

ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ «COMBI» ΓΙΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ: ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

Αριστοτέλης Αηδόνης, Βασιλική Δρόσου, Μιχάλης Καράγιωργας,
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
19^ο χλμ. Λεωφ. Μαραθώνος, 190 09 Πικέρμι Αττικής
τηλ. 210 6603284, fax. 210 6603301, e-mail: aidonis@cres.gr, drosou@cres.gr, mkara@cres.gr

Στο παρόν άρθρο γίνεται αφενός μια γενική παρουσίαση και αφ' ετέρου μια παραμετρική μελέτη των ηλιακών συστημάτων combi (συνδυασμένης θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων) για τα Ελληνικά κλιματολογικά και κατασκευαστικά δεδομένα. Προσομοιώνονται συστήματα combi 20 m² για μια κατοικία 140 m². Αναλύεται η απόδοση των συστημάτων combi σε ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών (από αυτές της Σάμου μέχρι και των Ιωαννίνων), θερμικών αναγκών (από το κτίριο με ιδιαίτερα ενισχυμένη μόνωση μέχρι και αυτό με ελλιπή μόνωση) και τρόπων λειτουργίας του δικτύου θέρμανσης. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά όσον αφορά το τεχνικό και ενεργειακό επίπεδο: η κάλυψη των αναγκών της θέρμανσης χώρων συχνά ξεπερνά το 35% ενώ αυτή του ζεστού νερού χρήσης το 90%. Από τις προσομοιώσεις που έγιναν προκύπτει ότι η εξοικονόμηση ενέργειας από το ηλιακό σύστημα είναι της τάξης των 400-500kWh ανά m² συλλεκτικής επιφάνειας. Επίσης, τεκμηριώνεται το προβάδισμα της θέρμανσης με χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής (70/40 °C). Τέλος, διαφαίνεται ότι τα συστήματα combi μπορούν, με την αρωγή της πολιτείας, να αποκτήσουν οικονομικό ενδιαφέρον με χρόνους αποπληρωμής πολύ μικρότερους της διάρκειας ζωής τους. Συμπερασματικά, αναδεικνύεται ότι η ανάπτυξη των συστημάτων combi (που παρατηρείται ήδη σε κεντρο-ευρωπαϊκές χώρες) είναι, για την Ελλάδα, όχι μόνον εφικτή αλλά και απαραίτητη.

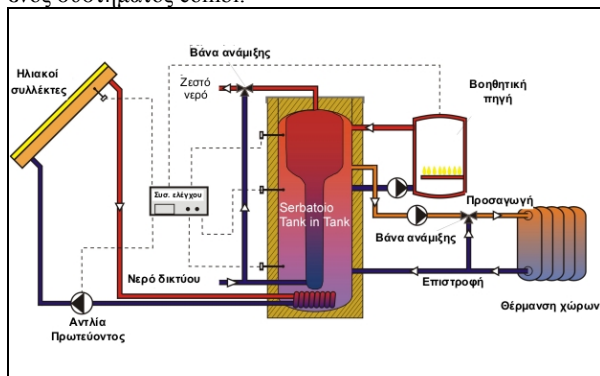
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας και περιορισμό των εκπομπών CO₂ είναι πλέον γνωστή σε όλους. Για να επιτευχθεί όμως ένας τέτοιος στόχος χρειάζεται, μεταξύ άλλων, την επέκταση των εφαρμογών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε νέους τομείς. Σκοπός του άρθρου είναι να δείξει μια τέτοια νέα δυνατότητα: την εφαρμογή των θερμικών ηλιακών συστημάτων στην θέρμανση χώρων που αποτελεί έναν από τους πιο ενεργοβόρους τομείς στη χώρα μας⁽¹⁾.

Τα ηλιακά συστήματα που υποβοηθούν τη θέρμανση χώρων (για τα οποία έχει επικρατήσει ο όρος “solar combi-systems” ή απλά “combi”), παρότι δεν είναι ακόμη ιδιαίτερα γνωστά στη χώρα μας, αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Αυστρία και η Γερμανία.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - Η ΑΓΟΡΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ COMBI ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Η εικόνα 1 αποτελεί ένα ενδεικτικό σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος combi.

