

# Εφαρμογή του ηλιακού κλιματισμού στην Κρήτη

Θεοχάρης Τσούτσος\*,  
Ζαχαρίας Γκούσκος, Ελένη Αλούμπη  
Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων  
Ενεργειακών Συστημάτων,  
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος,  
Πολυτεχνείο Κρήτης  
email:theocharis.tsoutsos@enveng.tuc.gr

Η χρήση ηλιακής ενέργειας για το δροσισμό των κτιρίων είναι μια ελκυστική τεχνολογικά λύση, ιδιαίτερα για τις κλιματολογικές συνθήκες των νησιών. Ο ηλιακός κλιματισμός μέσω της μείωσης των ψυκτικών φορτίων και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό εσωτερικών χώρων, συμβάλλει θετικά στην ενεργειακή ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα τελευταία χρόνια η κατανάλωση ενέργειας αυξάνει δραματικά, με αποτέλεσμα την επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Η μέση αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη οδηγεί σε ακραία καιρικά φαινόμενα τόσο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όσο και του καλοκαιριού.

Οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις κλιματικές αλλαγές επιβάλλουν την άμεση υιοθέτηση τεχνολογιών που υποστηρίζουν την ορθολογική χρήση των πηγών ενέργειας. Σημαντικό μερίδιο ευθύνης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αποδίδεται στην ενέργεια που καταναλώνεται για τον κλιματισμό κτιρίων.

Οι αρνητικές επιπτώσεις του κλιματισμού, με συμβατικά συστήματα ψύξης, είναι ακόμα μεγαλύτερες για το περιβάλλον λόγω του ότι απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ρυπογόνα αέρια, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη τουριστική δραστηριότητα, όπως τα νησιά. Ωστόσο, είναι απαραίτητος για την ποιότητα ζωής στις σημερινές συνθήκες διαβίωσης. Στην Ελλάδα, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια μεγαλώνει σημαντικά λόγω της εκτεταμένης χρήσης των κλιματιστικών συστημάτων.

Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια η αυξανόμενη απαίτηση θερμικής άνεσης, σε συνδυασμό με τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες έχουν οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση των αναγκών κλιματισμού σε κτίρια του τριτογενή τομέα.

Αυτό δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στον ενεργειακό εφοδιασμό και συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου<sup>1</sup>.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για το δροσισμό των κτιρίων είναι σήμερα μια ελκυστική τεχνολογικά λύση, ιδιαίτερα για τις κλιματολογικές συνθήκες των νησιών. Ο ηλιακός κλιματισμός -ως η διαδικασία παραγωγής ψύξης με πρωτογενή πηγή ενέργειας τη θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία- μέσω της μείωσης τόσο των ψυκτικών φορτίων όσο και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό εσωτερικών χώρων, συμβάλλει θετικά στην ενεργειακή ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος, παρέχοντας παράλληλα σημαντικά οικονομικά οφέλη.

Στη μελέτη που ακολουθεί γίνεται τεχνική ανασκόπηση της τεχνολογίας, παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές αρχές του ηλιακού κλιματισμού και τα διαθέσιμα συστήματα. Αναφέρονται οι δυναμικοί χρήστες της συγκεκριμένης τεχνολογίας καθώς και οι περιοριστικοί παράγοντες για την περαιτέρω ανάπτυξή της.

Στη συνέχεια καταγράφονται τα συστήματα που είναι, μέχρι σήμερα, εγκατεστημένα στην Ελλάδα και στην Κύπρο. Τέλος παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα μελέ-

της για την εφαρμογή συστήματος ηλιακού κλιματισμού στην Κρήτη.

## Σύστημα ηλιακού κλιματισμού

Ένα σύστημα ηλιακού κλιματισμού αποτελείται από: ηλιακούς συλλέκτες (Εικ. 1), θερμοκίνητους ψύκτες, πύργο ψύξης, (Εικ. 2), δεξαμενές αποθήκευσης και μια εφε-



δρική πηγή θερμότητας. Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και θερμαίνει το νερό, το οποίο οδηγείται στη δεξαμενή αποθήκευσης. Στη συνέχεια, κυκλοφορεί προς τον ψύκτη όπου ψύχεται και μέσω δικτύου καταλήγει στους υποψήφιους -για κλιματισμό- χώρους. Σε περίπτωση που η συλλεχθείσα ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου, τότε ο ψύκτης υποστηρίζεται από την εφεδρική πηγή θερμότητας<sup>2</sup>. Στην εικόνα 3 απεικονίζεται τυπική διάταξη εγκατάστασης ηλιακού κλιματισμού. Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού ταξινομούνται σε κλειστό και ανοικτό κύκλου:

