

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΠΡΩΤΟΤΥΠΟΥ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΘΕΡΜΟΣΙΦΩΝΑ ICS, ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ - ΑΠΟΘΗΚΗΣ

Σ. Ε. Πνευματικάκης, Ι. Γ. Καούρης, Κ. Γκέρτζος

Τμήμα Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26500, Πάτρα
Τηλ. 261 0969410, e-mail: spneumat@mech.upatras.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η πειραματική μελέτη ενός πρωτότυπου επίπεδου ηλιακού θερμοσίφωνα ICS συλλέκτη – αποθήκης, με έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης. Οι δοκιμές έγιναν σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 879, εξάγονται διαγράμματα εισόδου – εξόδου, διαγράμματα απομάστευσης και υπολογίζεται ο συντελεστής θερμικών απωλειών. Για την εντατικοποίηση της μετάδοσης θερμότητας, μελετάται η λειτουργία σε συνθήκες ανακυκλοφορίας του υγρού αποθήκευσης της θερμότητας κατά τη διάρκεια της απομάστευσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πλέον διαδεδομένα ηλιακά θερμικά συστήματα για οικιακή αλλά και βιομηχανική χρήση είναι τα λεγόμενα θερμοσιφωνικά συστήματα (ηλιακοί θερμοσίφωνες). Τα συστήματα αυτά κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τα λεγόμενα συστήματα «κλειστού κυκλώματος» ή «έμμεσης θέρμανσης», όπου το υγρό του συλλέκτη είναι διαφορετικό από το νερό χρήσης, και τα συστήματα «ανοικτού κυκλώματος» ή «άμεσης θέρμανσης», όπου το υγρό του συλλέκτη είναι το ίδιο το προς χρήση νερό. Τα συστήματα που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία αποτελούνται από ένα δοχείο αποθήκευσης στο οποίο αποθηκεύεται το νερό χρήσης. Η ανταλλαγή θερμότητας με το υγρό του συλλέκτη γίνεται μέσω εναλλάκτη, ο οποίος συνήθως κατασκευάζεται γύρω από το δοχείο υπό μορφή μανδύα ώστε να περιβρέχει εξωτερικά το δοχείο σε μεγάλο μέρος της επιφάνειάς του [1], [2].

Το βασικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί στην κατασκευή και λειτουργία ενός ηλιακού θερμοσίφωνα, είναι η διάβρωση του δοχείου αποθήκευσης (boiler) [2]. Λόγω της συνεχούς εναλλαγής του νερού χρήσης μέσα σε αυτό, της θερμοκρασίας του και της κακής ποιότητας του νερού των δικτύων ύδρευσης, είναι απαραίτητη η πολύ καλή προστασία του εσωτερικού του δοχείου αποθήκευσης, έτσι ώστε η διάρκεια ζωής του να είναι τέτοια που να καθιστά συμφέρουσα την αγορά. Οι τεχνικές προστασίες είναι πολλές, όλες όμως έχουν σημαντική επίπτωση στο κόστος του ηλιακού θερμοσίφωνα.

Εδώ και αρκετά χρόνια, έχει αναπτυχθεί από πλευράς μας σημαντική δραστηριότητα για την ανάπτυξη ηλιακών συστημάτων, απαλλαγμένων από αυξημένες απαιτήσεις αντοχής σε διάβρωση και πίεση, [3], [4], [5], [6]. Ταυτόχρονα, η ποιότητα κατασκευής διατηρείται σε υψηλά επίπεδα, ενώ το κόστος μειώνεται. Η όλη προσπάθεια εστιάζεται στην ανάπτυξη συστημάτων με αποθήκευση στο πρωτεύον κύκλωμα κυκλοφορίας, η δε θέρμανση του νερού χρήσης επιτυγχάνεται έμμεσα, μέσω εναλλάκτη εμβαπτισμένου στο δοχείο αποθήκευσης. Η θερμότητα αποθηκεύεται στο υγρό αποθήκευσης (νερό), το οποίο δεν ανανεώνεται. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μη ανανέωσης του νερού στο οποίο αποθηκεύεται η συλλεγόμενη ενέργεια, είναι η αποφυγή διάβρωσης. Στα θερμικά κυκλώματα με μη ανανεούμενη ποσότητα κυκλοφορούντος θερμανταλκτικού ρευστού (νερού) δεν υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις αντοχής σε διάβρωση. Αυτό οφείλεται στη πεπερασμένη ποσότητα κατιόντων και διαλυμένου οξυγόνου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων που εμφανίζουν μακροβιότητα, παρόλο που και τα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ) είναι κατά κανόνα κατασκευασμένα από απλά χαλυβδοελάσματα (χωρίς εσωτερική

προστασία) και δεν λαμβάνεται κανένα άλλο πρόσθετο μέτρο προστασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση φθηνών κατασκευαστικών υλικών, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις προστασίας.