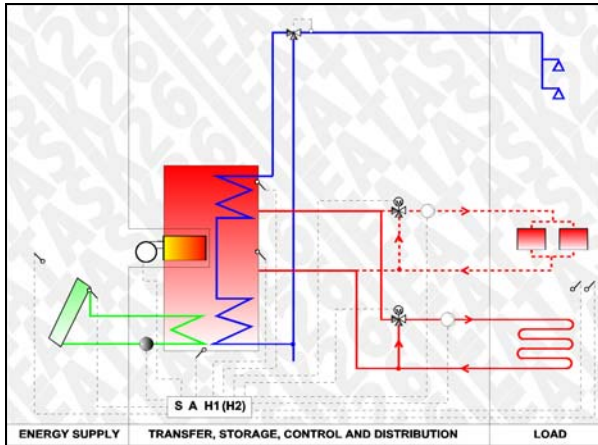


Εικ. 1: Ενδεικτικό σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος combi (πηγή: ITW).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, τα γενικά χαρακτηριστικά του είναι τα ίδια με αυτά ενός κοινού κεντρικού ηλιακού συστήματος. Στην συγκεκριμένη διάταξη, χρησιμοποιούνται δύο δοχεία αποθήκευσης: αυτό του ζεστού νερού χρήσης είναι εμβαπτισμένο στο μεγαλύτερο δοχείο (στο οποίο κυκλοφορεί το ίδιο υγρό –νερό- με αυτό του δικτύου θέρμανσης, δηλ. των καλοριφέρ).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα συστήματα combi γνωρίζουν αξιόλογη εξάπλωση σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες. Συγκεκριμένα, το 2001 η συνολική επιφάνεια συλλεκτών που αφορούσε ηλιακά συστήματα combi σε οκτώ Ευρωπαϊκές χώρες⁽²⁾ (Γερμανία, Αυστρία, Γαλλία, Ολλανδία, Ελβετία, Σουηδία, Δανία και Νορβηγία) ήταν ίση με 340.000 m². Αν θεωρήσουμε την μέση επιφάνεια συλλεκτών ανά σύστημα ίση με 15 m², προκύπτει ότι ήδη από το 2001 υπήρχαν περίπου 22.600 εγκατεστημένα συστήματα combi στις χώρες που αναφέρθηκαν.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, παράλληλα με την επέκταση της αγοράς, υπήρξε και δραστηριοποίηση της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (International Energy Agency -IEA) στον τομέα του Solar Heating & Cooling Programme στον οποίο δυστυχώς η χώρα μας δεν μετέχει. Στο πρόγραμμα που εκπονήθηκε (Task 26 –Solar Combisystems), έλαβαν μέρος 26 ειδικοί από 9 Ευρωπαϊκές χώρες και από τις ΗΠΑ, καθώς και 11 εταιρίες κατασκευής ηλιακών συστημάτων. Μεταξύ άλλων, έγινε ταξινόμηση, παρουσίαση και προσομοίωση των διαθέσιμων συστημάτων combi. Στο Task 26 (για το οποίο είναι διαθέσιμο αρκετά αξιόλογο υλικό από το site www.iea-shc.org) αναδείχθηκε ότι υπάρχουν 10 βασικές τυπολογίες συστημάτων που παρουσιάζουν αρκετές διαφορές μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ορισμένα από τα συστήματα δεν διαθέτουν δοχείο αποθήκευσης για τη θέρμανση χώρων (αλλά χρησιμοποιούν το ίδιο το κτίριο ως «δοχείο»)· άλλα, όπως αυτό της εικόνας 2, παρουσιάζουν την ιδιαιτερότητα του ενσωματωμένου καυστήρα στο δοχείο αποθήκευσης.



Εικ. 2: Σύστημα combi με ενσωματωμένο καυστήρα στο δοχείο αποθήκευσης (πηγή: IEA –task 26).

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό ορισμένων Ευρωπαϊκών συστημάτων combi είναι ότι χρησιμοποιούν ηλιακές στέγες σε αυτή την περίπτωση δηλαδή το συλλεκτικό πεδίο αποτελεί και την στέγη του κτιρίου. Στην εικόνα 3, παρατηρούμε ένα τέτοιο σύστημα στο Gneis-Moos της Αυστρίας. Το γεγονός ότι το συγκεκριμένο σύστημα καλύπτει το 40% των συνολικών αναγκών για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης αποτελεί μια καλή ένδειξη για τις δυνατότητες που έχουν τα συστήματα combi. Δεδομένου μάλιστα ότι το σύστημα έχει μετρηθεί αναλυτικά και ότι για την θέρμανση χώρων χρησιμοποιούνται κοινά σώματα καλοριφέρ, ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται σε επόμενη παράγραφο του άρθρου.



Εικ.3. Ηλιακή στέγη σε Αυστριακό σύστημα combi (πηγή: GSWB)

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Η απόδοση των συστημάτων combi εξετάστηκε σε διάφορες ελληνικές κλιματικές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, έγιναν προσομοιώσεις για τις πόλεις της Σάμου, της Αθήνας και των Ιωαννίνων που ανήκουν στις **κλιματικές ζώνες Α', Β' και Γ' αντίστοιχα**^α. Για κάθε πόλη, εξετάστηκε ένα φάσμα θερμικών αναγκών (**από το κτίριο με ισχυρή μόνωση μέχρι και αυτό με ελλιπή μόνωση**). Τέλος, για καθεμιά από τις παραπάνω περιπτώσεις εξετάστηκαν **διαφορετικοί τρόποι**

^α Οι κλιματικές ζώνες ορίζονται κατά ΚΟΧΕΕ⁽³⁾

λειτουργίας του δικτύου θέρμανσης. Μετά από μια περιγραφή της μεθοδολογίας και του λογισμικού προσομοίωσης παρουσιάζονται τα κυριότερα αποτελέσματα .

3.1 Μεθοδολογία

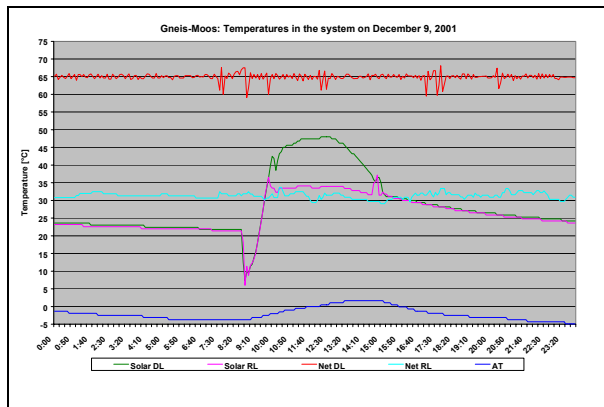
Προσομοιώθηκε κατοικία επιφάνειας 140 m² στην οποία κατοικούν 4 άτομα. Η κατοικία που επιλέχθηκε θα μπορούσε να είναι ένα διαμέρισμα σε μια πολυκατοικία ή μια μονοκατοικία. Οι τρεις χαρακτηριστικές τιμές του ειδικού θερμικού φορτίου χώρου (kWh/m²) που εξετάστηκαν, ανταποκρίνονται σε χαρακτηριστικές τιμές τριών ενεργειακών κατηγοριών (Β, Γ και Δ) κτιρίων μεσαίου μεγέθους (π.χ. σε μια τριώροφη πολυκατοικία με δύο διαμερίσματα ανά όροφο). Για να γίνει σαφέστερη αυτή η επιλογή, στην παρακάτω λίστα παρουσιάζονται οι τιμές του ειδικού θερμικού φορτίου για την περίπτωση της Αθήνας και σχολιάζεται αυτό που η κάθε τιμή αντιπροσωπεύει στην πράξη:

- Κτίριο με ετήσιες ανάγκες θέρμανσης 45 kWh/m² : κατατάσσεται ενεργειακά -κατά ΚΟΧΕΕ⁽³⁾- στην κατηγορία ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης «Β». Στην πράξη πρόκειται για ένα ιδιαίτερα καλά μονωμένο κτίριο.
- Κτίριο με ετήσιες ανάγκες θέρμανσης 50 kWh/m² : κατατάσσεται στην κατηγορία ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης «Γ». Στην πράξη πρόκειται για κτίριο στο οποίο έχει γίνει προσεκτική εφαρμογή του «ΓΟΚ». Πάντως, η κατηγορία «Γ» είναι η τελευταία εντός των αποδεκτών ορίων κατά «ΚΟΧΕΕ».
- Κτίριο με ετήσιες ανάγκες θέρμανσης 70 kWh/m²: κατατάσσεται στην κατηγορία ενεργειακών απαιτήσεων θέρμανσης «Δ». Στην πράξη πρόκειται για κτίριο το οποίο δεν είναι καλά μονωμένο (σε αυτή την κατηγορία ανήκουν συνήθως κτίρια στα οποία έχει γίνει εσφαλμένη προσπάθεια εφαρμογής του «ΓΟΚ»). Η κατηγορία «Δ» είναι εκτός των ορίων του «ΚΟΧΕΕ».