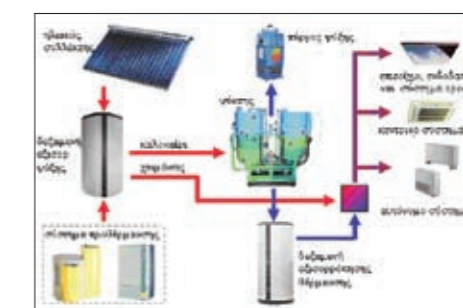
### Συστήματα κλειστού κύκλου

Θερμικά οδηγούμενοι ψύκτες παρέχουν το νερό ψύξης, που με τη σειρά του είτε χρησιμοποιείται σε μονάδες διαχείρισης αέρα, είτε διανέμεται μέσω δικτύου στις αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις κλιματισμού δωματίων. Οι τεχνικά ώριμες μηχανές είναι οι ψύκτες απορρόφησης ή οι ψύκτες προσρόφησης. Οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου / ροφητικού υλικού και πηγή θερμότητας, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή. Τα ζεύγη ψυκτικού μέσου / ροφητικού υλικού που χρησιμοποιούνται είναι το LiBr / H<sub>2</sub>O και το NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O, όπου στην πρώτη περίπτωση το ψυκτικό μέσο είναι το H<sub>2</sub>O ενώ στη δεύτερη είναι η NH<sub>3</sub>. Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου στον εξάτμιστή σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορρο-

φάται στον απορροφητή, αραιώνοντας το διάλυμα ψυκτικού μέσου / ροφητικού υλικού. Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του διαλύματος χρησιμοποιώντας θερμότητα. Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια, συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας στραγγαλιστικής / εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον εξάτμιστή. Στην περίπτωση ψυκτών προσρόφησης χρησιμοποιούνται στερεά πορώδη ροφητικά υλικά, αντί υγρού διαλύματος. Τα διαθέσιμα στην αγορά συστήματα χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο και silica gel ως προσροφητικό υλικό. Οι ψύκτες αποτελούνται από δύο χώρους προσροφητικού υλικού, έναν εξάτμιστή και ένα συμπυκνωτή<sup>3,4</sup>.

### Συστήματα ανοικτού κύκλου

Το “ψυκτικό μέσο” είναι ψεκαζόμενο νερό, που έρχεται σε άμεση επαφή με τον αέρα του χώρου επιτρέποντας τον πλήρη κλιματισμό με την παροχή του δροσισμένου και αφυγρασμένου αέρα σε συνθήκες άνεσης. Τα περισσότερα κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης “desiccant” που χρησιμοποιούν αφυγραντικό περιστρεφόμενο τροχό από ροφητή στερεής φάσης. Ο όρος “ανοικτός” χρησιμοποιείται για να



Μέθοδος	Κλειστού κύκλου		Ανοικτού κύκλου	
	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγνωση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
Τυπικά ζεύγη υλικών	H <sub>2</sub> O - silica gel	H <sub>2</sub> O - LiBr NH <sub>3</sub> - H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O - silica gel H <sub>2</sub> O - CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O - CaCl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O - LiCl
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	
Τυπική Ψυκτική ικανότητα	50 - 430kW	15kW - 5MW	20 - 350kW	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75	0,5 - >1	
Θερμοκρασία αναγέννησης	60° - 90° C	80° - 110° C	45° - 95° C	
Ηλιακοί Συλλέκτες	Κενού, επίπεδοι	Κενού, επίπεδοι	Επίπεδοι, αέρος	Επίπεδοι, αέρος

δείξει ότι το ψυκτικό μέσο απορρίπτεται από το σύστημα μετά την παραγωγή της ψύξης και στη συνέχεια εισάγεται νέα ποσότητα ψυκτικού μέσου μέσω ενός ανοικτού βρόχου. Τα πιο κοινά συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου, χρησιμοποιούν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες ροφητικό υλικό, για το λόγο ότι το στερεό υλικό δεν μπορεί να ανακυκλοφορήσει μέσω αντλίας<sup>2</sup>. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν υγρό ροφητικό υλικό είναι λιγότερο διαδεδομένα αλλά επίσης διαθέσιμα στην αγορά. Έχουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως την ικανότητα να αντλούν και να φιλτράρουν το desiccant, να ψύχονται κατά τη διάρκεια της απορρόφησης και να θερμαίνονται κατά την αντίστροφη διαδικασία<sup>3</sup>. Για την περιγραφή της απόδοσης των θερμοκίνητων ψυκτών χρησιμοποιείται ο δείκτης COP (Coefficient of Performance), ο οποίος ορίζεται ως η παραγόμενη θερμότητα που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού προς τη θερμότητα αναγέννησης.

$$COP_{thermal} = Q_{cold} / Q_{heat}$$

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά των ψυκτών, ανάλογα με την τεχνολογία κλιματισμού που επιλέγεται.

