

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΝΕΡΟΥ-ΑΕΡΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Β. ΜΠΕΛΕΣΙΩΤΗΣ(1) και Β. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ(2)

(1)ΕΚΕΦΕ "ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ", Εργαστήριο Ηλιακών Συλλεκτών και Συστημάτων  
(2)Α.Π.ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μ/γων-Μ/κων,  
Ενεργειακός Τομέας

### 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται πειραματικά ένας ηλιακός επίπεδος συλλέκτης "διπλής χρήσης" νερού-αέρα, κατάλληλου για ζεστό νερό χρήσης και θέρμανσης αέρα για κατοικία. Αναπτύχθηκε ένας υπό κλίμακα "υβριδικός" επίπεδος συλλέκτης και προσδιορίστηκε η ενεργειακή ημερήσια συμπεριφορά του για κάθε φάση λειτουργίας. Τέλος παρουσιάζονται αποτελέσματα δοκιμών για κάθε λειτουργία χωριστά σε δυναμική κατάσταση.

### 2. ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης, συλλέκτης νερού, συλλέκτης αέρα, εναλλάκτης θερμότητας νερού-αέρα.

### 3. ΕΙΣΛΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη στροφή στην ανάπτυξη της τεχνολογικής έρευνας στον τομέα της ηλιακής ενέργειας τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και στον ευρωπαϊκό γενικότερα. Αναπτύσσονται συστήματα που αν και χαρακτηρίζονται "πρωτοποριακά" στην ουσία αποτελούν μία παλιή επαναδιάταξη του τρόπου παραγωγής θερμότητας. Τέτοια συστήματα για να είναι αποδεκτά με τεχνικοοικονομικά κριτήρια απαιτούν ειδική σχεδίαση που πρέπει να είναι απόλυτα προσαρμοσμένη στις ειδικές ανάγκες της εκάστοτε χρήσης. Παίρνοντας υπόψη τα παραπάνω και με το δεδομένο ότι η βέλτιστη κατασκευή του ηλιοσυλλέκτη προκύπτει και από τις συνθήκες λειτουργίας του [1], αναπτύχθηκε ένας υβριδικός συλλέκτης νερού-αέρα με σκοπό να καθοριστούν οι παράμετροι σχεδιασμού για τις εξής λειτουργίες:

- Θέρμανση νερού χρήσης κατά την περίοδο Απρίλιο-Οκτώβριο.
- Θέρμανση αέρα για θέρμανση χώρων κατά την περίοδο Οκτώβριο-Μάρτιο.

Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής συμπεριφοράς του συλλέκτη εφαρμόστηκε η μέθοδος "Πρόσπτωση-Απολαβή" [2,3]. Η μέθοδος αυτή υποστηρίζει ότι η μέση ημερήσια ηλιακή απολαβή,  $Q_{out}$ , ενός ηλιακού συλλέκτη (ως σύστημα θεωρούμενος) κατά τη διάρκεια της ημέρας, προσδιορίζεται επαρκώς από την εξίσωση:

$$Q_{out} = F_1 H + F_2(T_a - T_{cin}) + F_3 \quad (3.1)$$

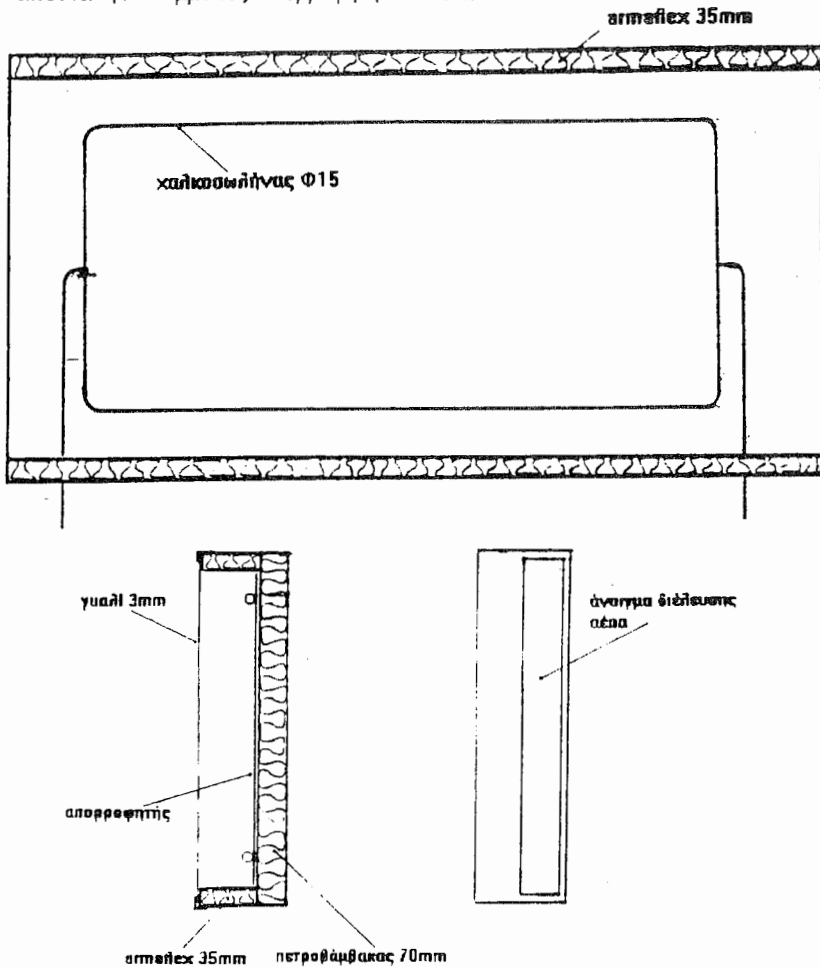
- όπου: H: Ολική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (πρόσπτωση)  
 $T_a$ : Μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα-περιβάλλοντος  
 $T_{cin}$ : Μέση θερμοκρασία ρευστού κυκλοφορίας στην είσοδο του συλλέκτη  
 $F_1, F_2, F_3$ : Χαρακτηριστικές παράμετροι του συστήματος

#### 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

##### 4.1 Συλλέκτης

Ο πειραματικός υβριδικός συλλέκτης (βλ. σχ. 1) έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Απορροφητική επιφάνεια Cu, πάχους 0.2 mm, επιλεκτικής "βαφής" "μαύρο χρώμιο" ( $\epsilon=0.13$ ,  $\alpha=0.95$ )
- σωλήνας χαλκού, διαμέτρου 15 mm.
- μόνωση πλάτης, πετροβάμβακας, πάχους 70 mm.
- πλευρική μόνωση, armaflech, πάχους 35 mm.
- κάλυμμα, γυαλί, πάχους 3 mm.
- απόσταση καλύμματος-απορροφητή 107 mm.



Σχήμα 4.1 Τομή και κάτοψη συλλέκτη νερού-αέρα

## 4.2 Μέθοδοι δοκιμών

### 4.2.1 Δοκιμές συλλέκτη νερού

Στο συλλέκτη με ρευστό κυκλοφορίας το νερό (συλλέκτης νερού) πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές δοκιμών. Μία με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ 388.1+2, [4] και μία με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ 879 [5]. Στην πρώτη σειρά δοκιμών προσδιορίστηκε η καμπύλη του στιγμιαίου βαθμού απόδοσης και στη δεύτερη σειρά δοκιμών προσδιορίστηκαν οι χαρακτηριστικοί συντελεστές  $F_1$ ,  $F_2$ , και  $F_3$  ενός συστήματος ζεστού νερού χρήσης. Στη δεύτερη περίπτωση σχηματίστηκε ένα ηλιακό οικιακό σύστημα βεβαιωμένης κυκλοφορίας. Στον υπό εξέταση συλλέκτη για αυτό το σκοπό προσαρμόστηκε δεξαμενή, χωρητικότητας 150 lt. και συντελεστή θερμικών απωλειών 1.5 W/K.