Για θερμοσιφωνικά συστήματα, η πρακτικότερη διάταξη εναλλάκτη είναι αυτή του εμβαπτισμένου στο δοχείο, επειδή δεν χρειάζεται εξωτερικές συνδέσεις, ξεχωριστή κυκλοφορία ρευστών και δεν καταλαμβάνει πρόσθετο χώρο. Στο εσωτερικό των σωληνώσεων του κυκλοφορεί το νερό προς χρήση (από το δίκτυο) και έτσι λόγω της εξαναγκασμένης ροής αναπτύσσεται ικανοποιητικός εσωτερικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας. Εξωτερικά όμως, αν η θερμανταλλαγή συντελείται με φυσική κυκλοφορία, τότε αναπτύσσεται πολύ μικρός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας, που επιδρά αρνητικά στο συνολικό συντελεστή εναλλαγής. Για να επιτευχθεί λοιπόν ικανοποιητική θερμοκρασία εξόδου του νερού χρήσης (να μην είναι μικρότερη από 5-8 °C από τη θερμοκρασία του ρευστού του δοχείου) χρειάζεται, ή πάρα πολύ μεγάλη επιφάνεια εναλλαγής (ασύμφορη οικονομικά λύση), ή κάποιος μηχανισμός εντατικοποίησης του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Κατάλληλοι μηχανισμοί για το σκοπό αυτό είναι, είτε οι αναδευτήρες υγρών [5], είτε η δημιουργία εξαναγκασμένης κυκλοφορίας του αποθηκευμένου ρευστού μέσω εξωτερικά συνδεδεμένης αντλίας [3], [4].

Ο κίνδυνος διάβρωσης μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια των σωλήνων του εναλλάκτη. Επειδή όμως χρησιμοποιούνται χαλκοσωλήνες, ο κίνδυνος διάβρωσης-διάτρησης εξαλείφεται. Παραμένει όμως ο κίνδυνος φραγής των σωλήνων από εναπόθεση αλάτων. Λόγω της εξαναγκασμένης ροής του προς χρήση νερού και της ανάπτυξης σημαντικής ταχύτητας στο εσωτερικό των σωλήνων, αναπτύσσονται μικρές επικαθίσεις αλάτων [7] (οι μεγάλες ποσότητες συμπαρασύρονται από το νερό) και έτσι αποφεύγεται και αυτός ο κίνδυνος. Αν όμως παρ' ελπίδα μετά από πάροδο μεγάλου χρονικού διαστήματος οι επικαθίσεις αυξηθούν, τότε θα παρατηρηθεί μείωση της ροής και ελάττωση της θερμοκρασίας του νερού χρήσης. Γεγονός, που οδηγεί το χρήστη να καλέσει για συντήρηση εξουσιοδοτημένο συνεργείο. Η συντήρηση δε αυτή συνίσταται σε πλύση του εσωτερικού των σωλήνων με κάποιο ελαφρύ οξύ [7], διαδικασία με χαμηλό κόστος και χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις γνώσεων.

Η εργασία αυτή αποτελεί συνέχεια προηγούμενου έργου [3] – [6] και σαν στόχο έχει να μελετήσει την απόδοση ενός ολοκληρωμένου ηλιακού θερμοσίφωνα ICS επίπεδου συλλέκτη - αποθήκης με αποθήκευση στο πρωτεύον κύκλωμα και έμμεση θέρμανση του νερού χρήσης. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε πειραματική συσκευή η οποία υπεβλήθη σε δοκιμές, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 879.

2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Κατασκευάστηκε πρωτότυπη πειραματική μονάδα ηλιακού θερμοσίφωνα ολοκληρωμένου τύπου επίπεδου συλλέκτη – αποθήκης. Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε ορθογώνιο δοχείο εσωτερικών διαστάσεων 1.5 x 1.35 x 0.06 m³ εντός του οποίου και σε άμεση επαφή με τα τοιχώματά του τοποθετήθηκε χαλκοσωλήνας διαμέτρου 12 mm, πάχους τοιχώματος 0.5 mm και μήκους περίπου 15 m για κάθε πλευρά του δοχείου.



Εικόνα 1. Διαμόρφωση επιφανειών



Εικόνα 2. Συναρμολόγηση του δοχείου με το πλαίσιο

Για τη κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν 2 φύλλα σιδήρου πάχους 1,5 mm στην επιφάνεια των οποίων δημιουργήθηκαν 3 αυλακώσεις που λειτουργούν ως νεύρα δυσκαμψίας για να αντέχουν τις υδροστατικές πιέσεις. Τα δύο αυτά φύλλα αποτελούν την μπροστά και πίσω επιφάνεια του συλλέκτη – δεξαμενή.