### Δυνητικοί χρήστες τεχνολογίας ηλιακού κλιματισμού

Οι παρακάτω τομείς εφαρμογής παρουσιάζουν σημαντικές προοπτικές για την υιοθέτηση και αξιοποίηση των τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού:

#### Εργοστάσια - Αποθήκες

Η κατηγορία αυτή θα μπορούσε να είναι ο κύριος στόχος για την προώθηση της τεχνολογίας του ηλιακού κλιματισμού. Βέβαια η κάλυψη των αναγκών από την ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να είναι υψηλή σε όλες τις περιπτώσεις, λόγω των μεγάλων εκτάσεων που απαιτούνται για την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών. Ωστόσο αν το φορτίο κλιματισμού είναι υψηλό καθόλη τη διάρκεια του έτους τότε το ηλιακό σύστημα ψύξης πιθανόν να αποτελεί συμφέρουσα επιλογή.

#### Κτίρια γραφείων

Η εφαρμογή σε αυτού του τύπου τα κτίρια είναι η πλέον διαδεδομένη, δεδομένου ότι υπάρχουν ήδη στην Ευρώπη περισσότερα από 60 ηλιακά συστήματα ψύξης.

#### Ξενοδοχεία

Στην περιοχή της Μεσογείου η κατανάλωση ενέργειας από συμβατικά συστήματα κλιματισμού αντιπροσωπεύει το 45-55% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της τουριστικής μονάδας, ανάλογα με το μέγεθος και την κατασκευή του κτιρίου<sup>6</sup>. Έτσι η χρήση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού (ΗΚ) θα μπορούσε, σε αυτή την περίπτωση, να αποτελέσει βιώσιμη λύση. Επιπλέον, η εγκατάσταση τεχνολογιών ΗΚ στα ξενοδοχεία ενισχύει την εικόνα τους και προσελκύει το κοινό με περιβαλλοντικές ευαισθησίες. Τα καθιστά πιο ελκυστικά στο ολόένα αυξανόμενο τμήμα των τουριστών με περιβαλλοντικές ανησυχίες ενισχύοντας παράλληλα την εικόνα της με τη συμβολή της στις προσπάθειες για προστασία του περιβάλλοντος και εξοικονόμησης ενέργειας. Ακόμα, δημόσια κτίρια, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα κ.λπ. μπορούν να αποτελέσουν δυνητικοί χρήστες τεχνολογιών ΗΚ.

### Περιοριστικοί παράγοντες

Βασικοί λόγοι που εμποδίζουν την περαιτέρω διείσδυση του ηλιακού κλιματισμού είναι:

- υψηλό κεφάλαιο αρχικής επένδυσης και μεγάλος χρόνος αποπληρωμής,
- έλλειψη εμπιστοσύνης ή άγνοια όσον αφορά τη διάρκεια και την αξιοπιστία των ηλιακών συστημάτων,
- ασήμαντη φοροαπαλλαγή για τα θερμοσιφωνικά,
- περιορισμένες δράσεις ενημέρωσης και διάδοσης, για την σχετική τεχνολογία και τα πλεονεκτήματα της.

### Εφαρμογές στην Ελλάδα και την Κύπρο

Στην Ελλάδα και την Κύπρο βρίσκονται σε λειτουργία συνολικά οχτώ εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά τους.

#### Μελέτη εφαρμογής συστήματος ηλιακού κλιματισμού

Πρόσφατα εκπονήθηκε μελέτη για την εφαρμογή συστήματος ηλιακού κλιματισμού σε κτίριο του νοσοκομείου Σπείας, στο νομό Λασιθίου, από το εργαστήριο "Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων", του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα αποτελέσματα της μελέτης.

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη συλλογή μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής όπου βρίσκεται το κτίριο και στοιχεία που αφορούν την προσομοίωση του κτιρίου. Βάσει αυτών κρίνεται η εφαρμοσιμότητα, ή όχι, μιας εγκατάστασης κλιματισμού. Σε περίπτωση που αυτή είναι βιώσιμη, ακολουθεί η διαστασιολόγηση του συστήματος και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών οφελών. Τα στάδια της μεθοδολογίας είναι τα εξής<sup>7</sup>:

#### 1ο στάδιο: Συλλογή των μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής

Τα μετεωρολογικά στοιχεία αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική υγρασία, τη διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου. Μετά την επεξεργασία των παραμέτρων αυτών, δημιουργείται ένα αρχείο Τυπικού Μετεωρολογικού Έτους (ΤΜΥ) που περιέχει τις ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές τους σε ωριαία βάση. Το αρχείο χρησιμοποιείται ως αρχείο εισαγωγής στους υπολογισμούς των θερμικών - ψυκτικών φορτίων του κτιρίου.

#### 2ο στάδιο: Μελέτη του κτιρίου

- Υλικά κατασκευής τοιχοποιίας, πατωμάτων, ορόφων, παραθύρων, μονώσεων
- Τύπος των ανοιγμάτων, η επιφάνεια και ο προσανατολισμός τους στο κτίριο
- Χρήσεις των επιμέρους χώρων
- Στοιχεία αερισμού, ψύξης και θέρμανσης των χώρων.

