρασία εισόδου ( $T_{in}$ ), η θερμοκρασία εξόδου ( $T_{out}$ ), η θερμοκρασία του νερού στο δοχείο ( $T_{tank}$ ) και η θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T_{περ}$ ), κάθε 5 λεπτά. Η διάρκεια του πειράματος θα πρέπει διαρκέσει τουλάχιστον 30 λεπτά.
- Μόλις συμπληρωθούν τα 30 λεπτά (ή ο εκάστοτε χρόνος που έχει τεθεί), σβήνουμε τον προβολέα (κόκκινος διακόπτης (6)) και στη συνέχεια το τροφοδοτικό του κυκλοφορητή (πράσινος διακόπτης (7)).

Παρακάτω ακολουθούν δύο εικόνες (εικόνα 5.1 και 5.2) με όλα τα όργανα που θα χρειαστεί να γνωρίζει ο χρήστης για να εκκινήσει και να λειτουργήσει τη πειραματική διάταξη. Στις εικόνες επίσης υπάρχει και η αρίθμηση των

οργάνων όπως χρησιμοποιείται στα επιμέρους βήματα της εκτέλεσης του πειράματος.



Εικόνα 5.1: Εμπρόσθια πλευρά από το κουτί του θερμοδοχείου και των οργάνων



Εικόνα 5.2: Αριστερή πλευρά από το κουτί του θερμοδοχείου και των οργάνων



Αναλυτικά τα όργανα που αναγράφονται στις ανωτέρω εικόνες :

1. Βάνα εισόδου στο συλλέκτη (ανοικτό κύκλωμα)
2. Βάνα εισόδου στο συλλέκτη (κλειστό κύκλωμα)
3. Βάνα εξόδου από το συλλέκτη (ανοικτό κύκλωμα)
4. Βάνα εξόδου από το συλλέκτη (κλειστό κύκλωμα)
5. Όργανο ρύθμισης παροχής
6. Διακόπτης προβολέα
7. Διακόπτης κυκλοφορητή

## 5.2 Πειραματικά Δεδομένα – Διεξαγωγή Μετρήσεων

Παρακάτω θα ακολουθήσουν πίνακες με μετρήσεις που έγιναν με διάφορες παραλλαγές της πειραματικής διάταξης, ώστε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας της και της απόδοσης της.

Συνεπώς, δημιουργήθηκαν διαφορετικά σενάρια που έχουν να κάνουν:

- Με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $T_{περ}$ ), (δηλαδή του χώρου που βρίσκεται η πειραματική διάταξη)
- Την κλίση-γωνία του συλλέκτη σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο ( $\beta$ )
- Την κλίση-γωνία της πηγής ακτινοβολίας ( $\alpha$ )
- Την απόσταση συλλέκτη και πηγής ακτινοβολίας ( $L$ )
- Την ηλιακή ακτινοβολία ( $I$ )
- Την παροχή ρευστού ( $\dot{m}$ )
- Τον όγκο ρευστού δεξαμενής ( $V$ )
- Επιλογή ανοικτού ( $O$ ) ή κλειστού κυκλώματος ( $C$ )

Ο παρακάτω Πίνακας 5.1, έχει αναλυτικά τις διαφορετικές τιμές που υιοθετήθηκαν κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων. Τα πρώτα σενάρια (1-8) αφορούν τα πειραματικά δεδομένα για ανοικτό κύκλωμα, ενώ τα επόμενα σενάρια (9-16) αφορούν το κλειστό κύκλωμα.

**Πίνακας 5.1:** Πειραματικές μεταβλητές για κάθε σενάριο

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 1</b>	18,8	90	60	40	1000	0,25	8	O
<b>Σενάριο 2</b>	19,3	90	60	40	1000	1,0	8	O
<b>Σενάριο 3</b>	21,2	45	60	40	1000	0,25	8	O
<b>Σενάριο 4</b>	21,5	45	60	40	1000	1,0	8	O
<b>Σενάριο 5</b>	19,0	90	60	56	800	0,25	8	O
<b>Σενάριο 6</b>	19,0	90	60	56	800	1,0	8	O
<b>Σενάριο 7</b>	23,7	45	60	56	800	0,25	8	O
<b>Σενάριο 8</b>	25,2	45	60	56	800	1,0	8	O
<b>Σενάριο 9</b>	21,8	90	60	40	1000	0,25	8	C
<b>Σενάριο 10</b>	19,2	90	60	40	1000	1,0	8	C
<b>Σενάριο 11</b>	22,7	45	60	40	1000	0,25	8	C
<b>Σενάριο 12</b>	22,0	45	60	40	1000	1,0	8	C
<b>Σενάριο 13</b>	24,8	90	60	56	800	0,25	8	C
<b>Σενάριο 14</b>	24,9	90	60	56	800	1,0	8	C
<b>Σενάριο 15</b>	24,9	45	60	56	800	0,25	8	C
<b>Σενάριο 16</b>	25,2	45	60	56	800	1,0	8	C

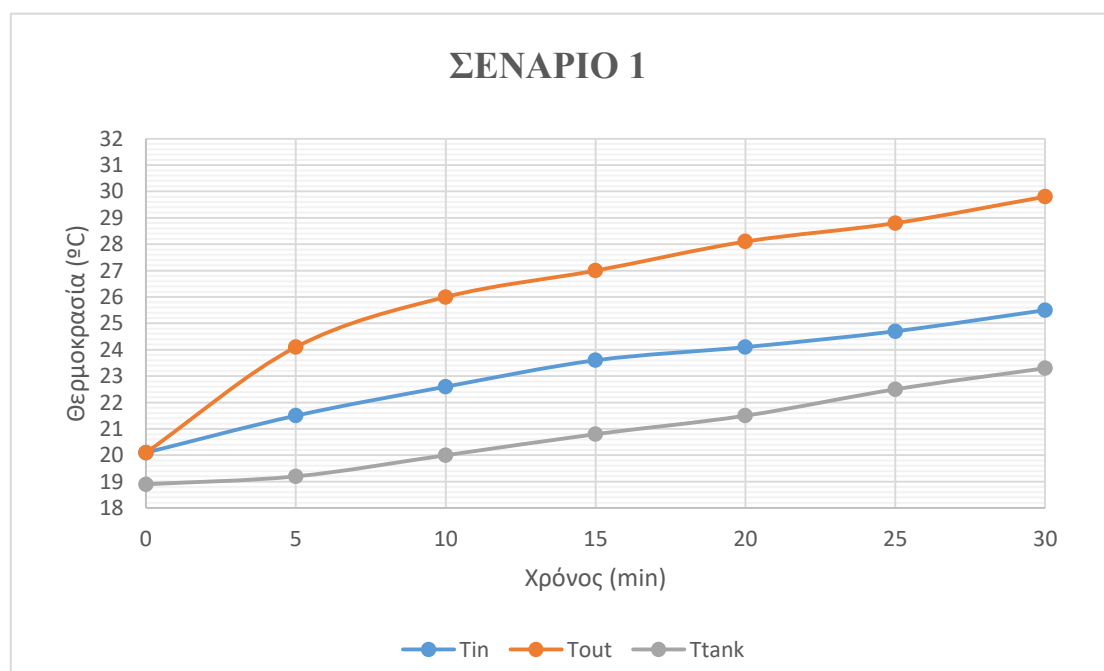
### 5.2.1 Πειραματικά δεδομένα για ανοικτό κύκλωμα

Πίνακας 5.Π.1: Πειραματικές μεταβλητές για σενάριο 1

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
Σενάριο 1	18,8	90	60	40	1000	0,25	8	Ο

Πίνακας 5.ΠΙ.1: Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	20,1	20,1	18,9		
5	21,5	24,1	19,2		
10	22,6	26,0	20,0		
15	23,6	27,0	20,8		
20	24,1	28,1	21,5		
25	24,7	28,8	22,5		
30	25,5	29,8	23,3		

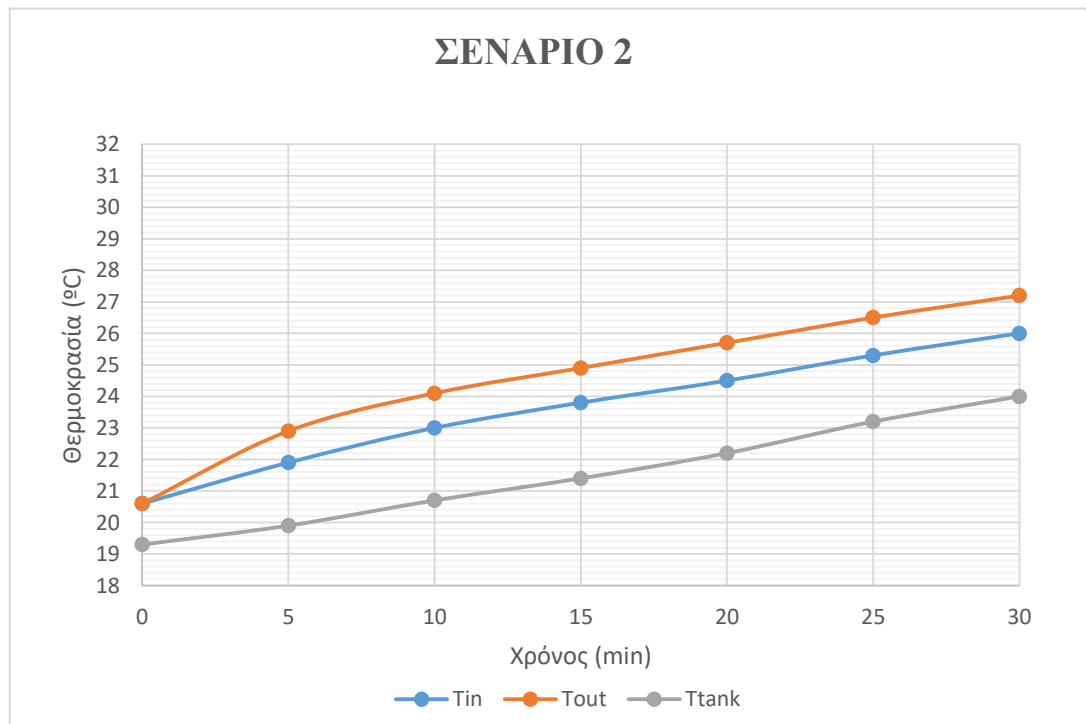


**Πίνακας 5.Π.2:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 2

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 2</b>	19,3	90	60	40	1000	1,0	8	Ο