Εικόνα 3. Τοποθέτηση της συσκευής στο πεδίο δοκιμών.

Πάνω στις επιφάνειες των δύο αυτών φύλλων τοποθετούνται οι χαλκοσωλήνες που έχουν τη μορφή μαιάνδρου. Στην Εικόνα 1 φαίνεται η διαμόρφωση των 2 επιφανειών. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η συναρμολόγηση του συλλέκτη με τη βοήθεια 4 ειδικά διαμορφωμένων ελασμάτων σιδήρου που παίζουν το ρόλο των πλαϊνών στοιχείων του συλλέκτη – δοχείου. Η συνολική χωρητικότητα του δοχείου ανέρχεται έτσι σε 120 l. Το δοχείο μονώθηκε στην πίσω και τις πλαϊνές επιφάνειές του με πετροβάμβακα πάχους 10 και 5 cm. Στην εμπρός επιφάνεια του δοχείου επικολλήθηκε επίστρωση επιλεκτικής βαφής Maxorb, η οποία έχει τη μορφή μαύρης αυτοκόλλητης ταινίας, και καλύφθηκε όλη η επιφάνεια του συλλέκτη.

Πάνω από την επιλεκτική βαφή τοποθετείται διαφανής μόνωση μορφής honeycomb, πάχους 8 cm. Τέλος, πάνω από τη διαφανή μόνωση τοποθετείται υαλοπίνακας πάχους 3 mm και η όλη κατασκευή συναρμολογείται σε πλαίσιο. Στην εικόνα 2 φαίνεται η συναρμολόγηση του δοχείου με το πλαίσιο. Στο δοχείο και το πλαίσιο τοποθετήθηκαν αναμονές στομιών, ώστε να είναι δυνατή η μεταβολή των σημείων σύνδεσης του κυκλοφορητή ανακυκλοφορίας, του νερού του δοχείου.

Η όλη διάταξη εγκαταστάθηκε πάνω σε ειδικά διαμορφωμένη βάση (Εικόνα 3) η οποία τοποθετήθηκε προς Νότο στην οροφή του κτιρίου Μηχ/γων & Αερον/γών Μηχ/κών.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

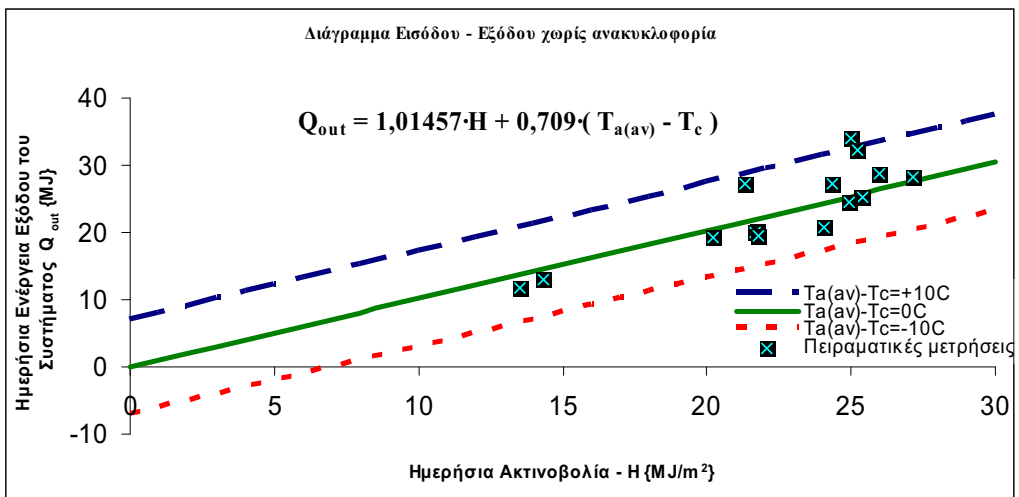
Η μέτρηση απόδοσης της πρωτότυπης μονάδας έγινε σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 879 (ISO 9459-2). Εξήχθησαν διαγράμματα εισόδου – εξόδου και απομάστευσης, για δύο λειτουργικές περιπτώσεις : α) χωρίς ανακυκλοφορία του νερού του δοχείου και β) με ανακυκλοφορία του νερού του δοχείου, κατά τη διάρκεια απομάστευσης. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκε κυκλοφορητής που ανακυκλοφορεί το νερό, μεταξύ αντιδιαμετρικών σημείων στην άνω και κάτω πλευρά του δοχείου, μέσω εξωτερικών θερμομονωμένων σωληνώσεων. Η παροχή του κυκλοφορητή επιλέχθηκε να είναι 500 l/h, μέγεθος που επιτυγχάνεται εύκολα με φθηνές

κοινές αντλίες πλυντηρίων. Αυτή η παροχή διατηρήθηκε σταθερή σε όλες τις μετρήσεις με ανακυκλοφορία.