Με τη βοήθεια των κατόψεων και του προγράμματος SimCad σχεδιάζονται οι τοίχοι, τα δωμάτια, οι θερμικές ζώνες και τελικά καθορίζεται το σχήμα και η μορφή του κτιρίου.

Η θερμική ζώνη περιλαμβάνει μια ομάδα χώρων του κτιρίου που έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Έπειτα καθορίζονται τα στοιχεία των παραμέτρων προσομοίωσης του κτιρίου βάσει των οποίων υπολογίζονται τα φορτία θέρμανσης και ψύξης, με τη χρήση του λογισμικού Prebid. Για τον υπολογισμό της ισχύος του συστή-

ματος ψύξης - θέρμανσης, εκτελείται το πρόγραμμα TRNSYS με εισαγωγή διαφορετικών τιμών στο αρχείο ΤΜΥ, ώστε να εξετάζονται οι δυσμενέστερες συνθήκες σχεδιασμού. Μετά την εκτέλεση των εναλλακτικών σεναρίων στο TRNSYS εξάγονται αποτελέσματα, σύμφωνα με τα οποία γίνεται υπολογισμός της ισχύος του ψυκτικού και του λέβητα.

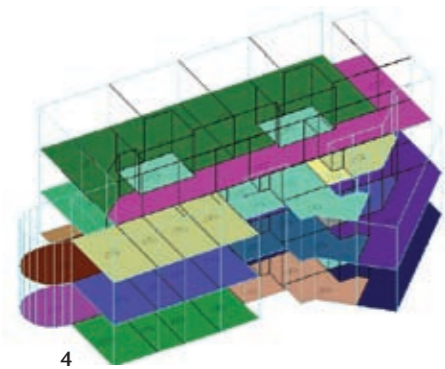
#### 3ο στάδιο: Επιλογή τεχνολογίας ηλιακού κλιματισμού

Ο τύπος και η γωνία της κλίσης των ηλιακών συλλεκτών αποτελούν σημαντικές παραμέτρους για την απόδοση του συστήματος. Μελετάται επιπλέον ο τύπος του ψυκτικού βάσει της διαθεσιμότητάς του στην αγορά, το κόστος, τα τεχνικά χαρακτηρι-

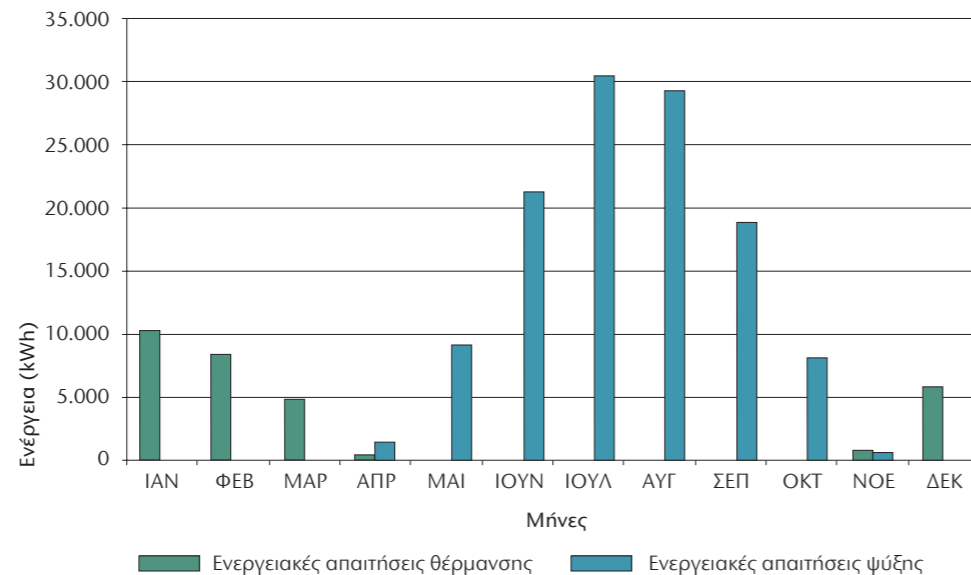
Πίνακας 2. Εφαρμογές ηλιακού κλιματισμού σε Ελλάδα και Κύπρο

