

Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια με τη χρήση τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού – Προβλήματα και προοπτικές

Γ. Πανάρας, Ε. Μαθιουλάκης, Β. Μπελεσιώτης

Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων

ΕΚΕΦΕ “ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ”, 15310, Αγία Παρασκευή Αττικής

Τηλ.: +30 (210) 650-3810; Φαξ: +30 (210) 654-4592; e-mail address: petpan@ipta.demokritos.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση φορτίων κλιματισμού σε συνδυασμό με τον αξιοσημείωτο ταυτοχρονισμό προσφοράς ηλιακού δυναμικού και ζήτησης ψύξης στα κτήρια, έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια σε μια ένταση των δράσεων Έρευνας & Ανάπτυξης στον τομέα του ηλιακού κλιματισμού. Εντούτοις, και παρά το ικανοποιητικό τεχνολογικό επίπεδο των υφιστάμενων τεχνολογικών λύσεων οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι περιορισμένες και έχουν κυρίως επιδεικτικό χαρακτήρα. Στην εργασία διερευνώνται τα σημαντικότερα ζητήματα που άπτονται των δυνατοτήτων ευρύτερης διείσδυσης των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού στον κτηριακό τομέα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού μπορούν να αποτελέσουν σημαντικό παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας, τονίζοντας τον ταυτοχρονισμό διαθεσιμότητας ηλιακής ενέργειας και των φορτίων κλιματισμού σε ημερήσια ή και εποχιακή βάση. Τα τελευταία χρόνια έχουν ενταθεί οι δράσεις Ε&Α σχετικά με τις τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού, όπως προκύπτει και από τη σχετική βιβλιογραφία (Deng et al, 2011; Wang et al, 2009; Kim and Infante Ferreira, 2008; Henning, 2007). Ως αποτέλεσμα των ερευνητικών δραστηριοτήτων, ο βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας έχει αυξηθεί σημαντικά και εμφανίζονται συγκεκριμένα εμπορικά προϊόντα.

Παράλληλα, οι τεχνολογίες επιτρέπουν την αξιοποίηση θερμοκρασιών που είναι συμβατές με τη χρήση απλών επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Βέβαια, όπως θα συζητηθεί και στη συνέχεια, έχουν αναπτυχθεί και συστήματα που επιτρέπουν την αξιοποίηση υψηλών θερμοκρασιών με ταυτόχρονη αύξηση της αποδοτικότητας τους.

Η διείσδυση των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού αναμένεται να συνεισφέρει σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας στον κτηριακό τομέα. Η εξαγωγή ποσοτικών στοιχείων για το μέγεθος της εξοικονόμησης αυτής αντιμετωπίζει τη δυσκολία της μη διαθεσιμότητας αξιόπιστων στοιχείων για το κόστος και την αποδοτικότητα των συστημάτων. Όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια, τα περισσότερα έργα είναι ερευνητικά ή επιδεικτικά, με αποτέλεσμα το κόστος να επιβαρύνεται από διάφορους παράγοντες (όπως π.χ. το σύστημα παρακολούθησης και καταγραφής των δεδομένων λειτουργίας). Παράλληλα, παρατηρείται έλλειψη στοιχείων ως προς την λεπτομερή αξιολόγηση των επιδόσεων των συστημάτων και της δυνατότητας τους να καλύψουν τα απαιτούμενα φορτία.

Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να εντοπίσει τα σημαντικότερα ζητήματα τα οποία εμποδίζουν την ευρεία διείσδυση των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού. Τα εντοπιζόμενα εμπόδια για τη διείσδυση των τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού εξετάζονται σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που παρέχει η κάθε τεχνολογία και τις προοπτικές τεχνολογικής ανάπτυξης. Η ανάλυση θα επιχειρήσει να αντλήσει πληροφορία και γνώση τόσο από την εκτεταμένη βιβλιογραφία σχετικά με τις εμπλεκόμενες τεχνολογίες όσο και από προσεγγίσεις αξιολόγησης των υφιστάμενων έργων, δίνοντας έμφαση στην περίπτωση της Ελλάδας.