Όσον αφορά στο δίκτυο θέρμανσης, επιλέχθηκαν δύο διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας του πιο διαδεδομένου συστήματος θέρμανσης, δηλ. του υδραυλικού δικτύου των κλασικών θερμαντικών σωμάτων (καλοριφέρ). Οι δυο αυτοί τρόποι, οι οποίοι διαφέρουν ως προς τις θερμοκρασίες προσαγωγής και επιστροφής, έχουν τα εξής χαρακτηριστικά.

- **Πρώτος τρόπος:** λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλό ΔΤ. Επιλέχθηκαν οι ακόλουθες τιμές: 85° C προσαγωγή και 70° C επιστροφή. Στην πράξη πρόκειται για συνήθεις θερμοκρασίες σε παλιά δίκτυα θέρμανσης ή σε νεώτερα με μονοσωλήνιο σύστημα. Χαρακτηρίζονται από υψηλές ροές στα θερμαντικά σώματα.
- **Δεύτερος τρόπος:** λειτουργία που επιτρέπει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής και υψηλό ΔΤ. Επιλέχθηκαν οι ακόλουθες τιμές: 70° C προσαγωγή και 40° C επιστροφή. Στην πράξη, δεν εφαρμόζεται συχνά αυτός ο τρόπος λειτουργίας στην Ελλάδα μια και στο συμβατικό σύστημα θέρμανσης η χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής δεν είναι πλεονέκτημα (μπορεί να είναι μάλιστα και μειονέκτημα για τον καυστήρα). Είναι όμως ένας εφικτός τρόπος λειτουργίας αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένα εξισορροπημένο κύκλωμα σωμάτων θέρμανσης με παράλληλη σύνδεση και χαμηλές ροές. Μια τέτοια συνδεσμολογία είναι συμβατή με την τοποθέτηση θερμορυθμιστικών βαλβίδων οι οποίες μπορούν να εξασφαλίσουν αρκετή θερμική αυτονομία στο κάθε δωμάτιο της κατοικίας. Όσον αφορά τη θερμοκρασία επιστροφής (40°) που μπορεί να φανεί εκ πρώτης όψεως χαμηλή στους ειδικούς του κλάδου, ας σημειωθεί ότι σε παρόμοια συστήματα (με κλασικά σώματα θέρμανσης)

στην Αυστρία έχουν επιτευχθεί και ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση του ηλιακού συστήματος στο Gneis-Moos (Αυστρία). Το διάγραμμα της εικόνας 4, προέκυψε από μετρήσεις που έγιναν την 9^η Δεκεμβρίου 2001. Αξίζει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία παραγωγής (Net DL) είναι πρακτικά ίση με 65° ενώ εκείνη της επιστροφής (Net RL) κυμαίνεται μεταξύ 29 και 33° C.



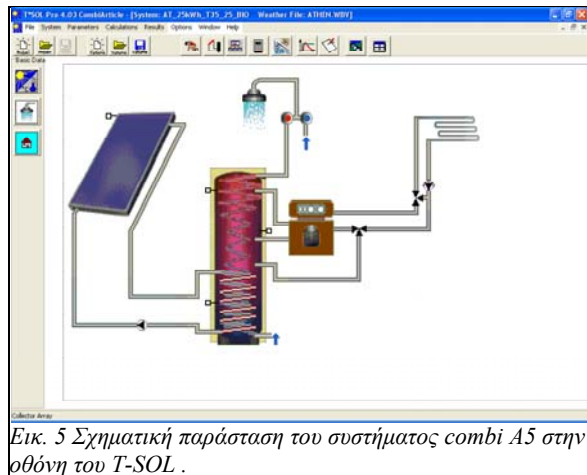
Εικ. 4. Θερμοκρασίες δικτύων στο ηλιακά υποβοηθούμενο σύστημα θέρμανσης του Gneis-Moos⁽²⁾ (Αυστρία).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ Solar DL: παραγωγή ηλιακών προς δοχείο αποθήκευσης, Solar RL: επιστροφή ηλιακών Net DL: παραγωγή δικτύου προς κατοικίες, Net RL: επιστροφή δικτύου AT: Θερμοκρασία περιβάλλοντος.

3.2 Προσομοίωση με TSOL

Για τις προσομοιώσεις επιλέχθηκε το πρόγραμμα TSOL⁽⁴⁾. Η επιλογή του συγκεκριμένου προγράμματος έγινε με βάση το εξής κριτήριο: **τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων και φιλικότητας προς τον χρήστη**. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο λεπτομερή και περίπλοκα λογισμικά (π.χ. TRNSYS). Με τον τρόπο αυτό γίνεται φανερό ότι υπάρχουν προσιτά εργαλεία για την προσομοίωση αλλά και για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων combi.

Η εικόνα 5, δείχνει τη σχηματική παράσταση (έτσι όπως παρουσιάζεται στην οθόνη του υπολογιστή) της τυπολογίας του συστήματος combi που επιλέχθηκε από την «βιβλιοθήκη» του T-SOL. Ο κωδικός του είναι «A5» και η κύρια ιδιαιτερότητά του σε σχέση με τις άλλες διαθέσιμες τυπολογίες είναι ότι διαθέτει ένα και μόνο δοχείο αποθήκευσης στο οποίο το ζεστό νερό χρήσης θερμαίνεται καθώς περνάει μέσα από σπειροειδή εναλλάκτη εμβαπτισμένο στο πάνω μέρος του δοχείου.