Επωνυμία	Τοποθεσία	Τύπος Κτιρίου	kWc ψυκτική ισχύς	Τεχνολογία	Τύπος συλλέκτη	Συνολική επιφάνεια συλλέκτη m <sup>2</sup>	Σε λειτουργία από...	Ετήσια ηλιακή ενέργεια	Ενεργειακό φορτίο	έτος kg CO <sub>2</sub> μείωση
"Φωτόνιο" (Σαράντης ΑΕ)	Οινόφυτα, Βοιωτίας	Αποθήκη καλλυντικών	700	Απορρόφηση	Επιλεκτικοί επίπεδοι	2.700	1999	1.283 MWh 49% κάλυψη	2.614 MWh	5.124.596 <sup>1</sup>
Αμερικανικό Κολλέγιο	Αθήνα	Εκπαιδευτικό ίδρυμα	168	Απορρόφηση	Σωλήνες κενού	καθαρή 615	1984	-	-	2,4 toe ανά περίοδο θέρμανσης 5.400 kWh ανά περίοδο ηλεκτρικής παροχής
			7		Σωλήνες κενού	καθαρή 30	1988	-	-	4.860 kWhel και 1,2 toe (1988-1990)
Ερευνητικό κέντρο Δημόκριτος	Αθήνα	Εκπαιδευτικό ίδρυμα/ Ηλιακό εργαστήριο	35,2	Απορρόφηση	Επίπεδοι	160	2003	-	-	-
Λεντζάκης ΑΕ	Ρέθυμνο Κρήτης	Ξενοδοχείο	105	Απορρόφηση	Επιλεκτικοί επίπεδοι	448	2002	576 MWh Κάλυψη: 57,5%	1.100 MWh	1.070.361 <sup>2</sup>
Αφοί Κουτρούλη (Rethmno Village)	Ρέθυμνο Κρήτης	Ξενοδοχείο	105	Απορρόφηση	Επιλεκτικοί επίπεδοι	450	2000	651 MWh Κάλυψη: 61%	1.067 MWh	1.094.972 <sup>3</sup>
ΚΑΠΕ	Κορωπί, Αθήνα	Ερευνητικό Κέντρο		Ανοικτού κύκλου σύστημα DEC	Επίπεδοι	10	2007	-	-	-
Sol Energy Hellas ΑΕ	Παλαιό Φάληρο	Κτίριο γραφείων	35,1	Απορρόφηση	Επίπεδοι	78,6	2007	-	-	-
L' amor Rouge Bakers	Λευκωσία, Κύπρου	Βιοτεχνία αρτού & ειδών ζαχαροπλαστικής	70	Απορρόφηση	Κενού	170	2006	123,54 kWh Κάλυψη: 58%	213,6 kWh	-

<sup>1</sup> : 23CO<sub>2</sub>:5.124.596, kg/yearCO<sub>2</sub>:1.070.361, kg/yearCO<sub>2</sub>:1.094.972, kg/yearSO<sub>2</sub>:89.268, kg/yearSO<sub>2</sub>:17.872, kg/yearSO<sub>2</sub>:17.919, kg/yearCO<sub>1</sub>:0.076, kg/yearCO<sub>2</sub>:183, kg/yearCO<sub>2</sub>:187, kg/yearNO<sub>2</sub>:201.216, kg/yearNO<sub>2</sub>:1.444, kg/yearNO<sub>2</sub>:1.463, kg/yearHC302, kg/yearHC52, kg/yearHC53, kg/yearParticulars 4.606, kg/yearParticulars 920, kg/yearParticulars 923, kg/year



Διάγραμμα 1. Φορτία θέρμανσης και ψύξης ανά μήνα



στικά αλλά και την απόδοσή του.

**4ο στάδιο: Μελέτη σκοπιμότητας**

Τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται από τα προηγούμενα στάδια εισάγονται στο λογισμικό SACE. Βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν εξετάζεται αν είναι εφικτή η εφαρμογή του ηλιακού κλιματισμού στο συγκεκριμένο κτίριο, λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τα φορτία ψύξης και θέρμανσης από την προσομοίωση του κτιρίου, τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού της εγκατάστασης καθώς και το κόστος της εγκατάστασης και της λειτουργίας του συστήματος.

**5ο στάδιο: Διαμόρφωση - μελέτη σεναρίων**

Το σύστημα και η διαστασιολόγηση του ηλιακού κλιματισμού καθορίζονται από πολλούς παράγοντες. Σ' αυτούς, συγκαταλέγονται τα απαιτούμενα φορτία ψύξης του κτιρίου, η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών, το ποσοστό των φορτίων ψύξης που θα καλύπτεται από τους συλλέκτες, το ποσοστό των φορτίων ψύξης που θα καλύπτεται από συμβατικές πηγές ενέργειας, το κόστος της εγκατάστασης, το λειτουργικό κόστος και τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση τους. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητη μελέτη διαφορετικών σεναρίων, με βάση τα αποτελέσματα του λογισμικού SACE.

**6ο στάδιο: Διαστασιολόγηση συστήματος**

Η διαστασιολόγηση του συστήματος ηλιακού κλιματισμού αφορά: την επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών, την ισχύ του ψύκτη απορρόφησης, την ισχύ του λέβητα, τον όγκο δεξαμενής αποθήκευσης νερού, τον τύπο και την ισχύ του πύργου ψύξης.