Λέξεις κλειδιά : ηλιακός κλιματισμός, εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

2.1 Γενικά

Τα συστήματα ηλιακής ψύξης διακρίνονται σε συστήματα κλειστού και ανοικτού κύκλου. Η κατηγοριοποίηση αναφέρεται στην επανάχρηση του ψυκτικού μέσου (συστήματα κλειστού κύκλου) ή την απόρριψη του στο περιβάλλον (συστήματα ανοικτού κύκλου). Σύστημα κλειστού κύκλου αποτελεί και το πλέον διαδεδομένο σύστημα (συμβατικής) ψύξης, το σύστημα συμπίεσης ατμών.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την ενεργειακή τροφοδοσία μιας αντλίας θερμότητας έχει απασχολήσει τους ερευνητές. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με την απ'ευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάταξη φωτοβολταϊκού, είτε με την μετατροπή της θερμικής ηλιακής ενέργειας σε μηχανική (θερμομηχανική διεργασία), όπως αυτή μπορεί να γίνει μέσω ενός κύκλου Rankine ή Stirling. Εναλλακτική επιλογή αποτελεί και η αντικατάσταση του συμβατικού συμπιεστή με εγχυτήρα, ο οποίος δίνει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης θερμικής ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με τον Grossman (2002), η βασική κατεύθυνση για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας σε εφαρμογές ψύξης είναι η κατασκευή αντλιών θερμότητας βασισμένες στη διεργασία της ρόφησης, καθώς οι εναλλακτικές επιλογές χαρακτηρίζονται από χαμηλή αποδοτικότητα και δεν έχουν καταφέρει να περάσουν τα στενά όρια της εργαστηριακής μελέτης. Η ρόφηση περιλαμβάνει την προσέλκυση του ατμού του ψυκτικού μέσου και τη δημιουργία φυσικού ή χημικού δεσμού, με το μέσο ρόφησης, το οποίο μπορεί να είναι υγρό ή στερεό, με συνέπεια τη δημιουργία ψύξης λόγω εξάτμισης του ψυκτικού μέσου. Η διεργασία της ρόφησης (sorbtion) μπορεί να εφαρμοστεί και σε συστήματα ανοικτού κύκλου, όπως θα συζητηθεί και στη συνέχεια.

2.2 Συστήματα απορρόφησης

Η τεχνολογία των συστημάτων απορρόφησης (absorption) θεωρείται η πλέον ώριμη, παρουσιάζοντας τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες.

Το επικρατέστερο εργαζόμενο μέσο είναι το διάλυμα LiBr (απορροφητικό μέσο) σε νερό (ψυκτικό μέσο), ενώ διαδεδομένη είναι και η χρήση του διαλύματος νερού (απορροφητικό μέσο) – αμμωνίας (ψυκτικό μέσο), σημειώνοντας την ικανότητα του τελευταίου να ανταποκριθεί και σε εφαρμογές που απαιτούν ψύξη σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του 0°C.

Η αρχή λειτουργίας παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή των συστημάτων συμπίεσης ατμών, με τη σημαντική διαφορά ότι τη θέση του συμπιεστή την κατέχει η διάταξη απορροφητή – αναγεννητή, και η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί και ως θερμικός συμπιεστής. Οι ατμοί του εργαζόμενου μέσου στον εξατμιστή απορροφώνται από το απορροφητικό μέσο. Το πλούσιο σε LiBr διάλυμα οδηγείται στον αναγεννητή, όπου και αποδεσμεύονται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου, μέσω της εκμετάλλευσης θερμικής (ηλιακής) ενέργειας. Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου οδηγούνται στον συμπυκνωτή όπου και γίνεται απόρριψη της θερμικής ενέργειας που έχουν συλλέξει. Για την απόρριψη χρησιμοποιείται κατάλληλη συσκευή, συνήθως πύργος ψύξης. Η αρχή λειτουργίας παρουσιάζεται στο σχ.2.

Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας που μόλις περιγράφηκε, είναι δυνατή η αναγέννηση του πλούσιου διαλύματος σε έναν αναγεννητή, χρησιμοποιώντας τη διαθέσιμη από τη θερμική (π.χ. ηλιακή) πηγή ενέργεια, και στη συνέχεια η αναγέννηση του σε δεύτερο αναγεννητή χρησιμοποιώντας την απορριπτόμενη ενέργεια στο συμπυκνωτή. Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται ως διβάθμια, ενώ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και περισσότερες βαθμίδες, οπότε γίνεται λόγος για πολυβάθμια συστήματα εν γένει. Τα διβάθμια συστήματα είναι διαθέσιμα και ως εμπορικά προϊόντα (Grossman, 2002).