**Πίνακας 5.ΠΙ.2:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	20,6	20,6	19,3		
5	21,9	22,9	19,9		
10	23,0	24,1	20,7		
15	23,8	24,9	21,4		
20	24,5	25,7	22,2		
25	25,3	26,5	23,2		
30	26,0	27,2	24,0		

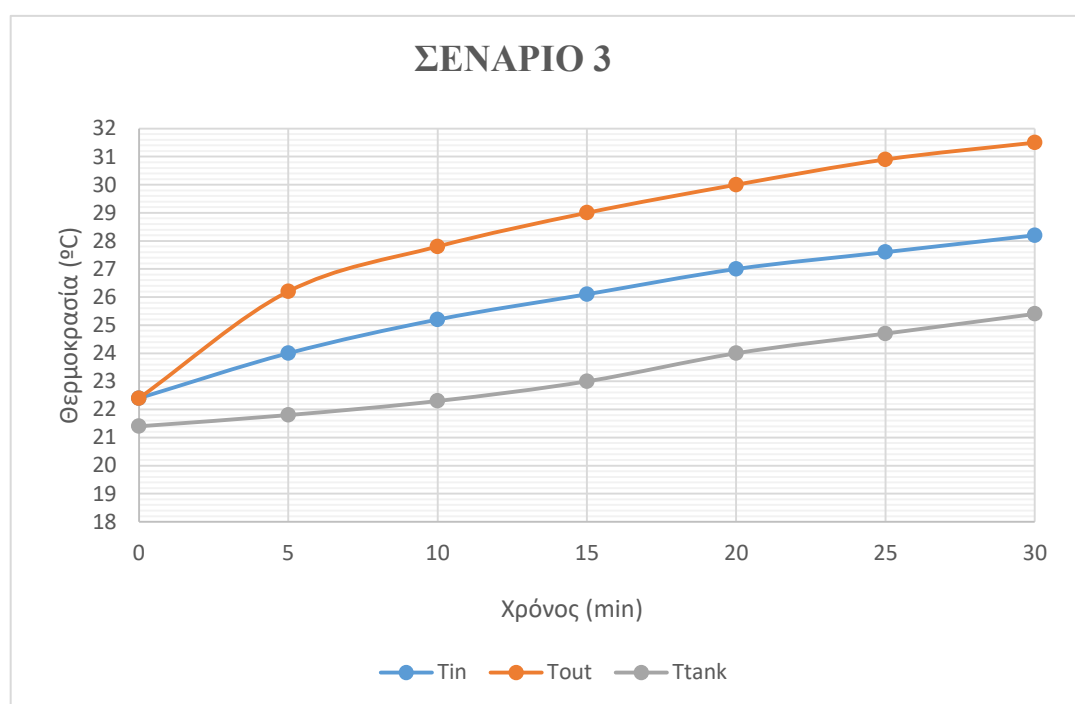


**Πίνακας 5.Π.3:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 3

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 3</b>	21,2	45	60	40	1000	0,25	8	O

**Πίνακας 5.ΠΙ.3:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	22,4	22,4	21,4		
5	24,0	26,2	21,8		
10	25,2	27,8	22,3		
15	26,1	29,0	23,0		
20	27,0	30,0	24,0		
25	27,6	30,9	24,7		
30	28,2	31,5	25,4		

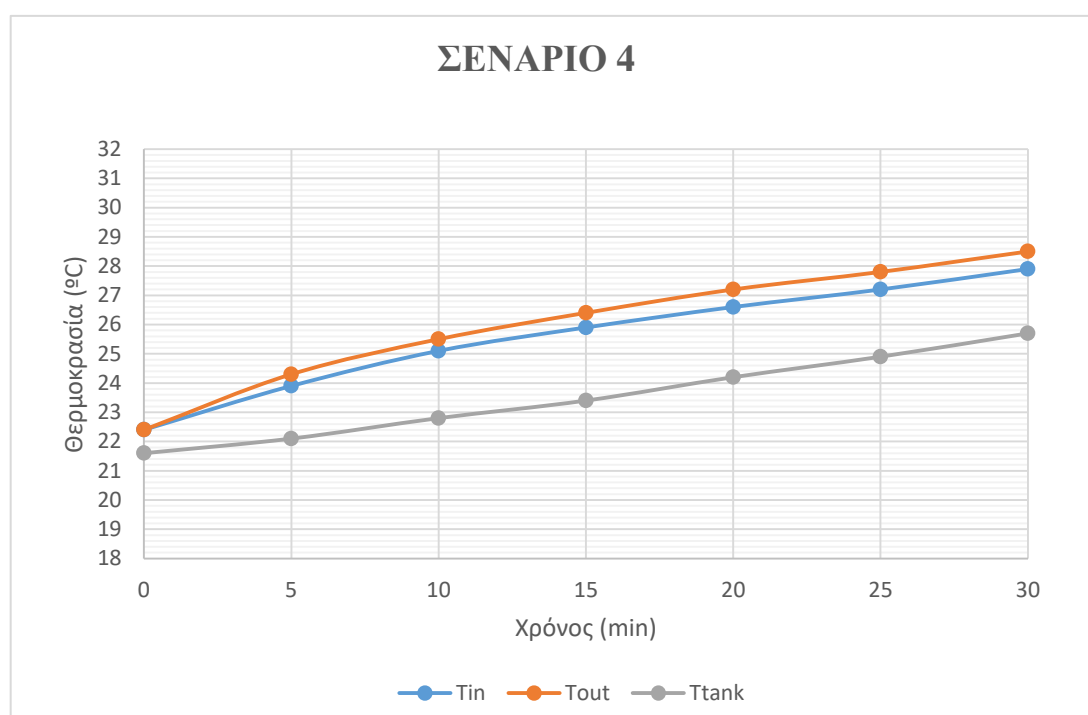


**Πίνακας 5.Π.4:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 4

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 4</b>	21,5	45	60	40	1000	1,0	8	O

**Πίνακας 5.ΠΙ.4:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	22,4	22,4	21,6		
5	23,9	24,3	22,1		
10	25,1	25,5	22,8		
15	25,9	26,4	23,4		
20	26,6	27,2	24,2		
25	27,2	27,8	24,9		
30	27,9	28,5	25,7		

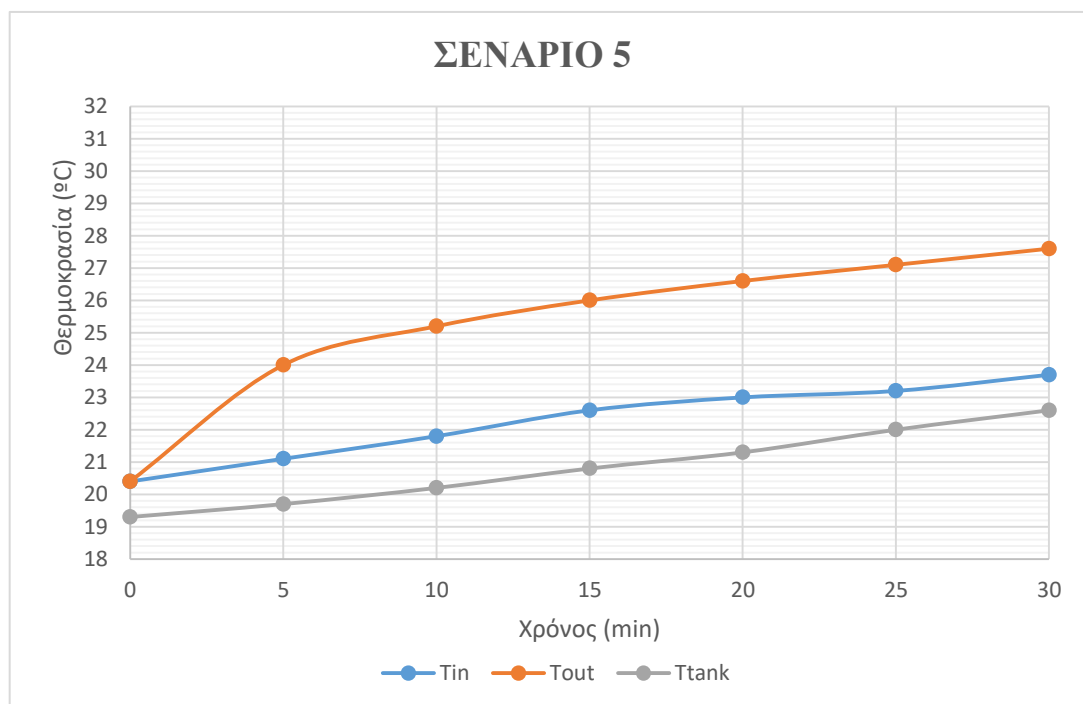


**Πίνακας 5.Π.5:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 5

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 5</b>	19,0	90	60	56	800	0,25	8	Ο