**7ο στάδιο: Συγκριτική μελέτη σεναρίων**

Σύγκριση των σεναρίων με βάση το αρχικό κόστος επένδυσης, το κόστος της λειτουργίας, τον χρόνο αποπληρωμής της επένδυσης, την εξοικονόμηση της ενέργειας από τις συμβατικές πηγές και τα περιβαλλοντι-

κά καθώς και τα οφέλη της εγκατάστασης του ηλιακού κλιματισμού.

**8ο στάδιο: Επιλογή βέλτιστου σεναρίου**

Επιλέγεται το βέλτιστο σενάριο το οποίο αφ' ενός ικανοποιεί τις ανάγκες του κτιρίου σε ψύξη με λογικό κόστος, αφ' ετέρου παρέχει και σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη.

**Εφαρμογή στο νοσοκομείο Σπείας**

Το υπό μελέτη κτίριο, με συνολική επιφάνεια 1.250 m<sup>2</sup> αποτελεί τμήμα των εγκαταστάσεων του νοσοκομείου Σπείας. Στην εικόνα 4 παρουσιάζεται το προφίλ του κτιρίου όπως κατασκευάστηκε με το λογισμικό SimCad. Στο κτίριο διακρίνονται οι όροφοι, ενώ με διαφορετικά χρώματα προσδιορίζονται οι διαφορετικές θερμικές ζώνες. Η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη - θέρμανση υπολογίστηκε με τη χρήση του TRNSYS και παρουσιάζονται στο διάγραμμα 1: Η ετήσια απαιτούμενη ενέργεια είναι 34.205 kWh για θέρμανση και 123.911 kWh για ψύξη. Η ισχύς του συστήματος ψύξης υπολογίστηκε σε 121 kW, ενώ της θέρμανσης σε 87 kW. Η τεχνολογία που επιλέχθηκε ήταν κλειστό σύστημα με ψύκτη απορρόφησης LiBr-H<sub>2</sub>O. Η επιλογή του συλλέκτη (FPC επιλεκτικός) έγινε λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά, όσο και το κόστος της συσκευής. Ακόμα, επιλέχθηκε η σειρά ψυκτών WFC της εταιρείας Yazaki. Τα συγκεκριμένα μοντέλα έχουν ισχύ 35,70 και 105 kW. Η βέλτιστη γωνία κλίσης των ηλιακών συλλεκτών υπολογίστηκε ως 10° - 15°. Υπολογίστηκε δε ότι η μέγιστη απόδοση του συστήματος επιτυγχάνεται στους 90°C, θερμοκρασία κατά την οποία βελτιστοποιείται η απόδοση των συλλεκτών και του ψύκτη. Η εκτίμηση της βέλτιστης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών καθώς και το μερίδιο της ηλιακής ψύξης πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού SACE. Εξετάστηκαν τέσσερα σεναρία, δύο βασικά τα οποία διαφοροποιούνται ως προς το

Πίνακας 3. Εναλλακτικά σεναρία

	Συμβατικό	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Τύπος ηλιακού συλλέκτη	-	selective	selective	selective	selective
Συλλεκτική επιφάνεια m <sup>2</sup>	-	200	200	500	500
Δεξαμενή αποθήκευσης m <sup>3</sup>	-	5	15	5	15
Ισχύς συμβατικής εφεδρικής πηγής kW	87	175	87	175	87
Ισχύς ψύκτη συμπίεσης kW	100	-	50	-	50
Ισχύς ψύκτη απορρόφησης kW	-	121	70	121	70
Ισχύς πύργου ψύξης kW	-	280	170	280	170

ποσοστό κάλυψης των θερμικών αναγκών του κτιρίου από ηλιακή ενέργεια. Το πρώτο βασικό σενάριο υποθέτει χαμηλό ποσοστό κάλυψης από ηλιακή ενέργεια και το δεύτερο μεγάλο ποσοστό κάλυψης από ηλιακή ενέργεια. Με βάση αυτά πραγματοποιείται συνολική διαστασιολόγηση του εξοπλισμού σε κάθε ένα από αυτά. Οι βασικές παραδοχές που έγιναν κατά την οικονομική αξιολόγηση είναι οι δαπάνες συντήρησης συμβατικών: 2% του κόστους επένδυσης και ηλιακών: 1% του κόστους επένδυσης<sup>8</sup>, κόστος εγκατάστασης: 12% του κόστους εξοπλισμού<sup>9</sup> και οι τιμές αξιολόγησης κόστους, ενέργειας και πετρελαίου 600 €/ τόνο (2007).

Το κόστος του λοιπού εξοπλισμού παρουσιάζεται στον πίνακα 4. Στους πίνακες 5, 6 και 7 έχουμε τμήμα των αποτελεσμάτων της συγκριτικής μελέτης των σεναρίων της αξιολόγησης κόστους, ενέργειας και περιβαλλοντικών οφελών.