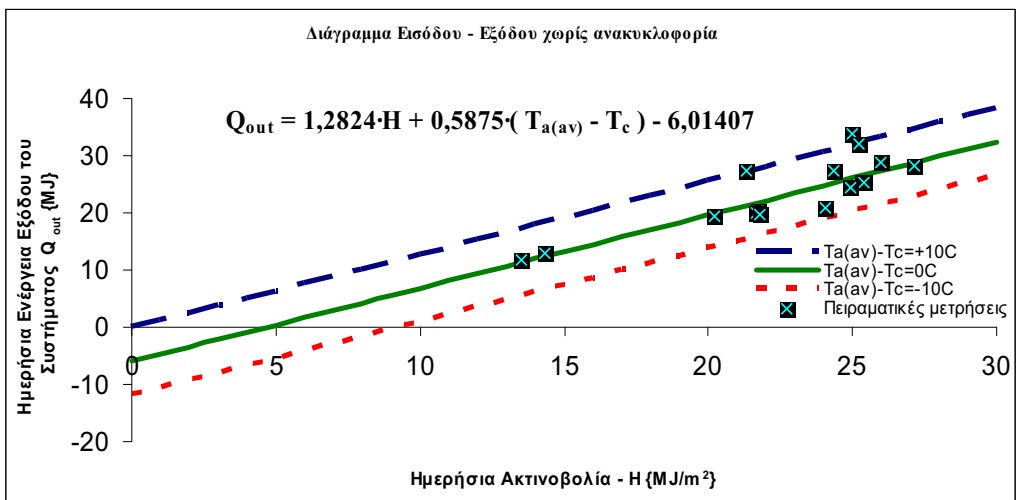
Το πρότυπο ΕΛΟΤ 879 (ISO 9459-2) προβλέπει δύο συσχετίσεις για τα διαγράμματα εισόδου - εξόδου:

$$Q_{out} = a_1 \cdot H + a_2 \cdot (T_{a(av)} - T_c) \quad (1) \text{ και } Q_{out} = a_1 \cdot H + a_2 \cdot (T_{a(av)} - T_c) + a_3 \quad (2)$$

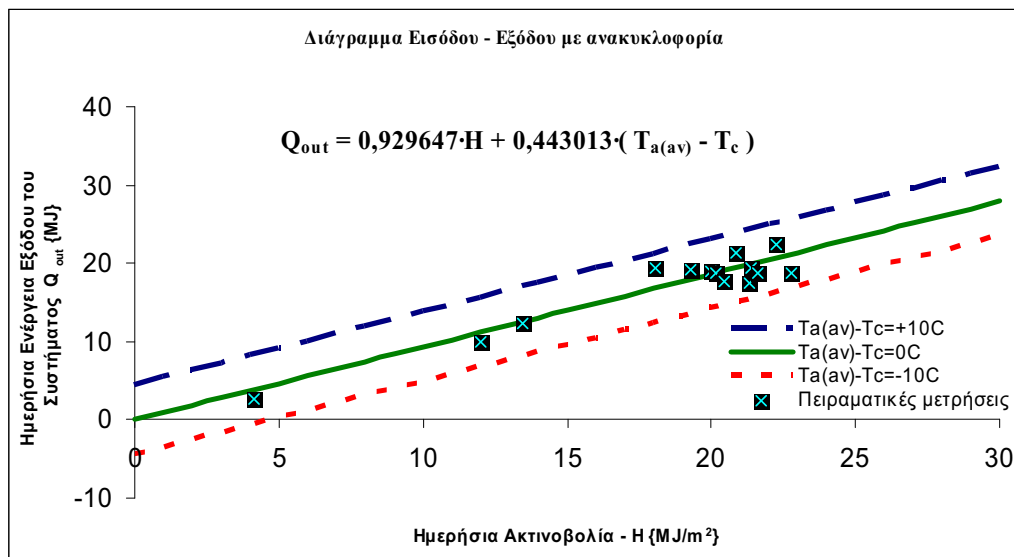
όπου Q_{out} η ημερήσια ενέργεια εξόδου του συστήματος [MJ], H η ημερήσια ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη, $T_{a(av)}$ η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, T_c η θερμοκρασία του κρύου νερού και a_1, a_2, a_3 συντελεστές συσχέτισης. Η σχέση (1) αποτελεί τη βασική περιγραφή ενός ηλιακού συστήματος παραγωγής ζεστού νερού, ενώ βελτιώνεται με τη προσθήκη της σταθεράς a_3 στη σχέση (2), στη περίπτωση λειτουργίας διαφορικού θερμοστάτη. Αν και για τον έλεγχο της πειραματικής μονάδας αρκεί η σχέση (1), λόγω μη λειτουργίας διαφορικού θερμοστάτη, εξάγονται αποτελέσματα και με τη σχέση (2) για λόγους σύγκρισης με άλλα συστήματα του εμπορίου.