### 4.2.2 Δοκιμές συλλέκτη αέρα

Οι δοκιμές του συλλέκτη αέρα (οι οποίες και συνεχίζονται), πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα δύο μηνών (Απρίλιος-Μάιο) σε φυσικές συνθήκες.

Ο συλλέκτης είναι τοποθετημένος στο ύπαιθρο, με κλίση  $45^\circ$  και νότιο προσανατολισμό. Τροφοδοτείται με αέρα περιβάλλοντος ( $\dot{m}=0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Η διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας είναι 9 hr (8:00-17:00) και στο διάστημα αυτό μετρώνται η ένταση της στιγμιαίας ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα περιβάλλοντος καθώς και η παροχή αέρα, και οι θερμοκρασίες του αέρα στην είσοδο και έξοδο του συλλέκτη. Για κάθε ημέρα και για το διάστημα λειτουργίας του συλλέκτη υπολογίζεται η ολική ηλιακή ενέργεια  $H$ , που δέχεται ο συλλέκτης (πρόσπτωση), η ενεργειακή απολαβή  $Q_{out}$ , και η μέση θερμοκρασιακή διαφορά  $T_a - T_{cin}$ . Για ένα εύρος ημερήσιων ακτινοβολιών 5-25 MJ/m<sup>2</sup> και με ζεύγη τιμών ( $H, Q_{out}$ ), με παράμετρο  $T_a - T_{cin}$ , με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προσδιορίζονται οι συντελεστές της εξίσωσης 3.1. Με βάση τους χαρακτηριστικούς για τον υπό μελέτη συλλέκτη αέρα συντελεστές, είναι δυνατόν να προβλεφθεί η ενεργειακή απολαβή για οποιοδήποτε κλιματολογικές συνθήκες ( $H, T_a$ ).

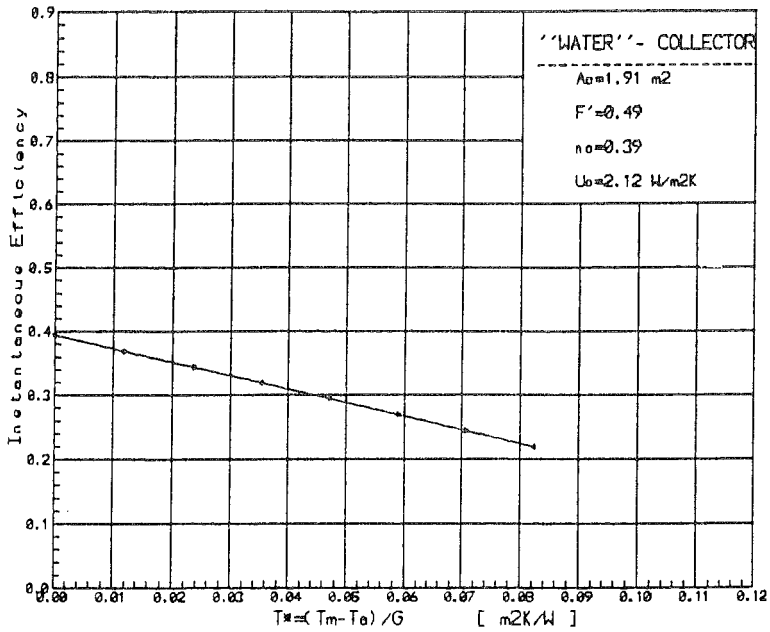
## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