Εικ. 5 Σχηματική παράσταση του συστήματος combi A5 στην οθόνη του T-SOL.

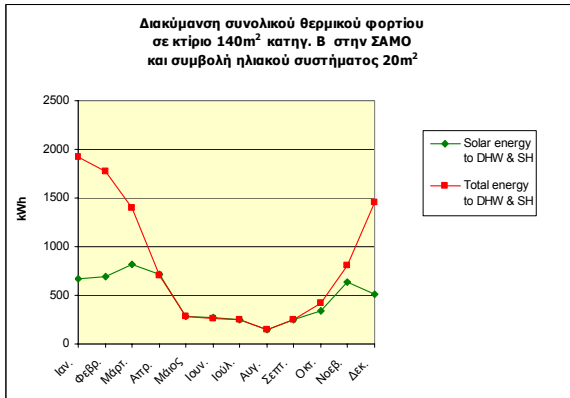
Στη συνέχεια παρατίθενται οι κυριότερες τιμές των παραμέτρων και οι αποδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις με το πρόγραμμα T-SOL:

- Τύπος συλλέκτη: επίπεδος με επιλεκτικό απορροφητή.
- Καμπύλη απόδοσης:

$$\eta = 0.78 - 3.8 * (T_m - T_a)/G - 0.03 * (T_m - T_a)^2/G$$
, όπου
 - η = στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη (%)
 - T_m = μέση θερμοκρασία απορροφητή [° C]
 - T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος [° C] και
 - G = προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία [W/m²] στο επίπεδο των συλλεκτών. Οι αριθμητικοί συντελεστές έχουν τις κατάλληλες μονάδες ώστε ο κάθε όρος της εξίσωσης να είναι αδιάστατος.
- Επιφάνεια συλλεκτών: 20 m².
- Κλίση συλλεκτών ως προς το οριζόντιο επίπεδο: 55°.
- Προσανατολισμός: νότιος (αζιμουθίο ίσο με 0°).
- Ποσοστό γλυκόλης στο πρωτεύον κύκλωμα: 30%.
- Δοχείο αποθήκευσης: 2 m³.
- Μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης 160 λίτρα (ίση με 40 λίτρα ανά άτομο).
- Θερμοκρασία νερού δικτύου: 10° C τον Φεβρουάριο και 25° C τον Αύγουστο.
- Μηνιαίο προφίλ κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης: για όλους τους μήνες η κατανάλωση είναι ίδια εκτός από τον Αύγουστο όπου θεωρήθηκε μείωση κατά 70% (λόγω διακοπών).
- Επιθυμητή θερμοκρασία χώρου: 20° C.
- Περίοδος θέρμανσης: από 15 Οκτωβρίου ως τέλος Απριλίου.

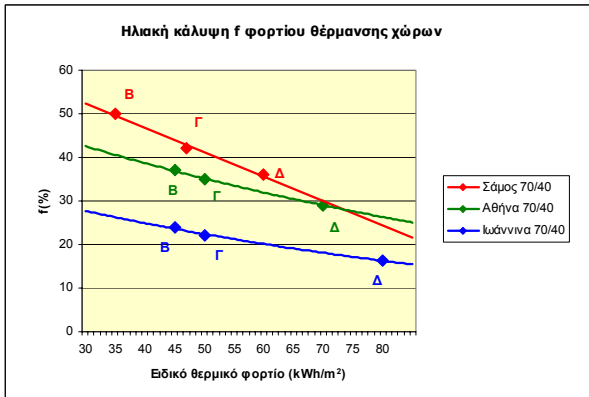
3.2 Ενεργειακά Αποτελέσματα και Σχόλια

Στην εικόνα 6, φαίνονται οι μηνιαίες τιμές του συνολικού θερμικού φορτίου καθώς και της ωφέλιμης ενέργειας του ηλιακού συστήματος (σε kWh). Τα αποτελέσματα προκύπτουν από προσομοίωση που έγινε για την κατοικία των 140m² σε κτίριο κατηγορίας B (ακολουθώντας τον δεύτερο τρόπο θέρμανσης με 70/40° C) στην Σάμο και επιφάνεια συλλεκτών του ηλιακού συστήματος ίση με 20 m².



Εικ.6 Διακύμανση συνολικού θερμικού φορτίου σε κατοικία 140m² κατηγορίας Β στην Σάμο και συμβολή ηλιακού συστήματος 20m².

Στην εικόνα 7, παρουσιάζεται η κάλυψη «f» του φορτίου θέρμανσης από το ηλιακό σύστημα σαν συνάρτηση του ειδικού θερμικού φορτίου του χώρου· παρουσιάζονται δε οι τιμές και για τις τρεις πόλεις που εξετάστηκαν.



Εικ.7 Αποτελέσματα ηλιακής κάλυψης (f) φορτίου θέρμανσης χώρων, για τις κατηγορίες κτιρίων και τις πόλεις που εξετάστηκαν.

Στην εικόνα 7 γίνεται φανερό ότι (όπως ήταν αναμενόμενο) το ποσοστό κάλυψης του φορτίου θέρμανσης χώρων από το ηλιακό σύστημα είναι τόσο μεγαλύτερο όσο πιο ευνοϊκή είναι η κλιματική ζώνη. Πέρα από αυτήν τη διαπίστωση, το διάγραμμα της εικόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για την πρόβλεψη της ηλιακής κάλυψης (από ένα ηλιακό σύστημα 20 m² με τα χαρακτηριστικά που περιγράφηκαν) σε ευρύ φάσμα περιοχών της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, για ένα άλλο νησί του κεντρικού Αιγαίου αναμένεται παρόμοια καμπύλη με αυτή της Σάμου, μια πόλη σαν την Πάτρα δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την Αθήνα και τέλος η απόδοση του ηλιακού συστήματος στη Θεσσαλονίκη δεν θα διαφέρει πολύ από αυτήν των Ιωαννίνων.