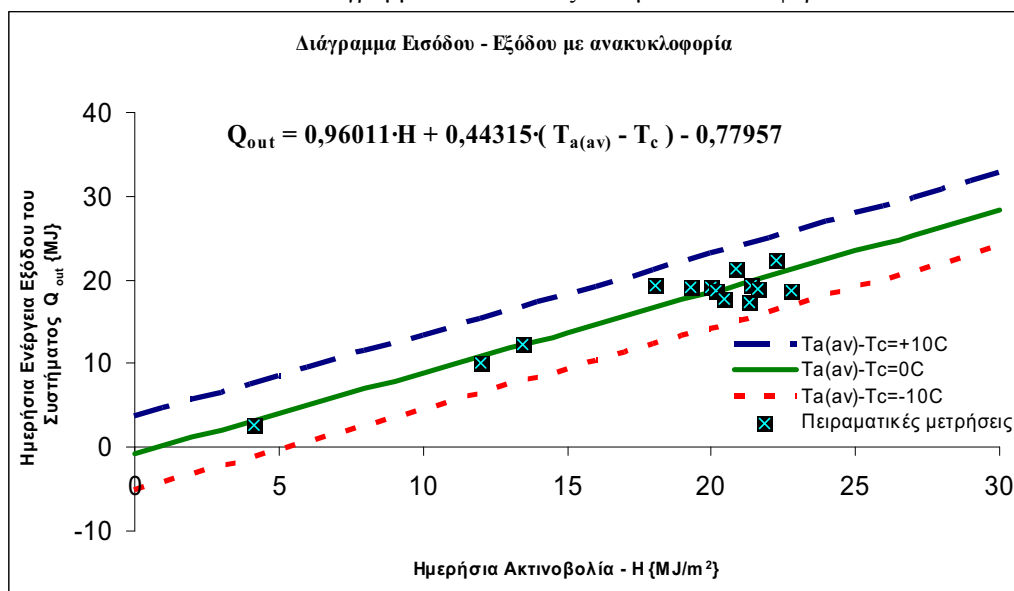
Εικόνα 4. Διάγραμμα Εισόδου - Εξόδου χωρίς ανακυκλοφορία



Εικόνα 5. Διάγραμμα Εισόδου - Εξόδου χωρίς ανακυκλοφορία



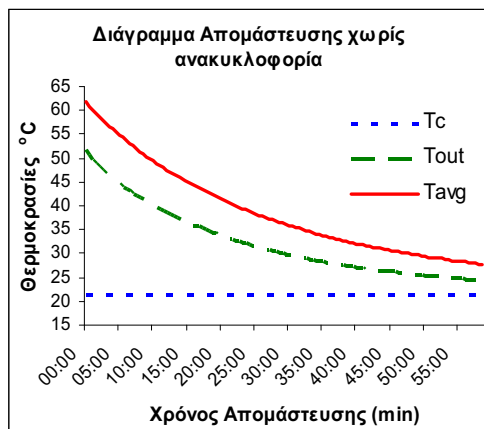
Εικόνα 6. Διάγραμμα Εισόδου - Εξόδου με ανακυκλοφορία



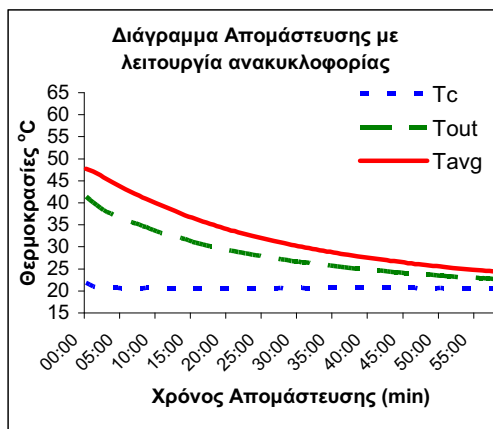
Εικόνα 7. Διάγραμμα Εισόδου - Εξόδου με ανακυκλοφορία

Στις παραπάνω Εικόνες 4 – 7 παρουσιάζονται τα διαγράμματα εισόδου - εξόδου και οι συσχετίσεις που τα συνοδεύουν.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω μετρήσεις, εξάγονται και διαγράμματα απομάστευσης. Παρακάτω, στις Εικόνες 8 – 9, παρατίθενται δύο τέτοια χαρακτηριστικά διαγράμματα, με και χωρίς ανακυκλοφορία. Παρουσιάζεται η μεταβολή τριών θερμοκρασιών, κατά τη διάρκεια της απομάστευσης, της θερμοκρασίας του κρύου νερού (εισαγωγής) T_c , της θερμοκρασίας του ζεστού νερού (εξαγωγής) T_{out} και της μέσης θερμοκρασίας του δοχείου T_{avg} . Η μέση θερμοκρασία του δοχείου μετριέται από 3 θερμοζεύγη ισοκατανεμημένα στη μέση και κατά μήκος του δοχείου.