**Το έργο Solco**

Το έργο SOLCO (www.solcoproject.net) υποστηρίζεται από το πρόγραμμα Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Το έργο συμβάλει:

- στην ευρύτερη προώθηση ενεργειακών τεχνολογιών
- στην εξοικονόμηση ενέργειας με εφαρμογές ηλιακής ψύξης στον κτιριακό τομέα
- στην ενσωμάτωση των εφαρμογών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια
- στην ενημέρωση και εκπαίδευση των παραγόντων της αγοράς και των χρηστών της τεχνολογίας ηλιακού κλιματισμού
- στην εξάλειψη των μη τεχνολογικών εμποδίων για την ευρεία χρήση της ηλιακής τεχνολογίας σε συστήματα δροσισμού
- στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού για τα ευρωπαϊκά νησιά
- στην μείωση των διαφόρων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Πίνακας 4. Κόστος εξοπλισμού

Εξοπλισμός	Κόστος	Έτος αναφοράς
Ψύκτης απορρόφησης LiBr - H <sub>2</sub> O (COP=0,7)	400 €/kW	2004
Συμβατικός ψύκτης (COP=2,5)	310 €/kW	2004
Λέβητας πετρελαίου (η=85%)	50 €/kW	2008
Πύργος ψύξης	50 €/kW	2004
Δεξαμενή αποθήκευσης	600 €/m <sup>3</sup>	2004
Επιλεκτικός συλλέκτης	180 €/m <sup>2</sup>	2008

Πίνακας 5. Ετήσιες απαιτήσεις ενέργειας

Ετήσιες απαιτήσεις ενέργειας	Συμβατικό	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Ολική ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση συστήματος κλιματισμού kWh	49.564	1.700	33.687	2.200	14.025
Ετήσια αναγκαία θερμότητα για ψύξη kWh	-	177.016	60.274	177.016	132.284
Ετήσια αναγκαία θερμότητα για θέρμανση kWh	34.205	34.205	34.205	34.205	34.205
Ετήσια αναγκαία θερμότητα από δεύτερη πηγή θέρμανσης kWh	34.205	138.435	21.693	54.727	9.995
Ετήσια θερμότητα παραγωγής συλλέκτη kWh	-	127.584	127.584	318.960	318.960
Συνολική ετήσια παραγωγή ψύξης kWh	123.911	123.911	123.911	123.911	123.911

Πίνακας 6. Ανάλυση κόστους και χρόνου αποπληρωμής

	Συμβατικό	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Κόστος επένδυσης (€)					
Ολικό κόστος εξοπλισμού	35.350	110.150	101.350	164.150	155.350
Κόστος εγκατάστασης	4.242	13.218	12.162	19.698	18.642
Τελικό επενδυτικό κόστος, χωρίς επιδότηση	39.592	123.368	113.512	183.848	173.992
Ετήσιο λειτουργικό κόστος (€)					
Ολικό ετήσιο κόστος	18.091	18.654	12.220	9.106	6.473
Ετήσια εξοικονόμηση	-	-563	5.871	8.985	11.618
Χρόνος αποπληρωμής (έτη)					
Χρόνος αποπληρωμής, χωρίς επιδότηση	-	<0	12,6	16,0	11,5

Πίνακας 7. Περιβαλλοντικά οφέλη

	Συμβατικό	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Εξοικονομούμενη ηλεκτρική ενέργεια kWh	-	47.864	15.877	47.364	35.539
Ολική εξοικ. πρωτογενής ενέργεια kWh	-	-7.713	49.912	90.267	113.581
Ολική μείωση CO <sub>2</sub> kg	-	17.379	12.851	43.733	45.535

## Εργαστήριο Ανανεώσιμων & Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων Δραστηριότητες

Οι δραστηριότητες του εργαστηρίου καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα γνωστικών αντικειμένων στους τομείς της Εφαρμοσμένης Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, του Ενεργειακού Προγραμματισμού και της Βιώσιμης Διαχείρισης Ενεργειακών Συστημάτων. Οι ερευνητικές δραστηριότητες του εργαστηρίου εστιάζουν σε:

### Διαχείριση Συστημάτων Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Πηγών Ενέργειας

Περιφερειακός / τοπικός ενεργειακός προγραμματισμός, βιώσιμη διαχείριση φυσικών πόρων, μεταφορά τεχνολογίας, ανάλυση κύκλου ζωής, τεχνική / οικονομική / περιβαλλοντική αξιολόγηση.

### Βιοκαύσιμα

Αξιοποίηση αγροτικών υπολειμμάτων, παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων, χρήση βιοκαυσίμων για θέρμανση κτιρίων, τεχνικοοικονομική εκτίμηση διαθέσιμου δυναμικού.

### Ηλιακός Κλιματισμός

Σχεδιασμός συστημάτων ενεργητικού ηλιακού κλιματισμού, τεχνικοοικονομική αξιολόγηση.