**Πίνακας 5.ΠΙ.5:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	20,4	20,4	19,3		
5	21,1	24,0	19,7		
10	21,8	25,2	20,2		
15	22,6	26,0	20,8		
20	23,0	26,6	21,3		
25	23,2	27,1	22,0		
30	23,7	27,6	22,6		

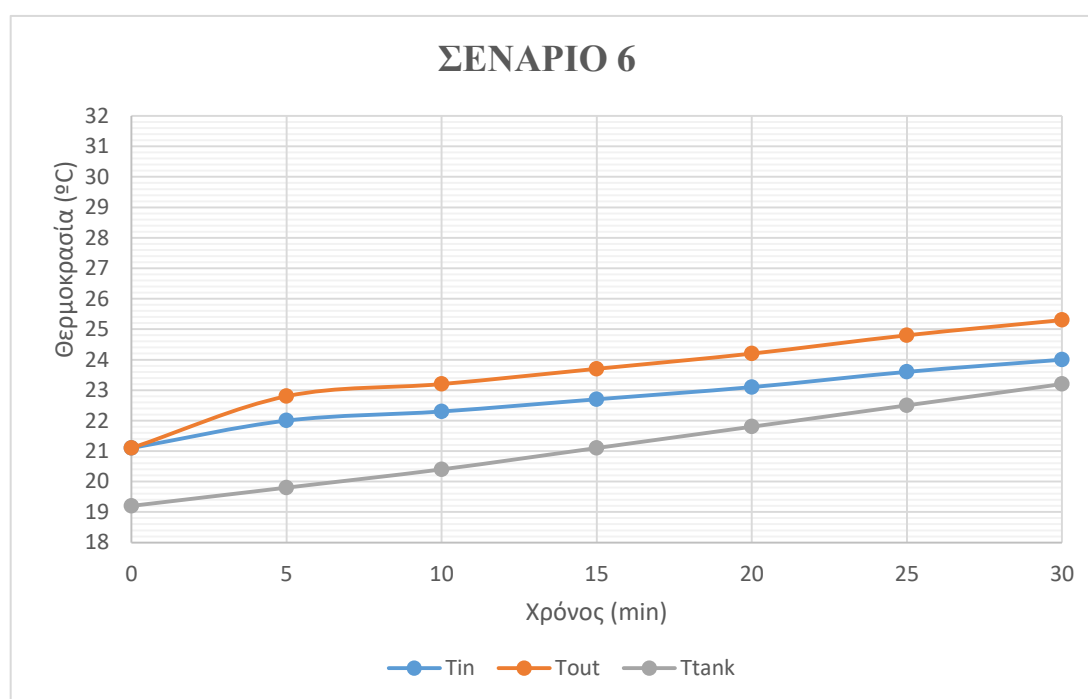


**Πίνακας 5.Π.6:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 6

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 6</b>	19,0	90	60	56	800	1,0	8	O

**Πίνακας 5.ΠΙ.6:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	21,1	21,1	19,2		
5	22,0	22,8	19,8		
10	22,3	23,2	20,4		
15	22,7	23,7	21,1		
20	23,1	24,2	21,8		
25	23,6	24,8	22,5		
30	24,0	25,3	23,2		



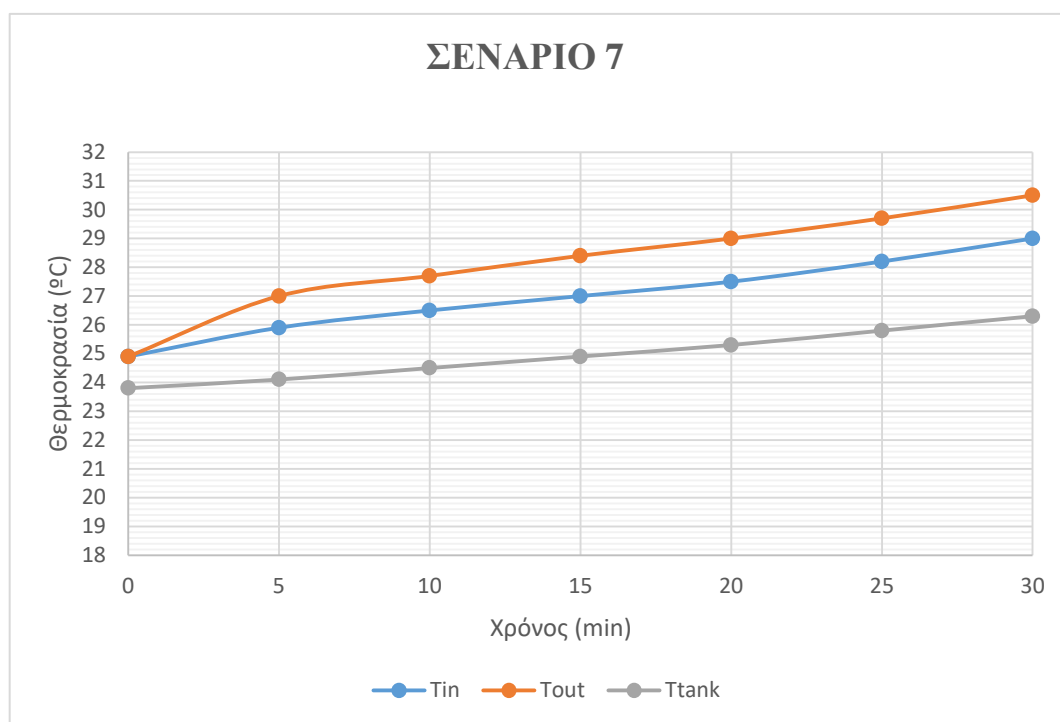


**Πίνακας 5.Π.7:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 7

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 7</b>	23,7	45	60	56	800	0,25	8	O

**Πίνακας 5.ΠΙ.7:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	24,9	24,9	23,8		
5	25,9	27,0	24,1		
10	26,5	27,7	24,5		
15	27,0	28,4	24,9		
20	27,5	29,0	25,3		
25	28,2	29,7	25,8		
30	29,0	30,5	26,3		

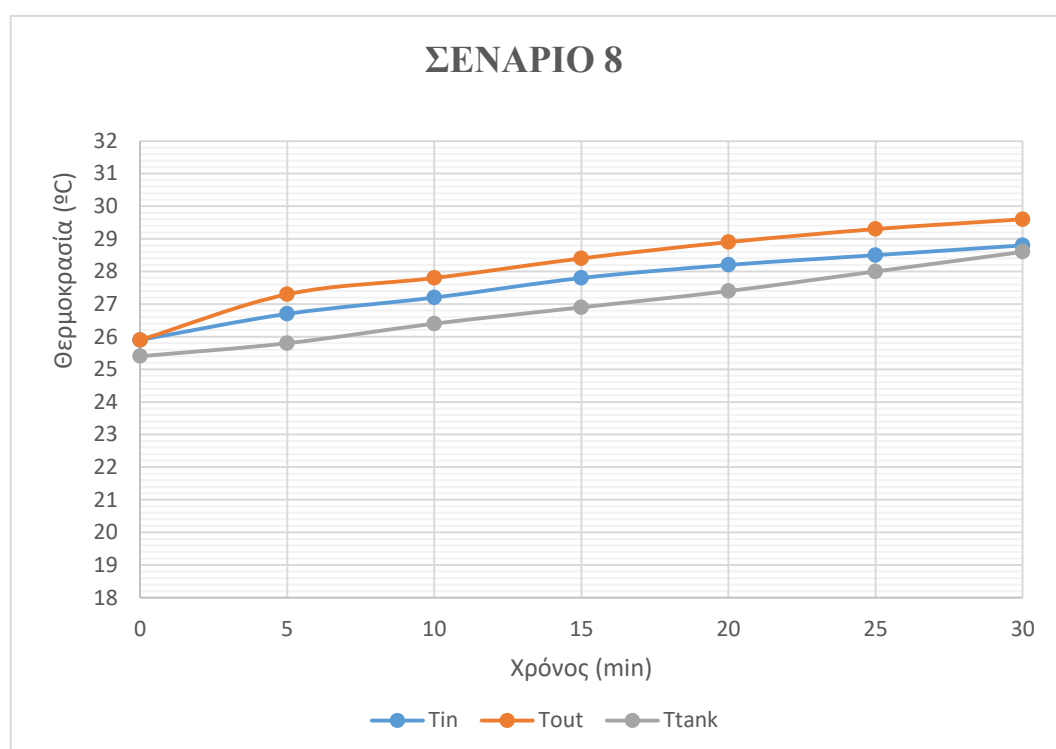


**Πίνακας 5.Π.8:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 8

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 8</b>	25,2	45	60	56	800	1,0	8	O