Εικόνα 8. Μεταβολή θερμοκρασιών κατά την απομάστευση



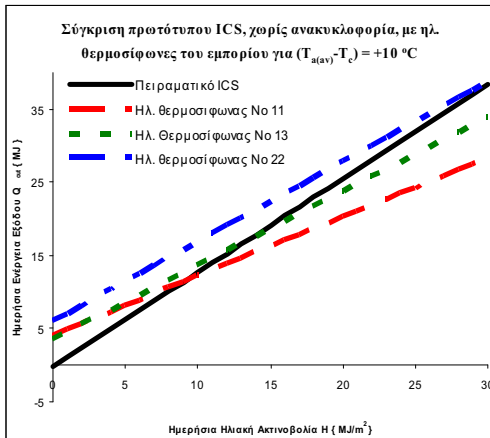
Εικόνα 9. Μεταβολή θερμοκρασιών κατά την απομάστευση

Επίσης, διεξήχθησαν 5 πειράματα, για το προσδιορισμό του συντελεστή θερμικών απωλειών U_s του συστήματος, κατά ΕΛΟΤ 879 (ISO 9459-2). Οι πειραματικές μετρήσεις έδωσαν ως μέσο όρο τη τιμή $U_s = 5,27 \text{ W/K}$.

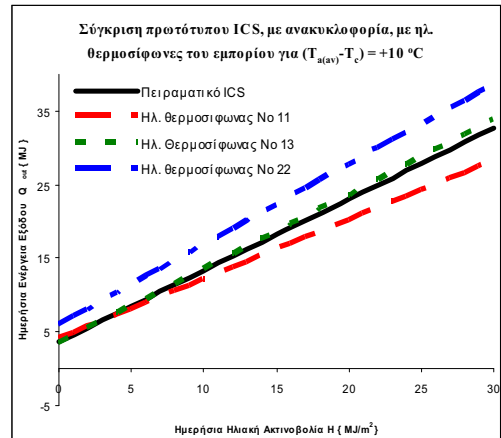
4. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως γίνεται φανερό από τα διαγράμματα εισόδου – εξόδου (Εικόνες 4 – 7), το υπό μελέτη σύστημα παρουσιάζει χαρακτηριστικά όμοια με τους ηλιακούς θερμοσίφωνες φυσικής κυκλοφορίας με χωριστό δοχείο αποθήκευσης. Όμως, εμφανίζει διαφορά στη τιμή του συντελεστή θερμικών απωλειών, όπως είναι αναμενόμενο για ολοκληρωμένο σύστημα ICS. Παρόλα αυτά η τιμή $U_s = 5,27 \text{ W/K}$ είναι πολύ μικρότερη από τις τιμές U_s των κοινών ICS ($U_s > 10 \text{ W/K}$) και πλησιάζει τις τιμές των θερμοσιφωνικών φυσικής κυκλοφορίας ($U_s = 1,3 - 2,7 \text{ W/K}$). Αυτό οφείλεται στην επιλεκτική βαφή του απορροφητή και τη διαφανή μόνωση. Από τα διαγράμματα εισόδου – εξόδου (Εικόνες 4 – 7) φαίνεται ότι η θερμική απολαβή Q_{out} με ανακυκλοφορία είναι ελαφρά χαμηλότερη από την αντίστοιχη χωρίς ανακυκλοφορία. Αυτό οφείλεται στις μικρές θερμικές απώλειες που υφίστανται κατά τη λειτουργία του κυκλοφορητή. Όμως, υπάρχει από την άλλη μεριά το κέρδος στη θερμοκρασία εξόδου του νερού χρήσης. Όπως φαίνεται από τη σύγκριση των διαγραμμάτων απομάστευσης (Εικόνες 8 – 9), η διαφορά της θερμοκρασίας του ζεστού νερού χρήσης από τη μέση θερμοκρασία του νερού του δοχείου είναι περίπου η μισή, όταν λειτουργεί η ανακυκλοφορία. Αυτό οφείλεται στην εντατικοποίηση του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας από το νερό του δοχείου στα τοιχώματα του σωληνωτού εναλλάκτη. Η εντατικοποίηση αυτή, στην εν λόγω κατασκευή, δεν είναι η βέλτιστη δυνατή. Όπως έχει φανεί [4], [6], υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης, όσον αφορά τη τοποθέτηση των στομιών εισαγωγής και εξαγωγής του κυκλοφορητή καθώς και τη συγκόλληση του εναλλάκτη στα τοιχώματα του δοχείου. Πάντως, και αν ακόμη δε λειτουργεί η ανακυκλοφορία, παραμένει ικανοποιητικό το θερμοκρασιακό επίπεδο του ζεστού νερού χρήσης. Δε πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι, στα θερμοσιφωνικά συστήματα έμμεσης θέρμανσης (συνήθως με εναλλάκτη μανδύα) η θερμοκρασία του εναλλάκτη είναι πάνω από $10 \text{ }^\circ\text{C}$ από τη θερμοκρασία του νερού του δοχείου.