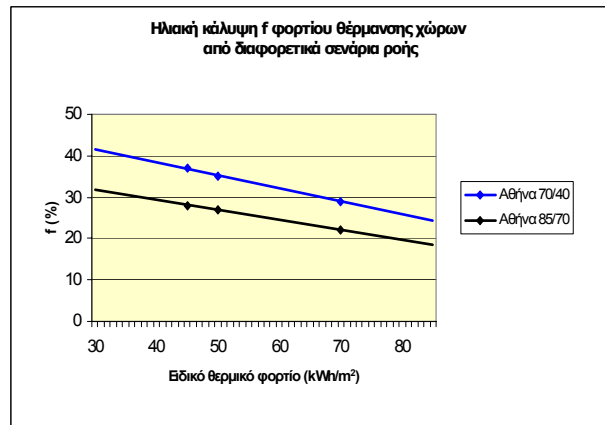
Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι **το παραπάνω διάγραμμα αφορά στην κάλυψη της θέρμανσης χώρων και μόνο**. Η κάλυψη του φορτίου για ζεστό νερό χρήσης είναι πολύ υψηλή σε όλα τα συστήματα combi· ειδικά δε για όσα εξετάστηκαν στο άρθρο, η τιμή αυτή κυμαίνεται γύρω στο 90%. Όσον αφορά στην ολική κάλυψη «f_{TOT}» του φορτίου οι μέσες τιμές (των συνδυασμών κτιρίων και τρόπων θέρμανσης) που εξετάστηκαν είναι:

- Σάμος: f_{TOT} = 56%

- Αθήνα: f_{TOT} = 48%
- Ιωάννινα: f_{TOT} = 37%

Το μέσο αποτέλεσμα για τα Ιωάννινα (f_{TOT} = 37%), είναι παραπλήσιο με τις τιμές που παρουσιάζονται στο άρθρο Argiriou et al.⁽¹⁾ για παρόμοιες εγκαταστάσεις combi κοντά στην Κομοτηνή· η εγγύτητα των αποτελεσμάτων είναι αναμενόμενη δεδομένου ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες για τις δυο περιοχές (Ιωαννίνων και Κομοτηνής) είναι παρόμοιες.

Στη συνέχεια εξετάζεται η επίδραση του τρόπου λειτουργίας του δικτύου θέρμανσης στην απόδοση του ηλιακού συστήματος. Η εικόνα 8 παρουσιάζει μόνο την περίπτωση της Αθήνας αλλά τα συγκριτικά αποτελέσματα είναι παρόμοια και για άλλες μετεωρολογικές συνθήκες.



Εικ. 8. Συγκριτικά αποτελέσματα ηλιακής κάλυψης (f) σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας της θέρμανσης.

Στην εικόνα 8, παρατηρείται με ευκρίνεια το προβάδισμα του συστήματος με υψηλό ΔT και χαμηλή θερμοκρασία επιστροφής (70/40° C). Πράγματι, όπως έχει διαπιστωθεί γενικά⁽⁴⁾, και όπως επιβεβαιώθηκε από τις προσομοιώσεις της παρούσας εργασίας, η κρίσιμη παράμετρος στο θέμα της ηλιακής υποβοήθησης της θέρμανσης είναι η θερμοκρασία επιστροφής του δικτύου (θέρμανσης).

4. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ - ΚΡΙΣΙΜΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ⁽⁵⁾

4.1 Διαστασιολόγηση

Η συλλεκτική επιφάνεια: η πρωταρχική επιλογή στην διαστασιολόγηση ενός συστήματος combi αφορά στο μέγεθος της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών. Για την επιλογή αυτή δεν υπάρχουν γενικοί κανόνες μια και εξαρτάται από τις προτεραιότητες του χρήστη (π.χ. από το αν θεωρεί πιο σπουδαία την ενεργειακή αυτονομία του σπιτιού και άρα το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας, την οικονομικότητα του συστήματος κλπ). Η εμπειρία στον τομέα έχει δείξει πως μια «λογική» αντιμετώπιση του θέματος (για τις συνθήκες της κεντρικής και νότιας Ευρώπης) καταλήγει σε **συλλεκτική επιφάνεια που συνήθως δεν ξεπερνά το 20 με 25% της κατοικήσιμης επιφάνειας**. Μεγαλύτερη επιφάνεια συλλεκτών αυξάνει την μη εκμεταλλεύσιμη ηλιακή ενέργεια στην περίοδο που δεν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης και συνεπώς επιβαρύνει τα οικονομικά μεγέθη του συστήματος.

Στο παρόν άρθρο επιλέχθηκε μια τιμή συλλεκτικής επιφάνειας κοντά στο 15% των τετραγωνικών μέτρων της

κατοικίας. Η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία αλλά έγινε κυρίως με βάση το εξής κριτήριο: αυτή η τιμή επιτρέπει, εν γένει, να εγκατασταθεί ένα ηλιακό σύστημα combi μέχρι και σε τριώροφη πολυκατοικία.

Γενικά πάντως, υπάρχουν λύσεις και για περιοχές με ψηλότερα κτίρια. Ένα παράδειγμα είναι να εγκατασταθούν οι συλλέκτες και σε άλλους χώρους εκτός του δώματος, όπως π.χ. να αποτελέσουν στέγαστρο για ένα parking. Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα λύση που ήδη διαδίδεται στην Αυστρία είναι οι «συλλέκτες όψης κτιρίου» (façade collectors) όπως αυτοί που φαίνονται στην εικόνα 9.



Εικ. 9: Συλλέκτες τοποθετημένοι στη (νότια) όψη κτιρίου στην Αυστρία (πηγή: DOMA)

Προσανατολισμός των συλλεκτών: οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι, για το σύστημα που εξετάσαμε, η βέλτιστη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο είναι περίπου 55° για όλες τις υπο-περιπτώσεις. Παρ' όλα, αυτά αποκλίσεις της τάξης των $\pm 10^\circ$ δεν έχουν παρά μικρή επίδραση στην απόδοση του συστήματος (λιγότερο από 5%). Όμοια μικρή είναι και η επίδραση της απόκλισης από νότιο προσανατολισμό κατά $\pm 25^\circ$.