**Πίνακας 5.ΠΙ.8:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	25,9	25,9	25,4		
5	26,7	27,3	25,8		
10	27,2	27,8	26,4		
15	27,8	28,4	26,9		
20	28,2	28,9	27,4		
25	28,5	29,3	28,0		
30	28,8	29,6	28,6		



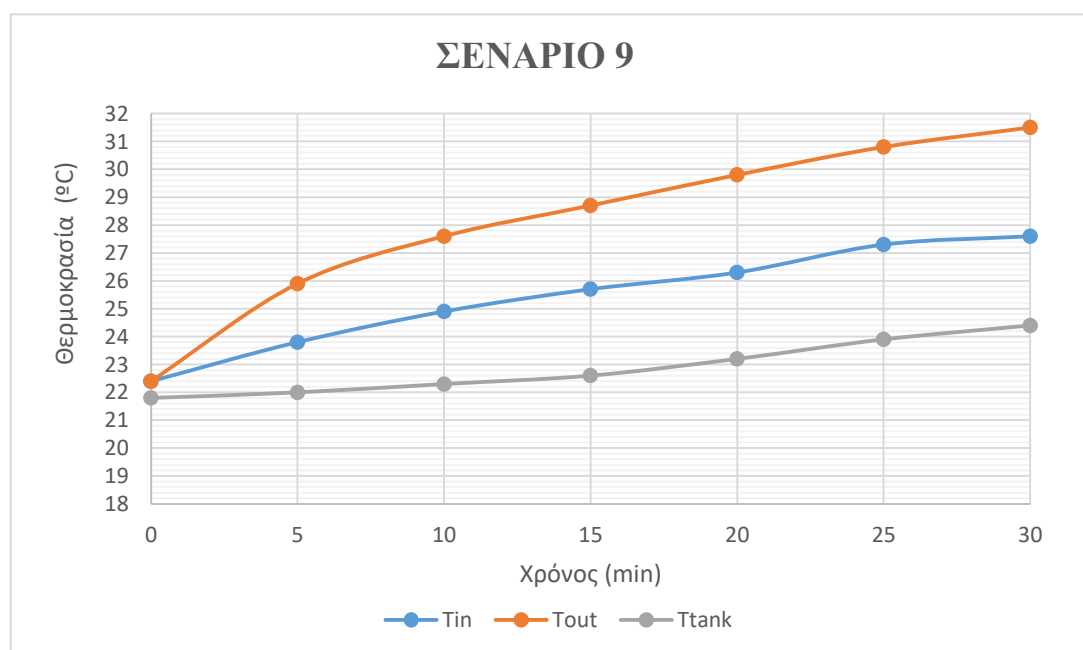
## 5.2.2 Πειραματικά δεδομένα για κλειστό κύκλωμα

Πίνακας 5.Π.9: Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 9

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
Σενάριο 9	21,8	90	60	40	1000	0,25	8	C

Πίνακας 5.ΠΙ.9: Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	22,4	23,4	21,8		
5	23,8	25,9	22,0		
10	24,9	27,6	22,3		
15	25,7	28,7	22,6		
20	26,3	29,8	23,2		
25	27,3	30,8	23,9		
30	27,6	31,5	24,4		

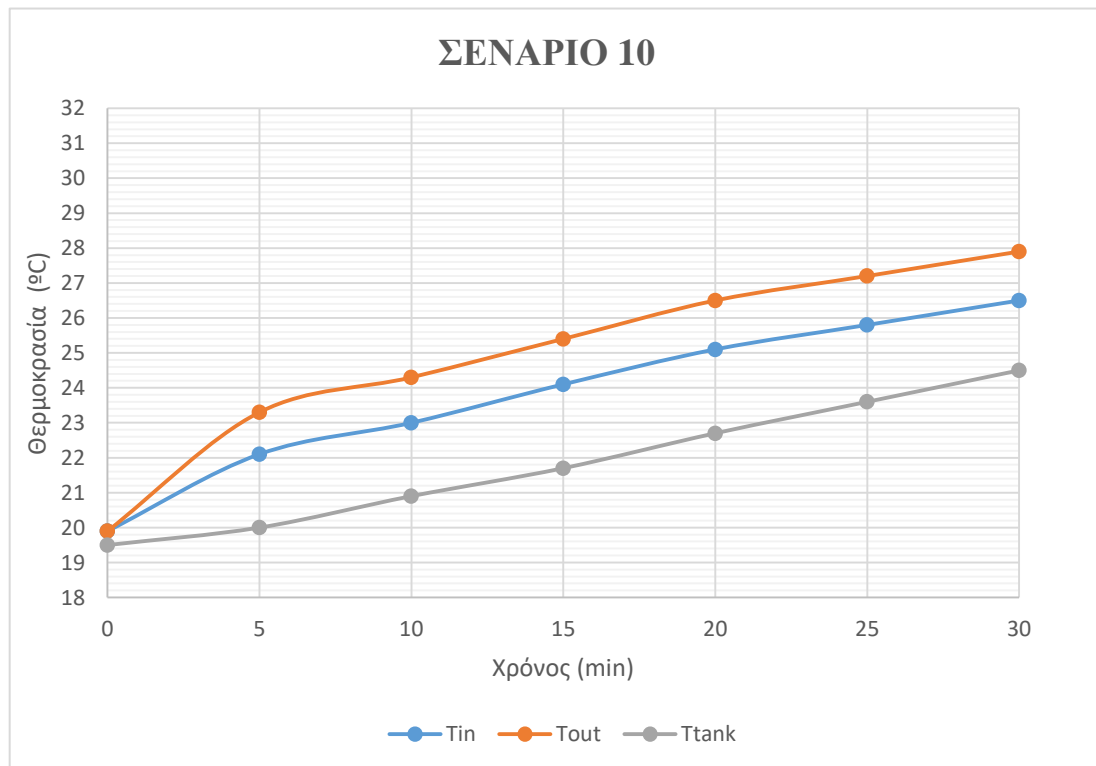


**Πίνακας 5.Π.10:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 10

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 10</b>	19,2	90	60	40	1000	1,0	8	C

**Πίνακας 5.ΠΙ.10:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη T <sub>in</sub> (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη T <sub>out</sub> (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής T <sub>tank</sub> (°C)		
0	19,9	19,9	19,5		
5	22,1	23,3	20,0		
10	23,0	24,3	20,9		
15	24,1	25,4	21,7		
20	25,1	26,5	22,7		
25	25,8	27,2	23,6		
30	26,5	27,9	24,5		

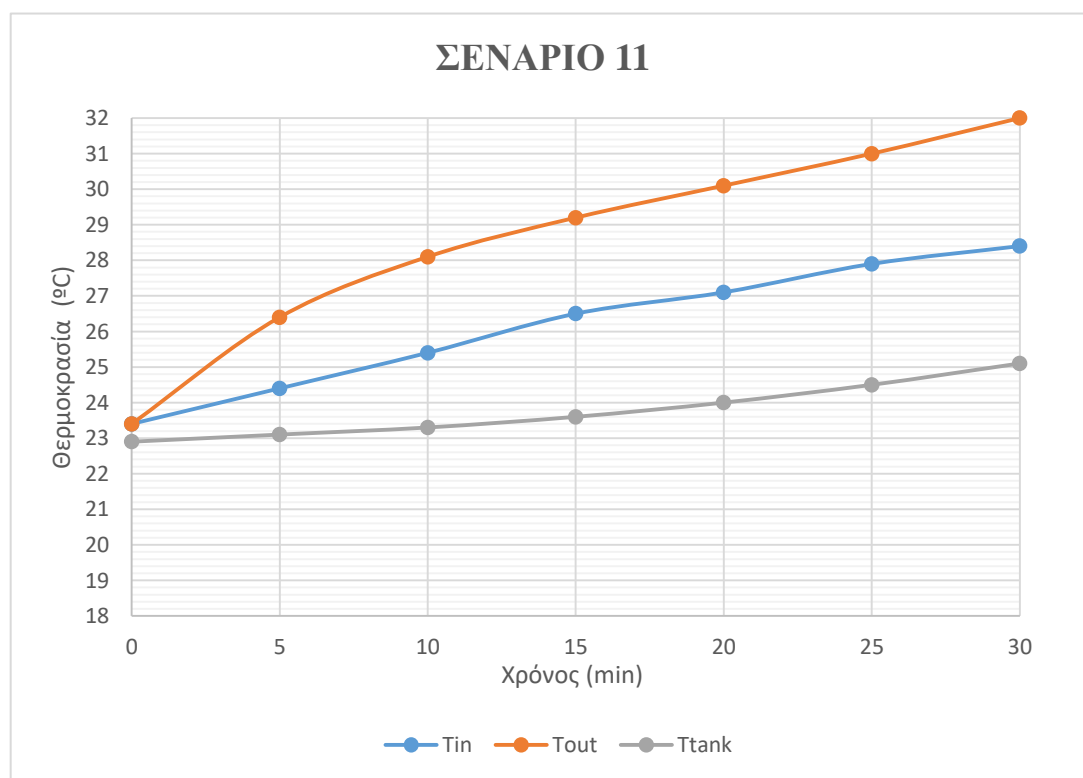


**Πίνακας 5.II.11:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 11

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 11</b>	22,7	45	60	40	1000	0,25	8	C