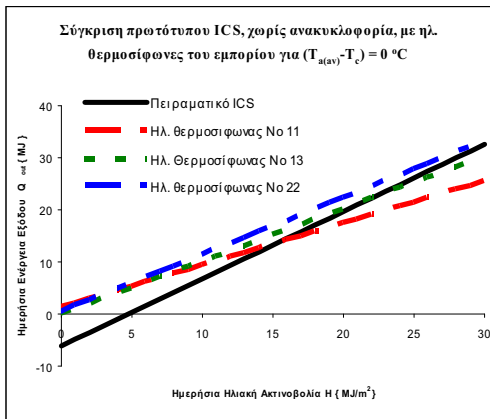
Όπως φαίνεται στα διαγράμματα απομάστευσης (Εικόνες 8 – 9), η μορφή της μεταβολής των θερμοκρασιών εξόδου διαφέρει από αυτή των κοινών ηλιακών θερμοσιφώνων.



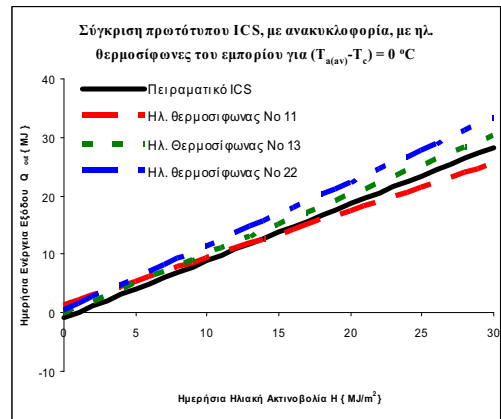
Εικόνα 10. Συγκρίσεις χωρίς ανακυκλοφορία
 $(T_{a(av)} - T_c) = +10 \text{ } ^\circ\text{C}$



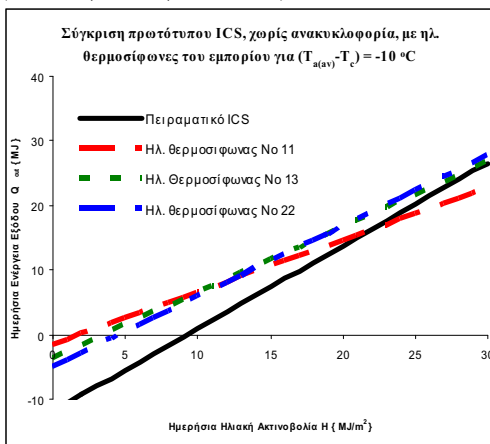
Εικόνα 13. Συγκρίσεις με ανακυκλοφορία
 $(T_{a(av)} - T_c) = +10 \text{ } ^\circ\text{C}$



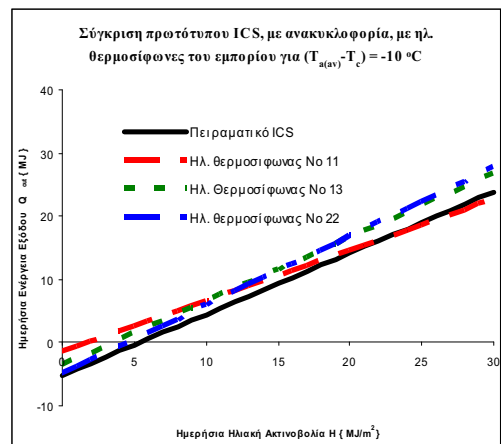
Εικόνα 11. Συγκρίσεις χωρίς ανακυκλοφορία
 $(T_{a(av)} - T_c) = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$



Εικόνα 14. Συγκρίσεις με ανακυκλοφορία
 $(T_{a(av)} - T_c) = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$



Εικόνα 12. Συγκρίσεις χωρίς ανακυκλοφορία
 $(T_{a(av)} - T_c) = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$



Εικόνα 15. Συγκρίσεις με ανακυκλοφορία
 $(T_{a(av)} - T_c) = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$

Αυτό οφείλεται στον έμμεσο τρόπο θέρμανσης του νερού χρήσης, χωρίς να έχει καμιά επίπτωση στην απόδοση του συστήματος.