Δοχείο αποθήκευσης: το συνηθισμένο εύρος για τον όγκο του δοχείου είναι περίπου $50\text{-}100 \text{ lt/m}^2$ (λίτρα ανά m^2 συλλέκτη). Δοχεία με περισσότερα από 150 lt/m^2 (όπως και με λιγότερα από 50 lt/m^2) μπορεί να μειώσουν την απόδοση του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί εδώ η ιδιαίτερη σημασία του φαινομένου της στρωμάτωσης στο αποθηκευτικό δοχείο. Η θερμοκρασιακή στρωμάτωση εξασφαλίζει από τη μια τη λειτουργία των συλλεκτών σε όσο το δυνατόν χαμηλότερες θερμοκρασίες και από την άλλη την επίτευξη ψηλών θερμοκρασιακών επιπέδων στα ψηλότερα μέρη του δοχείου ώστε να περιορίζεται η λειτουργία του συμβατικού συστήματος θέρμανσης. Στην Ευρωπαϊκή αγορά υπάρχουν ειδικές διατάξεις στρωμάτωσης σε ορισμένα δοχεία αποθήκευσης. Παρ' όλα αυτά, ικανοποιητικά αποτελέσματα στρωμάτωσης μπορούν να επιτευχθούν απλά και μόνο εφαρμόζοντας την αρχή της χαμηλής ροής στα κυκλώματα (και ιδιαίτερα σε αυτό των συλλεκτών) καθώς και τις γενικές αρχές συνδεσμολογίας (όπως π.χ. την τοποθέτηση του εναλλάκτη των συλλεκτών στο χαμηλότερο τμήμα του δοχείου ενώ του συμβατικού συστήματος στο ψηλότερο).

4.2 Κρίσιμα Τεχνικά Θέματα

Δύο είναι τα σημαντικότερα τεχνικά σημεία για την εξασφάλιση της καλής λειτουργίας των κεντρικών ηλιακών συστημάτων και ιδιαίτερα των combi: η προστασία από τον παγετό και η αντιμετώπιση της στασιμότητας (stagnation).

Η προστασία από τον παγετό

Για την προστασία του κυκλώματος των συλλεκτών (πρωτεύοντος) από τον παγετό, είναι αναγκαίο αυτό να πληρωθεί με διάλυμα νερού και προπυλενικής γλυκόλης.

Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της γλυκόλης στο διάλυμα καθορίζεται κατ' αρχήν η ελάχιστη θερμοκρασία προστασίας από τον παρακάτω τύπο:

$$T_{\text{προστασίας}} = T_{\text{ΦΕΚ}} - \Delta T_{\text{ασφαλείας}}$$

όπου $T_{\text{ΦΕΚ}}$ είναι η «ελάχιστη» θερμοκρασία του χειμώνα για την περιοχή στην οποία βρίσκεται το ηλιακό σύστημα κατά ΦΕΚ 362 Δ/79 (κανονισμός θερμομόνωσης που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων θέρμανσης) και το $\Delta T_{\text{ασφαλείας}}$ διευρύνει το όριο ασφαλείας μειώνοντας την ελάχιστη θερμοκρασία κατά 10 ακόμη βαθμούς (έτσι ώστε να μπορούν να αντιμετωπιστούν ακόμη και απρόβλεπτα ακραία φαινόμενα παγετού).

Αφού υπολογιστεί η $T_{\text{προστασίας}}$, μπορεί να προσδιοριστεί η απαιτούμενη συγκέντρωση γλυκόλης από τους πίνακες των κατασκευαστών γλυκόλης.

Συχνά προτείνεται ως εναλλακτική λύση η πλήρωση του πρωτεύοντος μόνο με νερό του δικτύου και ένας αυτοματισμός που να ενεργοποιεί την αντλία σε περίπτωση παγετού. Αυτή η εναλλακτική μέθοδος, που έχει εφαρμοστεί στο παρελθόν και στην Ελλάδα, δεν θεωρείται αξιόπιστη για τους παρακάτω λόγους:

- Υπάρχει αβεβαιότητα σε σχέση με την αποτελεσματικότητά της μεθόδου. Για να μειωθεί αυτή η αβεβαιότητα απαιτείται η ύπαρξη μιας δευτέρας αντλίας (για την περίπτωση βλάβης της πρώτης) η οποία μάλιστα πρέπει να είναι συνδεδεμένη με μια γεννήτρια τροφοδοσίας ώστε να αντιμετωπιστεί τυχόν διακοπή ρεύματος. Επίσης, απαιτείται η εγκατάσταση περισσότερων του ενός αισθητήρων θερμοκρασίας στο πεδίο των συλλεκτών για να αντιμετωπιστεί τυχόν βλάβη του αισθητήρα. Όμως, και πάλι, δεν εξασφαλίζεται 100% προστασία.
- Στην περίπτωση που η μέθοδος αποτύχει έστω και μία φορά, η βλάβη μπορεί να είναι πολύ εκτεταμένη (πολλαπλές θραύσεις σωλήνων στο πρωτεύον κύκλωμα των συλλεκτών).

Τέλος υπάρχει και μία ακόμη μέθοδος που είναι αυτή της χρήσης καθαρού νερού στο πρωτεύον το οποίο αδειάζει (και συγκεντρώνεται σε δοχείο) κάθε φορά που διακόπτεται η λειτουργία της αντλίας. Αυτή η μέθοδος (drain-back), είναι μεν αποτελεσματική, προϋποθέτει όμως μεγάλη εξειδίκευση του συνεργείου εγκατάστασης και παρουσιάζει (εκτός άλλων προβλημάτων) πρακτικές δυσκολίες στην τοποθέτηση των συλλεκτών (όσον αφορά την ακριβή τοποθέτηση του κάθε συλλέκτη ώστε να μπορεί να αδειάζει τελείως). Συνεπώς και αυτή η μέθοδος δεν προτείνεται.

Ένα **σημαντικό θέμα** που πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα είναι ότι **σε καμιά περίπτωση δεν θα πρέπει να υπάρχει στο πρωτεύον κύκλωμα του ηλιακού συστήματος αυτόματος πλήρωσης συνδεδεμένος με το νερό του δικτύου**. Κάτι τέτοιο μπορεί (για διάφορους λόγους όπως π.χ. για μια μικρή διαρροή) να επιφέρει την απώλεια της γλυκόλης και την πλήρωση του πρωτεύοντος με νερό χωρίς μάλιστα το φαινόμενο να γίνει αντιληπτό (αφού η πίεση θα παραμείνει σταθερή). Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για το σύστημα, δηλαδή να προκύψουν πολλαπλές θραύσεις των σωληνώσεων σε περίπτωση παγετού.