**Πίνακας 5.III.11:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	23,4	23,4	22,9		
5	24,4	26,4	23,1		
10	25,4	28,1	23,3		
15	26,5	29,2	23,6		
20	27,1	30,1	24,0		
25	27,9	31,0	24,5		
30	28,4	32,0	25,1		

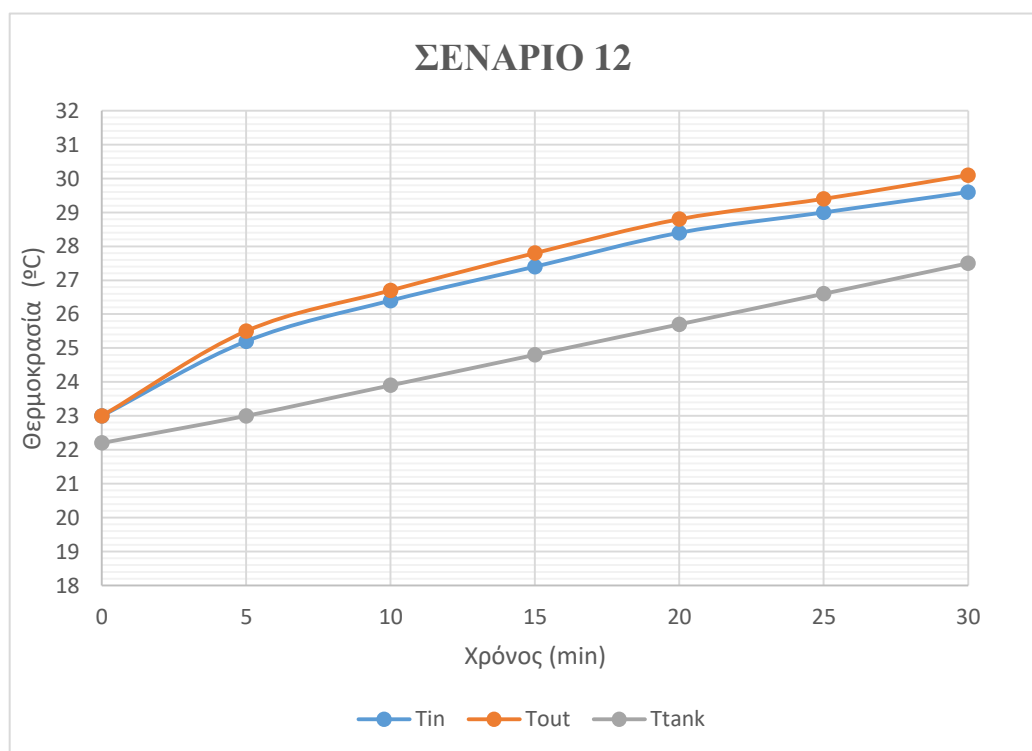


**Πίνακας 5.Π.12:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 12

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 12</b>	22,0	45	60	40	1000	1,0	8	C

**Πίνακας 5.ΠΙ.12:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 1000 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	23,0	23,0	22,2		
5	25,2	25,5	23,0		
10	26,4	26,7	23,9		
15	27,4	27,8	24,8		
20	28,4	28,8	25,7		
25	29,0	29,4	26,6		
30	29,6	30,1	27,5		

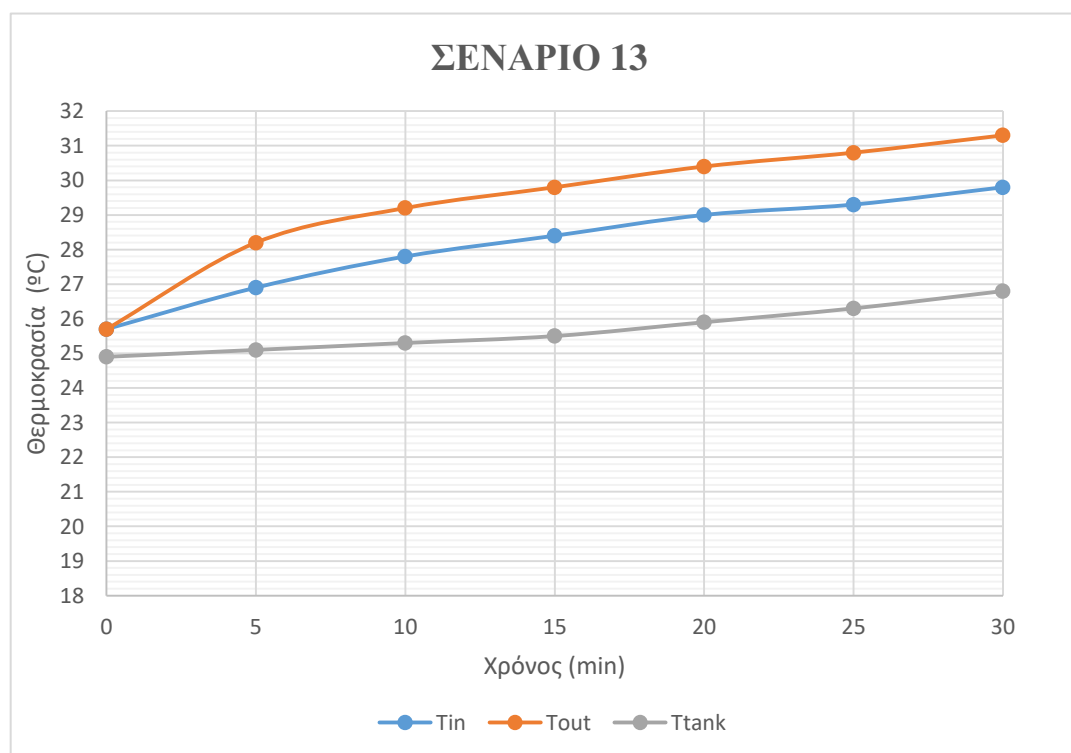


**Πίνακας 5.Π.13:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 13

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 13</b>	24,8	90	60	56	800	0,25	8	C

**Πίνακας 5.ΠΙ.13:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	25,7	25,7	24,9		
5	26,9	28,2	25,1		
10	27,8	29,2	25,3		
15	28,4	29,8	25,5		
20	29,0	30,4	25,9		
25	29,3	30,8	26,3		
30	29,8	31,3	26,8		

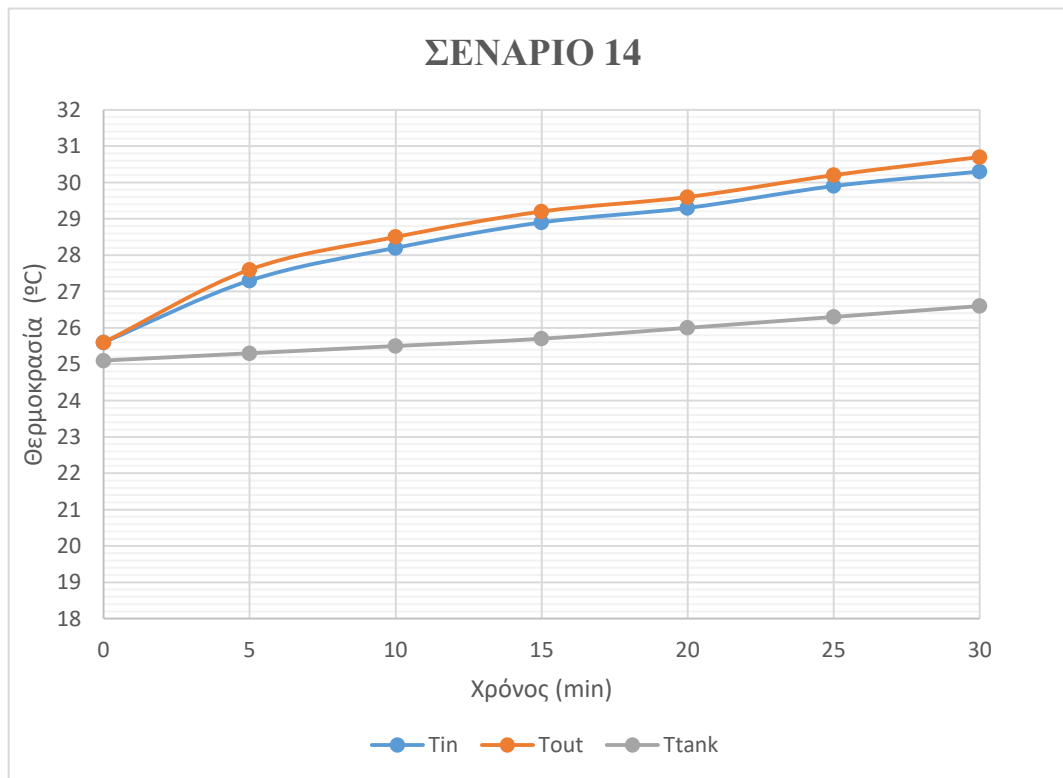


**Πίνακας 5.Π.14:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 14

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	Ο ή C
<b>Σενάριο 14</b>	24,9	90	60	56	800	1,0	8	C

**Πίνακας 5.ΠΙ.14:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	25,6	25,6	25,1		
5	27,3	27,6	25,3		
10	28,2	28,5	25,5		
15	28,9	29,2	25,7		
20	29,3	29,6	26,0		
25	29,9	30,2	26,3		
30	30,3	30,7	26,6		