Για τη σύγκριση με άλλα εμπορικά θερμοσιφωνικά συστήματα, επιλέχθηκαν συστήματα [8] με λόγο V_s/A_a όγκου δεξαμενής προς εμβαδόν συλλέκτη παραπλήσιο με αυτόν της υπό μελέτη συσκευής, $V_s/A_a = 59,3 \text{ l/m}^2$. Στην εργασία [8] παρατίθενται τα αποτελέσματα δοκιμών 33 ηλιακών θερμοσιφωνικών συστημάτων. Επιλέχθηκαν τα συστήματα Νο 11 με $V_s=113 \text{ l}$ $A_a=1,8 \text{ m}^2$ $V_s/A_a = 62,78 \text{ l/m}^2$, Νο 13 με $V_s=120 \text{ l}$ $A_a=2,1 \text{ m}^2$ $V_s/A_a = 59,52 \text{ l/m}^2$ και Νο 22 με $V_s=160 \text{ l}$ $A_a=2,7 \text{ m}^2$ $V_s/A_a = 59,25 \text{ l/m}^2$. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρουσιάζονται στις Εικόνες 10 – 15. Από τη σύγκριση προκύπτει ότι, το υπό εξέταση σύστημα παρουσιάζει απόδοση παρόμοια των εμπορικών ηλιακών θερμοσιφώνων, έμμεσης θέρμανσης.

Το κόστος κατασκευής μιας παρόμοιας μονάδας, σε εμπορικό επίπεδο, εμφανίζεται μειωμένο κατά 30%. Αυτό οφείλεται στην αποφυγή προστασίας από διάβρωση (υάλωση του δοχείου, χρήση ανοξείδωτου χάλυβα κλπ.) και αντοχής σε πίεση (πάχος ελασμάτων, συγκολλήσεων κλπ.). Το μεγαλύτερο όμως πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί η αυξημένη αξιοπιστία του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνικό Πρότυπο ΕΛΟΤ 879, Μέθοδοι Δοκιμών Ηλιακών Συστημάτων Ζεστού Νερού Οικιακής Χρήσης, ΕΛΟΤ (1990).
2. Ευρωπαϊκό Πρότυπο EUN 11606 EN, European Solar Collector and Durability Tests of Solar Collectors and Water Heating Systems, JRC Ispra, 1989.
3. Σ.Ε. Πνευματικάκης, Ι.Γ. Καούρης, Κ. Π. Γκέρτζος «Ανάπτυξη ολοκληρωμένου ηλιακού θερμοσίφωνα ICS, επίπεδου συλλέκτη – αποθήκης», Πρακτικά 7ου Εθνικού συνέδριου ΙΗΤ, Πάτρα, 2002.
4. Κ. Π. Γκέρτζος, Ι.Γ. Καούρης, Σ.Ε. Πνευματικάκης «Εντατικοποίηση μετάδοσης θερμότητας σε ολοκληρωμένο ηλιακό θερμοσίφωνα ICS, επίπεδου συλλέκτη αποθήκης», Πρακτικά 7ου Εθνικού συνέδριου ΙΗΤ, Πάτρα, 2002.
5. Ν. Χασιώτης, Ι. Γ. Καούρης, Ν. Συρίμπεης, «Μελέτη εναλλάκτη θερμότητας εμβαπτισμένου σε δοχείο αποθήκευσης ηλιακού θερμοσίφωνα», Πρακτικά 7ου Εθνικού συνέδριου ΙΗΤ, Πάτρα, 2002.
6. Κ. Π. Γκέρτζος, Ι.Γ. Καούρης, Α.Π. Βούρος «Πειραματική μελέτη ροϊκού πεδίου ταχυτήτων ολοκληρωμένου συστήματος επίπεδου ηλιακού συλλέκτη – αποθήκης (ICS) σε εξαναγκασμένη ροή», «Ροή 2004», Πρακτικά Συν., «Πρόσφατες Ερευνητικές δραστηριότητες στη Μηχανική των ρευστών στην Ελλάδα», Αθήνα, 2004.
7. VDI – WARMEATLAS, Μετάδοση Θερμότητας, Έκτη Έκδοση, Τεχνοεκδοτική, 1993.
8. Θ. Παφύλιας, Οικιακά ηλιακά συστήματα ζεστού νερού Μετρήσεις σύμφωνα με ΕΛΟΤ 879 Επισκόπηση αποτελεσμάτων και συμπεράσματα, ΚΑΠΕ, Τόμος Ι, ΙΙ, 1991.