Μέτρα για την αντιμετώπιση της στασιμότητας (stagnation)

Το θέμα της διαστασιολόγησης του δοχείου διαστολής και της προστασίας του συστήματος από τη στασιμότητα^b είναι ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία για την καλή λειτουργία του ηλιακού συστήματος. Το φυσικό φαινόμενο, που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αν δεν αντιμετωπιστεί σωστά, είναι ότι στην φάση της στασιμότητας το υγρό των συλλεκτών ατμοποιείται με πιθανή συνέπεια να γεμίσει με ατμό όλο το κύκλωμα των σωληνώσεων του πεδίου των συλλεκτών.

Από τους τρόπους που χρησιμοποιούνται στην πράξη για την αντιμετώπιση του φαινομένου, ο ορθότερος για τα ηλιακά συστήματα combi με επιφάνεια συλλεκτών μέχρι και περίπου 200 m² είναι ο ακόλουθος: το δοχείο διαστολής διαστασιολογείται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να απορροφήσει όχι μόνο τις θερμικές διαστολές του αντιψυκτικού υγρού αλλά και ολόκληρο τον όγκο του υγρού που περιέχεται μέσα στους απορροφητές των συλλεκτών (διότι, όπως αναφέρθηκε, ο ατμός που δημιουργείται εκτοπίζει το υγρό από τους συλλέκτες).

Πρακτικά, για να προσδιοριστεί ο απαραίτητος όγκος του δοχείου διαστολής γίνονται οι παρακάτω υπολογισμοί:

Κατ' αρχήν υπολογίζεται ο όγκος διαστολής του υγρού ΔV από τον τύπο:

$$\Delta V = e \cdot V_{\Pi}$$

όπου e είναι ο συντελεστής διαστολής (που για μίγμα νερού-γλυκόλης θεωρείται ίσος με 0,07) και V_{Π} (V_{fluid}) ολόκληρος ο όγκος του υγρού στο πρωτεύον.

Ο «χρήσιμος» (useful) όγκος του δοχείου (V_u), για τους λόγους που εξηγήθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να περιλαμβάνει επιπλέον και ολόκληρο τον όγκο του υγρού που περιέχεται στους συλλέκτες. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση τον τύπο,

$$V_u = \Delta V + V_c$$

όπου V_c (Vcollector) είναι ολόκληρος ο όγκος που περιέχεται μέσα στους απορροφητές των συλλεκτών.

Τέλος, υπολογίζουμε τον απαιτούμενο «ονομαστικό» (nominal) όγκο του δοχείου διαστολής V_N από τον τύπο (που συνήθως αναγράφεται και στα φυλλάδια των δοχείων διαστολής),

$$V_N = V_u \cdot (P_F + 1) / (P_F - P_I)$$

όπου P_I (P Initial) είναι η αρχική πίεση πλήρωσης του πρωτεύοντος και P_F (P Final) η τελική (μέγιστη) πίεση που επιτρέπουμε στο πρωτεύον κύκλωμα. Αυτό που πρέπει να εξασφαλίζεται (πέρα από το θέμα της αντοχής των υλικών) κατά την επιλογή της P_F και των βαλβίδων ασφαλείας, είναι να έχουν οι τελευταίες ονομαστική πίεση (πίεση στην οποία ανοίγουν) κατά τι μεγαλύτερη της P_F (π.χ. $P_{\text{ασφαλείας}} = P_F + 0,5 \text{ bar}$).

Ένα πολύ σημαντικό θέμα που πρέπει να τονιστεί είναι ότι, όποια και αν είναι η μέθοδος που ακολουθείται, στο πρωτεύον κύκλωμα δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση να υπάρχουν συνδεδεμένα αυτόματα εξαεριστικά ή βάνες ασφαλείας που να ανοίγουν σε πίεση μικρότερη της P_F . Αν

^b Με τον όρο στασιμότητα (stagnation) εννοούμε την κατάσταση όπου, ενώ η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι αρκετή για να λειτουργήσει το ηλιακό σύστημα, το υγρό δεν κυκλοφορεί στο κύκλωμα των συλλεκτών (λόγω βλάβης, διακοπής ρεύματος, έλλειψης κατανάλωσης κλπ) με συνέπεια να αυξάνεται ιδιαίτερα η θερμοκρασία του και, τελικά, να ατμοποιείται. Η θερμοκρασία του απορροφητή σε επίπεδους επιλεκτικούς συλλέκτες μπορεί να φτάσει τους 200° C σε συνθήκες στασιμότητας με δυνατή ακτινοβολία (800 W/m² και πάνω).

κάτι τέτοιο συμβεί, τότε στις συνθήκες στασιμότητας θα υπάρξει διαρροή αντιψυκτικού μίγματος.

5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΆΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Υποθέτοντας ότι η αγορά των συστημάτων combi θα αναπτυχθεί στην Ελλάδα, θεωρήθηκε εφικτό να υπολογίσουμε την τιμή του (συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης και όλων των άλλων εξόδων) ίση περίπου με 300 € ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας. Από την άλλη, για την περίπτωση της Αθήνας (λαμβάνοντας υπ' όψη τη θέρμανση κλασικών θερμαντικών σωμάτων με θερμοκρασίες προσαγωγής και επιστροφής 70 και 40° C αντίστοιχα) η εξοικονόμηση συμβατικής ενέργειας είναι περίπου 470 kWh/m² ανά έτος. Θεωρήθηκε επίσης ότι τα συστήματα combi, όντας πρωτοποριακά, θα τύχουν ισχυρής υποστήριξης από την πολιτεία. Πιο συγκεκριμένα, θεωρήσαμε ότι μπορεί να εφαρμοστεί επιδότηση της τάξης του 40%. Με αυτά τα δεδομένα, και αν θεωρήσουμε σαν συμβατικό καύσιμο το πετρέλαιο θέρμανσης με κόστος 0,042 €/kWh, τότε ο απλός χρόνος αποπληρωμής που προκύπτει είναι ίσος με περίπου 9 χρόνια. Είναι λοιπόν προφανές ότι με τις παραπάνω ευνοϊκές συνθήκες τα συστήματα combi παρουσιάζουν και οικονομικό ενδιαφέρον, δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής τους είναι πάνω από 20 χρόνια.