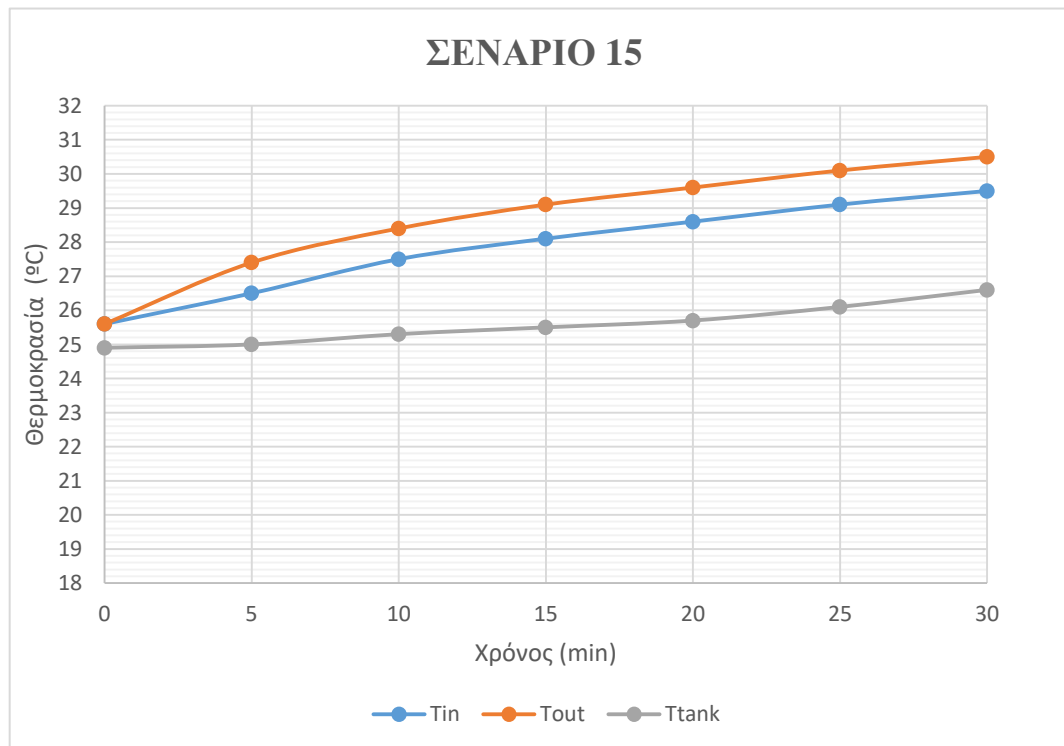


**Πίνακας 5.Π.15:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 15

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 15</b>	24,9	45	60	56	800	0,25	8	C

**Πίνακας 5.ΠΙ.15:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	25,6	25,6	24,9		
5	26,5	27,4	25,0		
10	27,5	28,4	25,3		
15	28,1	29,1	25,5		
20	28,6	29,6	25,7		
25	29,1	30,1	26,1		
30	29,5	30,5	26,6		

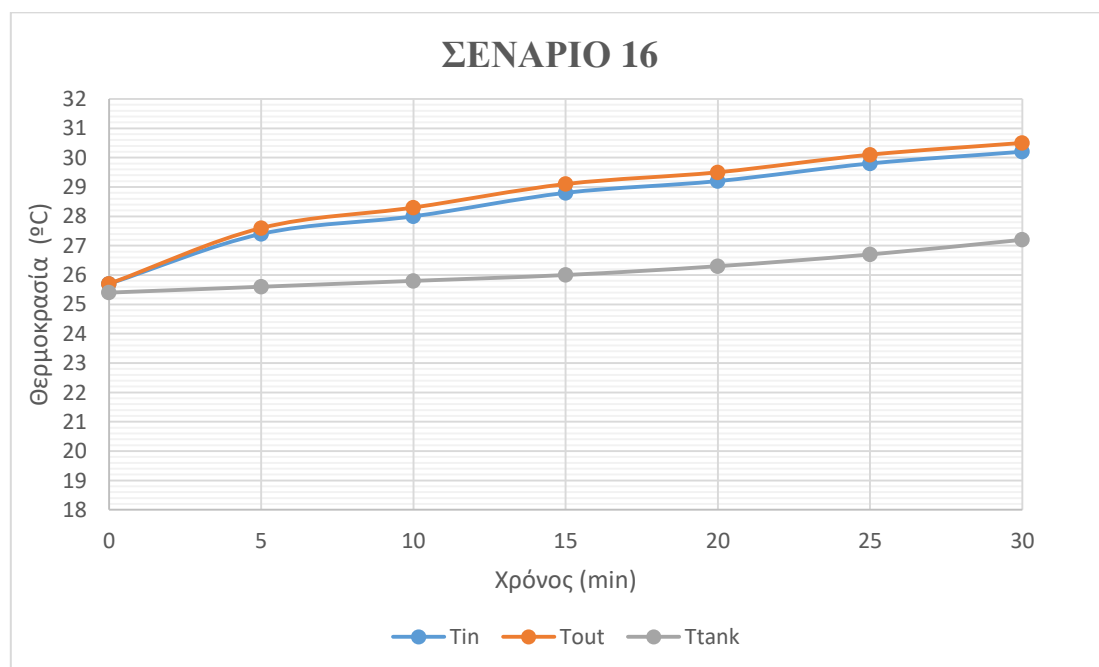


**Πίνακας 5.II.16:** Πειραματικές μεταβλητές για Σενάριο 16

A/A	$T_{περ}$ (°C)	$\beta$ (°)	$\alpha$ (°)	L (cm)	I (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{m}$ (L/min)	V (lit)	O ή C
<b>Σενάριο 16</b>	25,2	45	60	56	800	1,0	8	C

**Πίνακας 5.III.16:** Πειραματικές μετρήσεις σε σύστημα πειραματικού ηλιακού συλλέκτη

A= 0.2 m <sup>2</sup>		I= 800 W/m <sup>2</sup>		V= 8 lit	
Χρόνος t (min)	Θερμοκρασία εισόδου συλλέκτη $T_{in}$ (°C)	Θερμοκρασία εξόδου συλλέκτη $T_{out}$ (°C)	Μέση θερμοκρασία δεξαμενής $T_{tank}$ (°C)		
0	25,7	25,7	25,4		
5	27,4	27,6	25,6		
10	28,0	28,3	25,8		
15	28,8	29,1	26,0		
20	29,2	29,5	26,3		
25	29,8	30,1	26,7		
30	30,2	30,5	27,2		



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### 6.1 Υπολογισμοί και αξιοποίηση πειραματικής διάταξης

Με τη χρήση των παρακάτω σχέσεων θα υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ( $n_{\text{συστ}}$ ), ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη ( $n_{\text{σουλ}}$ ) και η παράμετρος “ζ”. Αυτό θα γίνει για κάθε ένα από τα πειραματικά σενάρια ξεχωριστά και θα ακολουθήσουν πίνακες με αναλυτικά αποτελέσματα.

- Υπολογίζεται η απόδοση του συστήματος ( $n_{\text{συστ}}$ ) με τη βοήθεια της σχέσης 6.1

$$\text{Απόδοση Συστήματος: } n_{\text{συστ}} (\%) = \frac{Q_{\text{σουλ}}}{Q_{\text{εισ}}} \quad (\text{σχέση 6.1})$$

$$\text{Όπου: } Q_{\text{σουλ}} = m \times Cp \times \Delta T_{\text{tank}} \quad (\text{σχέση 6.2})$$

$$Q_{\text{εισ}} = I \times A \times t \quad (\text{σχέση 6.3})$$

$Q_{\text{σουλ}}$  : Θερμική ενέργεια στο θερμοδοχείο

$Q_{\text{εισ}}$  : Ενέργεια που προσφέρεται στο συλλέκτη

$m$  : Μάζα του νερού στο θερμοδοχείο (gr),  $m = \rho \times V$  (σχέση 6.4)

$\rho$  : Πυκνότητα νερού (1000kg/m<sup>3</sup>)

$V$  : Όγκος νερού (m<sup>3</sup>)

$Cp$  : Ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού (4.179 J/kg°C)

$\Delta T_{\text{tank}}$  : Διαφορά μεταξύ αρχικής και τελικής θερμοκρασίας στη δεξαμενή (°C),

$$\Delta T_{\text{tank}} = T_{\text{tank}} \text{ τελικής} - T_{\text{tank}} \text{ αρχική}$$

$I$  : Ένταση ηλιακής ακτινοβολία (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  : Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη (m<sup>2</sup>)

$t$  : Χρόνος λειτουργίας (sec)

- Υπολογίζεται η απόδοση του συλλέκτη ( $n_{\text{σουλ}}$ ) με τη βοήθεια της σχέσης 6.5

$$\text{Απόδοση Συλλέκτη: } n_{\text{σουλ}} (\%) = \frac{\dot{Q}}{I \times A} \quad (\text{σχέση 6.5})$$

$$\text{Όπου: } \dot{Q} = \dot{m} \times Cp \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (\text{σχέση 6.6})$$

$\dot{Q}$ : Παραγόμενη θερμική ισχύς

$\dot{m}$ : Παροχή μάζας (kg/sec)