### 5.1 Συλλέκτης νερού

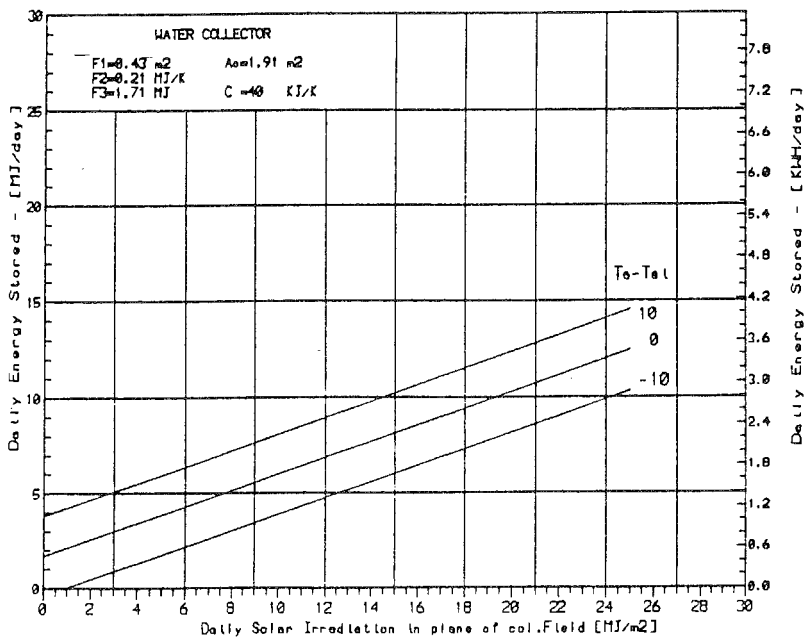
Τα αποτελέσματα δοκιμών κατά ΕΛΟΤ 388.1+2 και ΕΛΟΤ 879 παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 και οι αντίστοιχες καμπύλες της μεν στιγμιαίας απόδοσης στο διάγραμμα 5.1 της δε ενεργειακής απολαβής στο διάγραμμα 5.2.

ΕΛΟΤ 388.1+2		ΕΛΟΤ 879	
$(\tau\alpha)_e$	0.81	$F_1(\text{m}^2)$	0.43
$F'$	0.49	$F_2(\text{MJ/K})$	0.21
$\eta_0$	0.39	$F_3(\text{MJ})$	1.71
$C(\text{KJ/K})$	30		

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα δοκιμών συλλέκτη νερού



Διαγρ. 5.1: Καμπύλη στιγμιαίου βαθμού απόδοσης συλλέκτη νερού



Διάγρ. 5.2 Ημερήσια ενεργειακή απολαβή συλλέκτη νερού

5.2 Συλλέκτης αέρα

Τα αποτελέσματα δοκιμών του συλλέκτη με ρευστό κυκλοφορίας τον αέρα, παρουσιάζονται με δύο τρόπους (βλ. Πίνακα 5.2). Ο ένας τρόπος είναι η καμπύλη του ημερήσιου βαθμού [6] της μορφής:

$$\eta_{day} = (\eta_o)_{day} \cdot (U_o)_{day} [(T_{cm})_{day} - T_{a(av)}] / G_m \quad (5.1)$$

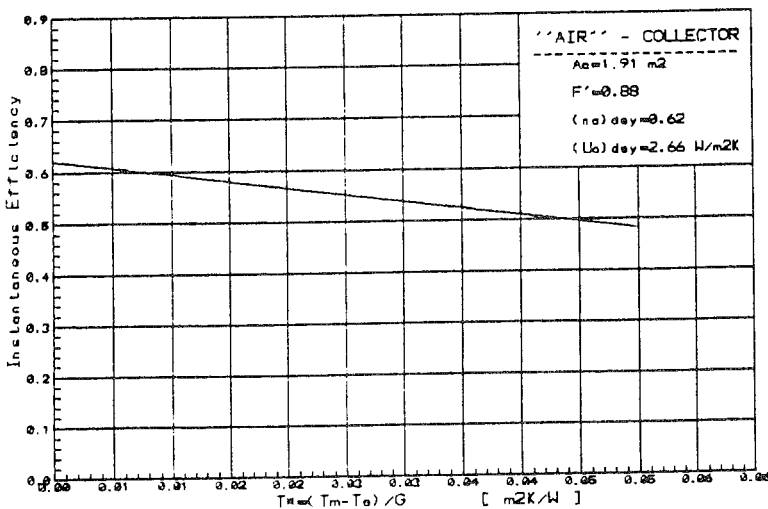
όπου:

- $(\eta_o)_{day}$  = μέγιστη ημερήσια απόδοση [-]
- $(U_o)_{day}$  = ολικός συντελεστής θερμικών απωλειών [W/m<sup>2</sup>]
- $(T_{cm})_{day}$  = μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα απαγωγή θερμότητας [°C]
- $T_{a(av)}$  = μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος [°C]
- $G_m$  = μέση ημερήσια στιγμιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας [W/m<sup>2</sup>]

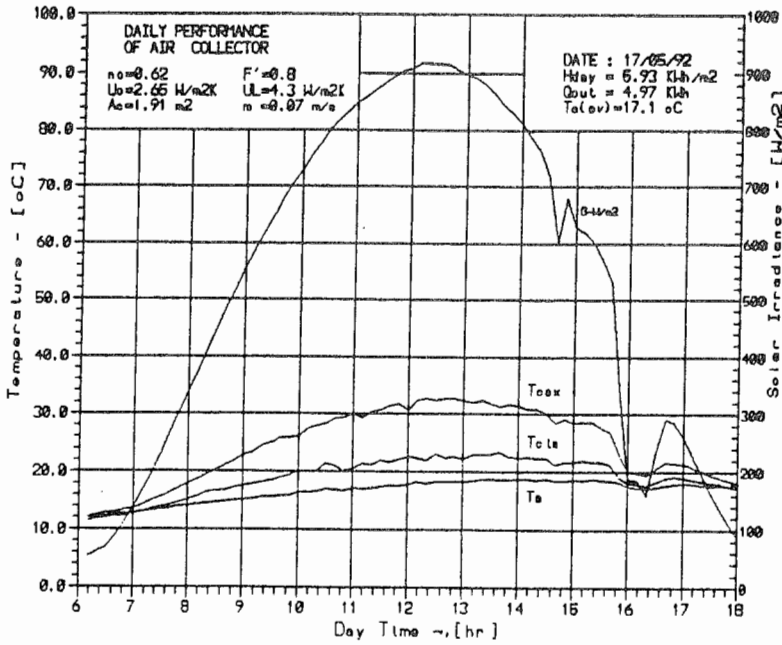
Ο δεύτερος τρόπος είναι οι καμπύλες της ημερήσια ενεργειακής απολαβής με βάση τη μέθοδο "Πρόσπτωση-Απολαβή" (εξ. 3.1).

Πίνακας 5.2 Αποτελέσματα δοκιμών ημερήσιας συμπεριφοράς συλλέκτη αέρα

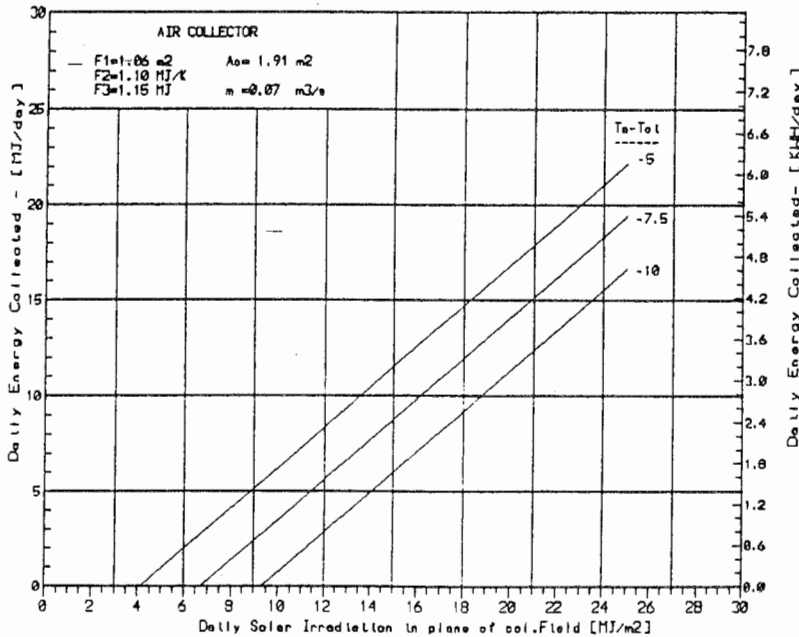
Ημερήσια Απόδοση		"Πρόσπτωση-Απολαβή"	
$(\tau_a)_e$	0.81	(F1)air	1.06 m <sup>2</sup>
$(F')_{air}$	0.88	(F2)air	1.10 MJ/K
$(\eta_o)_{day}$	0.62	(F3)air	1.15 MJ
$(U_o)_{day}$	2.66 W/m <sup>2</sup> K		