Από την άλλη, γίνεται σαφές ότι για να είναι οικονομικά ελκυστικά τα συστήματα αυτά στους απλούς χρήστες των κατοικιών θα πρέπει η πολιτεία να στηρίξει οικονομικά την προώθησή τους με γενναίες επιχορηγήσεις.

Αξίζει πάντως να σημειωθεί εδώ ότι η το οικονομικό όφελος είναι μόνο μια παράμετρος και μάλιστα όχι πάντα η κρισιμότερη στην διάδοση μιας νέας τεχνολογίας. Μεταξύ άλλων παραμέτρων για τον συγκεκριμένο τομέα συγκαταλέγονται οι εξής: το έμπρακτο ενδιαφέρον των πολιτών για την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, η απόκτηση μεγαλύτερης ενεργειακής αυτονομίας και ασφάλειας, η ευχάριστη αίσθηση του ενδιαφερόμενου ότι εκτός από χρήστης γίνεται και παραγωγός ενέργειας κ.ά. Είναι προφανές ότι τέτοιες παράμετροι έπαιξαν σπουδαίο λόγο στην πολύ μεγάλη διάδοση των ηλιακών συστημάτων στην Αυστρία όπου το ποσοστό των combi στο σύνολο των ηλιακών συστημάτων είναι περίπου 40%.

Στη χώρα μας, το πλήθος των εγκατεστημένων θερμοσιφωνικών συστημάτων (που παράγουν αποκλειστικά ζεστό νερό χρήσης και αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία του συνόλου των ηλιακών συστημάτων) είναι της τάξης του ενός εκατομμυρίου. Αν υποθέσουμε ότι στο εύρος μιας εικοσαετίας (στην οποία τα συστήματα αυτά θα έχουν στην πλειονότητά τους αντικατασταθεί), η διείσδυση των combi θα είναι ανάλογη με αυτή της Αυστρίας (40%), το αποτέλεσμα θα είναι έξι (6) εκατομμύρια συλλέκτες μόνο για τα ελληνικά συστήματα combi.

Κάτι τέτοιο μοιάζει ασύλληπτο, είναι όμως ένα υπάρχον δυναμικό αν μάλιστα σκεφτεί κανείς τη ραγδαία εξέλιξη των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού. Στο (μάλλον ρεαλιστικό) σενάριο της διείσδυσης στην αγορά συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, ο όρος combi αυτόματα θα περικλείει τον κλιματισμό των χώρων· είναι δε προφανές ότι σε μια τέτοια περίπτωση η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι θα βελτιώσει άρδην τις οικονομικές παραμέτρους των συστημάτων combi.

6. ΣΧΟΛΙΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η κατηγορία των ηλιακών συστημάτων combi που συνεισφέρουν στην παραγωγή όχι μόνο ζεστού νερού χρήσης αλλά και στην θέρμανση χώρων.

Δόθηκε έμφαση σε δύο βασικά σημεία:

- Τα συστήματα combi είναι ήδη διαδεδομένα στην Ευρώπη και διατίθενται σε ευρύ φάσμα τυπολογιών.
- Οι προσομοιώσεις για τον Ελληνικό χώρο έδειξαν ότι τα συστήματα combi μπορούν να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, δίνοντας αξιόλογα ενεργειακά αποτελέσματα και καλύψεις του συνολικού θερμικού φορτίου που φτάνουν το 40 με 50%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ενεργειακά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν βασίζονται σε ρεαλιστικές και μάλλον συντηρητικές υποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένης της μικρής (προς το παρόν) διάδοσής τους, δεν εξετάστηκαν οι παρακάτω ευνοϊκές παράμετροι/ συνθήκες:

- Δεν έχει ληφθεί υπ' όψη το γεγονός της ενεργής συμμετοχής του χρήστη στην εξοικονόμηση καυσίμου (μετατοπίζοντας, όσο είναι δυνατό, το φορτίο του ζεστού νερού στις ημέρες ηλιοφάνειας).
- Δεν έχει ληφθεί υπ' όψη η δυνατότητα σύνδεσης των πλυντηρίων ρούχων και πιάτων στο δίκτυο ζεστού νερού· κάτι τέτοιο όχι μόνο θα μεγάλωνε την απόδοση του ηλιακού συστήματος αλλά θα εξοικονομούσε ενέργεια τριπλάσιου κόστους (ηλεκτρική).
- Δεν εξετάστηκε η περίπτωση των βιοκλιματικών κτιρίων ούτε της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Ενδεικτικά αναφέρεται πως στην περίπτωση ενός βιοκλιματικού κτιρίου με ενδοδαπέδια θέρμανση στην Αθήνα η κάλυψη των συνολικών θερμικών αναγκών (από ένα ηλιακό σύστημα σαν αυτό που εξετάστηκε στο άρθρο) ξεπερνά το 75%.
- Οι θερμοκρασιακές τιμές του δικτύου θέρμανσης (70/40) είναι συντηρητικές αφού στη Αυστρία εφαρμόστηκαν στην πράξη μικρότερες (65/33) και μάλιστα σε δυσμενείς συνθήκες (μέση εξωτερική θερμοκρασία κάτω από 0° C).

Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι οι προοπτικές εξέλιξης των συστημάτων combi στη χώρα μας (σε συνδυασμό με την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια) είναι υπαρκτές και αξιόλογες.

7. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Argiriou et al.: “Active solar space heating of residential buildings in northern Hellas- a case study”, Energy and Buildings, 1996.

[2] Weiss, W.: “Solar Heating Systems - Status and Recent Technology Developments”, ISES Solar World Congress, Goeteborg, Sweden, 2003.

[3]ΚΑΠΕ, «Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης & Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ)», Νομοτεχνικό Σχέδιο, 2003.

[4] T*SOL Pro 4.03, “Simulation Programme for Solar Thermal Heating Systems”, Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH, www.valentin.de, Copyright 1993- 2002.

[5] Weiss, W. (Editor): “Solar Heating Systems for Houses” IEA, James & James, 2003.