$T_{in}$ : Θερμοκρασία εισερχόμενου νερού στο συλλέκτη (°C)

$T_{out}$ : Θερμοκρασία εξερχόμενου νερού από το συλλέκτη (°C)

- Υπολογίζεται η παράμετρος “ζ” με τη βοήθεια της σχέσης 6.7

$$\zeta = \frac{\bar{T} - T_{περ}}{I} \quad (\text{σχέση 6.7})$$

$$\text{Όπου : } \bar{T} = \frac{T_{out} + T_{in}}{2} \quad (\text{σχέση 6.8})$$

$T_{περ}$  : Θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

## 6.2 Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Στους παρακάτω πίνακες (πίνακας 6.I έως 6.XVI) ακολουθούν όλα τα αποτελέσματα για την απόδοση του συστήματος ( $n_{\text{συστ}}$  (%)), την απόδοση του συλλέκτη  $n_{\text{συλ}}$  (%) και τη παράμετρο “ζ”. Όλα τα αποτελέσματα προήλθαν μετά από υπολογισμούς με τη χρήση των σχέσεων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

**Πίνακας 6.I:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 1**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος $n_{\text{συστ}}$ (%)	Απόδοση συλλέκτη $n_{\text{συλ}}$ (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	16,7%	22,6%	0,004
10	30,6%	29,6%	0,006
15	35,3%	29,6%	0,007
20	36,2%	34,8%	0,007
25	40,1%	35,7%	0,008
30	40,9%	37,4%	0,009

**Πίνακας 6.II:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 2**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	33,4%	34,8%	0,003
10	39,0%	38,3%	0,004
15	39,0%	38,3%	0,005
20	40,4%	41,8%	0,006
25	43,5%	41,8%	0,007
30	43,6%	41,8%	0,007

**Πίνακας 6.III:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 3**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	22,3%	19,2%	0,004
10	25,1%	22,6%	0,005
15	29,7%	25,2%	0,006
20	36,2%	26,1%	0,007
25	36,8%	28,7%	0,008
30	37,1%	28,7%	0,009

**Πίνακας 6.IV:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 4**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	27,9%	13,9%	0,003
10	33,4%	13,9%	0,004
15	33,4%	17,4%	0,005
20	36,2%	20,9%	0,005
25	36,8%	20,9%	0,006
30	38,1%	20,9%	0,007

**Πίνακας 6.V:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 5**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος n <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη n <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	27,9%	31,6%	0,004
10	31,3%	37,0%	0,006
15	34,8%	37,0%	0,007
20	34,8%	39,2%	0,007
25	37,6%	42,4%	0,008
30	38,3%	42,4%	0,008

**Πίνακας 6.VI:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 6**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος n <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη n <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	41,8%	34,8%	0,004
10	41,8%	39,2%	0,005
15	44,1%	43,5%	0,005
20	45,3%	47,9%	0,006
25	46,0%	52,2%	0,007
30	46,4%	56,6%	0,007

**Πίνακας 6.VII:** Αποτελέσματα αποδόσεων για το **Σενάριο 7**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος n <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη n <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	20,9%	12,0%	0,003
10	24,4%	13,1%	0,004
15	25,5%	15,2%	0,005
20	26,1%	16,3%	0,006
25	27,9%	16,3%	0,007
30	29,0%	16,3%	0,008

**Πίνακας 6.VIII: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 8**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	27,9%	26,1%	0,002
10	34,8%	26,1%	0,003
15	34,8%	26,1%	0,004
20	34,8%	30,5%	0,004
25	36,2%	34,8%	0,005
30	37,1%	34,8%	0,005

**Πίνακας 6.IX: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 9**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	11,1%	18,3%	0,003
10	13,9%	23,5%	0,004
15	14,9%	26,1%	0,005
20	19,5%	30,5%	0,006
25	23,4%	30,5%	0,007
30	24,1%	34,0%	0,008

**Πίνακας 6.X: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 10**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	27,9%	41,8%	0,004
10	39,0%	45,3%	0,004
15	40,9%	45,3%	0,006
20	44,6%	48,8%	0,007
25	45,7%	48,8%	0,007
30	46,4%	48,8%	0,008

**Πίνακας 6.XI: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 11**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	11,1%	17,4%	0,003
10	11,1%	23,5%	0,004
15	13,0%	23,5%	0,005
20	15,3%	26,1%	0,006
25	17,8%	27,0%	0,007
30	20,4%	31,3%	0,008

**Πίνακας 6.XII: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 12**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	44,6%	10,4%	0,003
10	47,4%	10,4%	0,005
15	48,3%	13,9%	0,006
20	48,8%	13,9%	0,007
25	49,0%	13,9%	0,007
30	49,2%	17,4%	0,008

**Πίνακας 6.XIII: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 13**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	13,9%	14,1%	0,003
10	13,9%	15,2%	0,005
15	13,9%	15,2%	0,005
20	17,4%	15,2%	0,006
25	19,5%	16,3%	0,007
30	22,1%	16,3%	0,007



**Πίνακας 6.XIV: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 14**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	13,9%	13,1%	0,003
10	13,9%	13,1%	0,004
15	13,9%	13,1%	0,005
20	15,7%	13,1%	0,006
25	16,7%	13,1%	0,006
30	17,4%	17,4%	0,007

**Πίνακας 6.XV: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 15**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	7,0%	9,8%	0,003
10	13,9%	9,8%	0,004
15	13,9%	10,9%	0,005
20	13,9%	10,9%	0,005
25	16,7%	10,9%	0,006
30	19,7%	10,9%	0,006

**Πίνακας 6.XVI: Αποτελέσματα αποδόσεων για το Σενάριο 16**

Χρόνος t (min)	Απόδοση συστήματος η <sub>συστ</sub> (%)	Απόδοση συλλέκτη η <sub>σουλ</sub> (%)	Παράμετρος “ζ”
0	-	-	-
5	13,9%	8,7%	0,003
10	13,9%	13,1%	0,004
15	13,9%	13,1%	0,005
20	15,7%	13,1%	0,005
25	18,1%	13,1%	0,006
30	20,9%	13,1%	0,006

Συνεπώς, βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων η συγκεκριμένη πειραματική διάταξη θεωρείται ιδανική για τη διεξαγωγή πειραμάτων, σύμφωνα με τα σενάρια **6** για ανοικτό κύκλωμα και **10** για κλειστό, για να επιτευχθεί μέγιστος βαθμός απόδοσης συστήματος ( $n_{\text{συστ}}$ ) αλλά και συλλέκτη ( $n_{\text{συλ}}$ ). Σαφώς είναι εφικτό να επιλεγεί οποιοδήποτε άλλο σενάριο από όσα ήδη αναφέρθηκαν ή ακόμα και κάποιο νέο με διαφορετικές παραμέτρους.

Οι βέλτιστες επιδόσεις λοιπόν επετεύχθησαν με τις ακόλουθες παραμέτρους :

#### **Ανοικτό Κύκλωμα:**

- Ρύθμιση γωνίας συλλέκτη ( $\beta$ ) :  $90^\circ$
- Απόσταση συλλέκτη – προβολέα (L) : 56 cm
- Παροχή μάζας ρευστού ( $\dot{m}$ ) : 1 L/min

#### **Κλειστό Κύκλωμα:**

- Ρύθμιση γωνίας συλλέκτη ( $\beta$ ) :  $90^\circ$
- Απόσταση συλλέκτη – προβολέα (L) : 40 cm
- Παροχή μάζας ρευστού ( $\dot{m}$ ) : 1 L/min

Αναμένονται :            Βαθμός απόδοσης συστήματος ( $n_{\text{συστ}}$ ) : 40,0 – 45,0 %

                                 Βαθμός απόδοσης συλλέκτη ( $n_{\text{συλ}}$ ) : 40,0 – 50,0 %

                                 Παράμετρος “ζ” : 0,006 – 0,008

Ο βαθμός απόδοσης προκύπτει χαμηλός σχετικά με εμπορικούς ηλιακούς συλλέκτες, διότι πρόκειται για μια πειραματική διάταξη, που βασικό σκοπό έχει την κατανόηση της αρχής λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών από τους φοιτητές του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών. Επίσης, προσφέρει εξοικείωση με τη μέθοδο μετρήσεων και υπολογισμού του βαθμού απόδοσης του συστήματος και του συλλέκτη. Ως εκ τούτου, τα ποιοτικά αριθμητικά αποτελέσματα, δεν είναι ο βασικός στόχος δημιουργίας της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, όσο η δυνατότητα εκπαίδευσης και επιμόρφωσης στο συγκεκριμένο σύστημα.