### Βιώσιμα Ενεργειακά Συστήματα

Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενεργειακών συστημάτων, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και περιβάλλον, αξιολόγηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συνθήκες αβεβαιότητας, ανάλυση κλάδων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το εργαστήριο έχει ήδη συμμετάσχει ή / και συντονίζει ερευνητικά και αναπτυξιακά έργα όπως είναι τα παρακάτω:

- Ενσωμάτωση Τεχνολογιών ΑΠΕ σε Νησιώτικες Αγροτικές Περιοχές - Πρόγραμμα RERINA; European Energy Framework Programme, Intelligent Energy for Europe, 2005-2007.

- Προώθηση Χρήσης Φ/Β Συστημάτων στο Αστικό Περιβάλλον μέσω Κόμβων Επίδειξης - Πρόγραμμα PURE; European Energy Framework Programme, Intelligent Energy for Europe, 2005-2007.

- Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Θερμοηλεκτρικούς Σταθμούς. Εφαρμογή στην Κρήτη για τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, 2005.

- Συστήματα αφαλάτωσης στην Ελλάδα; Πρόγραμμα Αρχιμήδης, 2005-2007, σε συνεργασία με το ΤΕΙ Πειραιά.

- Καινοτομία και Μεταφορά Τεχνογνωσίας στον Τομέα Ενέργειας - Ανάπτυξη δικτύων - Πρόγραμμα NETTI, European Regional Development Fund INTERREG IIIC, East Zone Regional Framework Operation energy/regio, 2006-2007.

- Ανάλυση Κύκλου Ζωής Υγρών Βιοκαυσίμων, Πρόγραμμα Βασικής Έρευνας Πολυτεχνείου Κρήτης, 2006-2007.

- Απομάκρυνση των μη τεχνολογικών εμποδίων για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας ηλιακής ψύξης στα νησιά της Ν. Ευρώπης - Πρόγραμμα SOLCO; European Energy Framework Programme, Intelligent Energy for Europe, 2006-2008.

- Πρόγραμμα κατάρτισης του Συνδέσμου Προώθησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Κύπρου, Αρχή Ανάπτυξης Ανθρώπινου Δυναμικού Κύπρου, 2006-2008.

Συνεργάτες για την υλοποίηση του έργου SOLCO

Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, [www.enveng.tuc.gr](http://www.enveng.tuc.gr)

Agrigento Provincial Energy Agency, [www.apea.it](http://www.apea.it)

European Islands Energy & Environment Network - ISLENET, [www.islenet.net](http://www.islenet.net)

Ινστιτούτο Ενέργειας Κύπρου, [www.cie.org.cy](http://www.cie.org.cy)

Canary Islands Institute of Technology, [www.itccanarias.org](http://www.itccanarias.org)

Η μελέτη αυτή υποστηρίζεται από το πρόγραμμα Ευφυής Ενέργεια για την Ευρώπη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, μέσω του έργου SOLCO για την "Απομάκρυνση των μη-τεχνολογικών εμποδίων από την τεχνολογία του Ηλιακού Κλιματισμού στα νησιά της Νότιας Ευρώπης" (EIE-06-116). Την αποκλειστική ευθύνη για το περιεχόμενο του εντύπου έχουν οι συγγραφείς του. Οι απόψεις που εκφράζονται στην παρούσα έκδοση δεν απηχούν κατ' ανάγκη τις απόψεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν αναλαμβάνει οποιαδήποτε ευθύνη όσον αφορά τη χρήση, ή την όποια βλάβη μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα της χρήσης, αυτών των πληροφοριών.

## Σημειώσεις

1. Tsoutsos T, Anagnostou J, Pritchard C, Karagiorgas M, Agoris D, "Solar Cooling Technologies in Greece", Applied Thermal Engineering 23, pp 1427-1439, 2003.
2. Toufic El Asmar, "REACT:self - sufficient renewable energy air-conditioning system for Mediterranean countries", Desalination 220, pp 600-611, 2008.
3. Salvatore Castaldo, "Solar cooling course", APEA, Agrigento, 2008.
4. Various, 2005. Climasol, <http://raee.org/climatisationsolaire/gb/documents.htm>
5. Balaras CA, Grossman G, Henning HM, Infante Ferreira CA, Podesser E, Lei W, Wiemken E, "Solar air conditioning in Europe - an Overview", Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, pp 299-314, 2007.
6. Karagiorgas M, Tsoutsos T, Drosou V, Pouffary S, Pagano T, Lopez Lara G, Melim Mendes Jose Manuel, "HOTRES: Renewable energies in the hotels, An extensive technical support project for the hotel industry", Renewable Sustainable Energy Review 10, pp198-224, 2006.
7. Zidianakis G, Tsoutsos T, Zografakis N, "Simulation of a solar absorption cooling system". In: Proceedings of 2nd PALENC Conference, Crete, Greece, 2007.
8. (Delft University of Technology, 2003).
9. Peters MS, Timmerhaus KD, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill International Editions, 1991.