Διαγρ. 5.3 Καμπύλη Ημερησίου Βαθμού απόδοσης συλλέκτη αερός



Διάγραμμα 5.4: Ημερήσια συμπεριφορά του συλλέκτη αέρα για μία τυπική ημέρα



Διάγραμμα 5.5: Ημερήσια ενεργειακή απολαβή συλλέκτη αέρα για τρεις τυπικές θερμοκρασιακές διαφορές T<sub>a</sub>-T<sub>cin</sub>

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και ο κλάδος παραγωγής ηλιακών συλλεκτών παρουσιάζει σημαντική εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, η συμβολή της ηλιακής ενέργειας στις συνολικές ενεργειακές ανάγκες της χώρας δεν ξεπερνάει σήμερα το 0.4%. Και τούτο οφείλεται στο ότι οι εφαρμογές του ηλιακού συλλέκτη δεν έχουν επεκταθεί σε άλλους τομείς πέραν του ζεστού νερού χρήσης και ιδιαίτερα στον τομέα της κατοικίας. Ακόμη εάν πάρουμε υπόψη ότι για τη θέρμανση κατοικίας καταναλώνονται σημαντικά ποσά ενέργειας δημιουργείται η ανάγκη διερεύνησης (με τεχνικοοικονομικά κριτήρια) απλών ηλιακών συστημάτων υβριδικής μορφής. Με την παρούσα εργασία φαίνεται ότι ένας επίπεδος συλλέκτης νερού-αέρα, απλούστερης και οικονομικότερης κατασκευής συγκριτικά με τον "κλασσικού" τύπου συλλέκτη, αυξάνει τη λειτουργικότητα πετυχαίνοντας σωστή διαχείριση των δυνατοτήτων που παρέχει τέτοιος σχεδιασμός.

Τέλος επισημαίνεται ότι τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα της προκαταρκτικής διερεύνησης (τα πειράματα συνεχίζονται) ενός συλλέκτη νερού-αέρα, δημιουργούν το ερέθισμα ουσιαστικότερης αντιμετώπισης τέτοιου τύπου επιπέδου συλλέκτη, εφόσον υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτιστοποίησης του.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Β. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ, "ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΛΕΚΤΗ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ", Β' Σεμινάριο Ηλιακής Ενέργειας, ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΕΚΣΕΝΕ-ΕΛΕΤΗΛΕΝ, Αθήνα, 1984.
2. Ε. ΑΡΑΝΟΒΙΤΣΧ, D. ΓΙΛΛΙΑΡΤ, "Recommendations for Performance and Durability Tests of Solar Collectors and Water Heating Systems", C.E.C. EUR 1106 EN, May 1989.
3. Β. ΜΠΕΛΕΣΙΩΤΗΣ, κ.α. "Θερμοϋδραυλική Προσομοίωση Θερμοσιφωνικού Συστήματος Κλειστού Κυκλώματος σε Συνθήκες Ψευδομόνιμης Κατάστασης", Πρακτικά Γ' του Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Ι.Η.Τ., σελ. 181-189, Θεσ/κη, 1988.
4. ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ 388.1+2, "Ηλιακή Ενέργεια-Θερμική Απόδοση Ηλιακών Συλλεκτών Υγρού - Μέθοδοι Δοκιμών", 1991.
5. ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ 879, "Ηλιακή ενέργεια - Οικιακά Ηλιακά Συστήματα Ζεστού Νερού - Διαδικασία Προσδιορισμού Απόδοσης Συστήματος και Πρόβλεψης Ετήσιας Ενεργειακής Απολαβής", 1991.
6. BIENFAIT D., A Simple Method for Performance Evaluation of Solar DHW Systems, Procs of First EC Conference on Soar Heating, Amsterdam (June 1984).