Η παράμετρος “ζ” από την άλλη, είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Αν γίνει μελέτη στις καμπύλες των διαγραμμάτων προσδιορισμού της παραμέτρου “ζ”, όπως φαίνονται στο σχήμα 2.1 σε προηγούμενο κεφάλαιο (2.3), τα αποτελέσματα που προκύπτουν στη συγκεκριμένη διάταξη απέχουν αρκετά από τα πρότυπα. Σε ένα ηλιακό συλλέκτη

του εμπορίου με μονό τζάμι, για απόδοση συλλέκτη  $n_{\text{σολ}} = 60\%$  αναμένεται  $\zeta = 0,030$ . Στη συγκεκριμένη περίπτωση όμως προκύπτει  $\zeta = 0,008$  για αντίστοιχη απόδοση συλλέκτη  $n_{\text{σολ}}$ . Αυτή η διαφορά των τιμών οφείλεται στο ότι η κατασκευή δεν έχει δημιουργηθεί για να θερμαίνει το νερό σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και επίσης χρησιμοποιείται για περιορισμένο χρόνο (30 λεπτά). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του συλλέκτη  $\bar{T}$  (σχέση 6.8) με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_{\text{περ}}$  να μην είναι τόσο μεγάλη, έτσι η παράμετρος “ζ” είναι μικρότερη από το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Επίσης, οι σχετικά μικρές διαφορές θερμοκρασίας που προκύπτουν ανάμεσα σε θερμοκρασία εξόδου του νερού από το συλλέκτη  $T_{\text{out}}$  και θερμοκρασία εισόδου σε αυτόν  $T_{\text{in}}$ , οφείλονται στις απώλειες του συλλέκτη ως προς το περιβάλλον. Αυτό πιθανόν συμβαίνει διότι δεν υπήρχαν τα κατάλληλα μέσα για την κατασκευή, τα οποία υπάρχουν για παράδειγμα σε μία βιοτεχνία, ούτε η τεχνική εξειδίκευση για τη διαδικασία της συναρμολόγησης των επιμέρους κομματιών του συλλέκτη και της στεγανοποίησης του. Αν αυτές οι διαδικασίες είχαν πραγματοποιηθεί με τη χρήση των προβλεπόμενων μεθόδων το αποτέλεσμα θα ήταν καλύτερο και έτσι θα υπήρχε μείωση των απωλειών στο ελάχιστο, όπως στους συλλέκτες του εμπορίου.

### 6.3 Προοπτικές εξέλιξης και βελτίωσης

Η πειραματική διάταξη αναμφίβολα είναι εφικτό να δεχθεί πολλές βελτιώσεις, τόσο στον κατασκευαστικό τομέα όσο και στην επιλογή και αντικατάσταση των οργάνων και των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, θα μπορούσαν να προστεθούν κάποια νέα εξαρτήματα ώστε να εμπλουτιστεί το σύστημα με σκοπό να έχει περισσότερες δυνατότητες και να αποφέρει περισσότερες πληροφορίες στον εκάστοτε μελετητή.

Αρχικά, όσον αφορά την κατασκευή, ο υφιστάμενος συλλέκτης θα μπορούσε να αντικατασταθεί με έναν συλλέκτη του εμπορίου στις ίδιες διαστάσεις και κατασκευασμένο σύμφωνα με τα πρότυπα που αναφέρθηκαν. Με αυτό τον τρόπο, θα υπήρχε σημαντική μείωση στις απώλειες και συνεπώς βελτίωση του βαθμού απόδοσης συνολικά. Επίσης, τα όργανα μετρήσεων, όπως τα θερμομέτρα και το παροχόμετρο, μπορούν να αντικατασταθούν από καινούρια με ανώτερη ποιότητα και ακρίβεια ώστε να βελτιωθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη διαδικασία των μετρήσεων. Ακόμη, η αντλία ρευστών που χρησιμοποιείται ως κυκλοφορητής του δικτύου μπορεί να αντικατασταθεί από κάποια με μεγαλύτερο εύρος λειτουργίας για μεγαλύτερη ευελιξία του συστήματος.

Από την άλλη, όσον αφορά την εξέλιξη της κατασκευής θα μπορούσαν να προστεθούν αρκετά νέα εξαρτήματα. Πρώτον, με τη προσαρμογή ενός ανεμιστήρα στο κάτω μέρος του συλλέκτη, θα δημιουργούνταν απώλειες στο σύστημα λόγω δημιουργίας ρευμάτων αέρα. Με αυτό τον τρόπο, θα άλλαζαν οι συνθήκες λειτουργίας της διάταξης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα θα άλλαζαν επίσης αν υπήρχε μία ηλεκτρική αντίσταση εμβαπτισμένη μέσα στο θερμοδοχείο με σκοπό να προθερμάνει το νερό, όπως γίνεται για παράδειγμα και σε μία οικιακή εφαρμογή. Θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί ο τρόπος που θα αντιδρούσε το σύστημα σε μία τέτοια περίπτωση, διότι στα μέχρι πρότινος πειράματα υπήρχαν σταθερές εξωτερικές συνθήκες και η θερμοκρασία του νερού ξεκινούσε πάντα από θερμοκρασία δωματίου.

Συμπερασματικά, μέσω της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας ένας φοιτητής του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών έχει τη δυνατότητα να αποκομίσει τις βασικές γνώσεις για τη λειτουργία των ηλιακών θερμικών συστημάτων και τη μεθοδολογία υπολογισμού βαθμού απόδοσης συλλέκτη και συνολικά του συστήματος. Επιπροσθέτως, οι προοπτικές βελτίωσης και εξέλιξης που παρουσιάζει η πειραματική διάταξη, της δίνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί ως βάση για νέες πτυχιακές εργασίες και πειραματικές εργαστηριακές ασκήσεις.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] **U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy**, “The History of Solar”, πηγή: [https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar\\_timeline.pdf](https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf)
- [2] **Solar Heat Worldwide, 2019**, Global Market Development and Trends in 2018, Edition 2019
- [3] **SOL, 2020**, Εταιρία Ηλιακών Συλλεκτών, “SOL-Violaris”, διαδικτυακός ιστότοπος: [www.sol-violaris.com](http://www.sol-violaris.com)
- [4] **ΤΕΕ, 2011**, “Κατάρτιση Ενεργειακών Επιθεωρητών - Εκπαιδευτικό υλικό, Θ.Ε.:ΔΕ4, Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, Α’ Έκδοση, Ιούνιος 2011
- [5] **Καλδέλλης Ιωάννης, Σπυρόπουλος Γ., Καββαδίας Κ., 2007**, “Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας: Ηλιακή Ακτινοβολία – Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις – Ηλιακά Θερμικά Συστήματα”, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, ISBN: 960-351-686-6.
- [6] **Καλδέλλης Ιωάννης, Κοσμάς Α. Καββαδίας, 2001**, “Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας: Αιολική Ενέργεια - Ηλιακή Ενέργεια - Υδάτινο Δυναμικό - Βιομάζα - Γεωθερμία”, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλη, 2001, ISBN: 960-351-345-8
- [7] **Καλδέλλης Ιωάννης, 2007**, “Διδακτικές Σημειώσεις για το μάθημα Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι, Τεύχος Β”, ΑΕΙ Πειραιά ΤΤ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, Δεκέμβριος 2007.
- [8] **Galaxy Solar, 2019**, Ηλιακά συστήματα , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.galaxysolar.gr](http://www.galaxysolar.gr)
- [9] **Δημόκριτος, Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών, 2019**, διαδικτυακός ιστότοπος: [www.solar.demokritos.gr](http://www.solar.demokritos.gr)
- [10] **Μοναχός Γρηγόρης, 2017**, “Ηλιακοί θερμοσίφωνες”, Διπλ. Μηχανολόγος Μηχανικός Α.Π.Θ., άρθρο σε διαδικτυακό ιστότοπο, Διαθέσιμο: [www.monachos.gr/forum/content.php/483-iliakoi-thermosifones](http://www.monachos.gr/forum/content.php/483-iliakoi-thermosifones)
- [11] **Αέναος Α.Ε., 2019**, Εταιρία θέρμανσης - κλιματισμού και ενεργειακών συστημάτων, διαδικτυακός ιστότοπος : [www.aenaos-sa.gr](http://www.aenaos-sa.gr)
- [12] **Σπαχής, 2019**, Είδη υγιεινής και υδραυλικά , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.spachis.gr](http://www.spachis.gr)
- [13] **Calpak, 2019**, Ηλιακοί θερμοσίφωνες - Ηλιακά συστήματα , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.calpak.gr](http://www.calpak.gr)

- [14] **Polaris, 2019**, Κέντρο ηλιακών θερμοσιφώνων , διαδικτυακός ιστότοπος [www.e-polaris.gr](http://www.e-polaris.gr)
- [15] **Tech-Co Building Solution, 2019**, Τεχνική εταιρεία ηλεκτρομηχανολογικών έργων , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.techco.gr](http://www.techco.gr)
- [16] **Thermostahl, 2019**, Εταιρεία κατασκευής χαλύβδινων λεβήτων συμπύκνωσης , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.thermostahl.gr](http://www.thermostahl.gr)
- [17] **Zero Energy Buildings, 2019**, Ενημερωτικό Blog για ενεργειακά ζητήματα , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.zeroenergybuildings.org](http://www.zeroenergybuildings.org)
- [18] **Ηλιοακμή , 2019**, Ηλιακοί Θερμοσίφωνες , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.helioakmi.com](http://www.helioakmi.com)
- [19] **IlioSak, 2020**, Ηλιακοί Θερμοσίφωνες , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.iliosak.gr](http://www.iliosak.gr)
- [20] **PanSolar, 2020**, Ηλιακοί Θερμοσίφωνες , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.pansolar.gr](http://www.pansolar.gr)
- [21] **Technostahl, 2020**, Ηλιακοί Συστήματα , διαδικτυακός ιστότοπος : [www.technostahl.gr](http://www.technostahl.gr)