Οι θερμοκρασίες αναγέννησης είναι της τάξης των 70-95 °C για τα μονοβάθμια συστήματα, ενώ για διβάθμια συστήματα είναι της τάξης των 120-170 °C (Deng et al, 2011, Balaras et al, 2007; Henning, 2007).

Τα συστήματα νερού – αμμωνίας παρουσιάζουν χαμηλότερη αποδοτικότητα σε σχέση με τα συστήματα LiBr – νερού, ενώ απαιτούν υψηλότερη θερμοκρασία για την αναγέννηση του

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

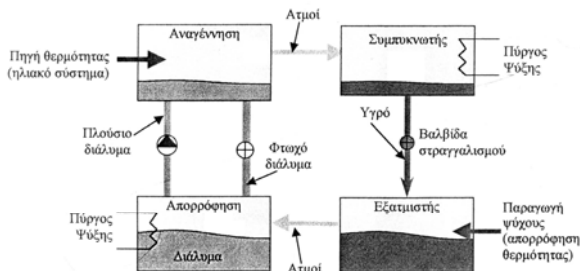
Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

Formatted: Greek

απορροφητή. Παράλληλα η αμμωνία είναι εύφλεκτη, τοξική και είναι δύσκολη η χρήση χαλκού για τα υδραυλικά κυκλώματα λόγω διάβρωσης (Deng et al, 2011). Από την άλλη τονίζεται η δυνατότητα ψύξης των συστημάτων αμμωνίας από αερόψυκτα συστήματα, άρα και η δυνατότητα εγκατάστασής τους σε περιοχές που παρουσιάζουν προβλήματα διαθεσιμότητας υδατικών πόρων.



Σχήμα 1 – Αρχή λειτουργίας συστήματος ψύξης με απορρόφηση

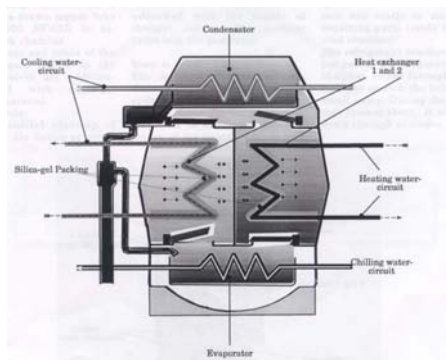
Τα συστήματα LiBr εγείρουν ειδικές τεχνολογικές απαιτήσεις καθώς λειτουργούν υπό κενό, σε υψηλές θερμοκρασίες εμφανίζουν προβλήματα διάβρωσης, ενώ λόγω κρυστάλλωσης του απορροφητή θα πρέπει το ψυχρό σημείο του κύκλου να είναι σε θερμοκρασίες μέχρι 40 °C.

Τα συστήματα απορρόφησης χρησιμοποιούν θερμική ενέργεια για τη λειτουργία τους, καθώς και ποσό ηλεκτρικής ενέργειας στην αντλία προσαγωγής του πλούσιου διαλύματος απορροφητή στον αναγεννητή. Το ποσό αυτό αν και δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό ενδέχεται να είναι σημαντικό σε μικρά συστήματα, για το λόγο αυτό προτείνονται αντλίες οι οποίες δεν καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, μέσω της κατάλληλης χρήσης φυσαλίδων και της εκμετάλλευσης ανωστικών δυνάμεων (bubble pump) (Wang et al, 2009).

Οι ερευνητικές προσπάθειες προσανατολίζονται σε αερόψυκτα μονοβάθμια συστήματα μικρής κλίμακας (Deng et al, 2011). Γενικά το ζήτημα της μικρής κλίμακας αποτελεί βασική ερευνητική προτεραιότητα (Henning, 2007). Επίσης σημειώνεται η δυνατότητα χρήσης καταβόθρων θερμότητας εδάφους (ground-source heat sinks) (Wang et al, 2009), όπως και η δυνατότητα εφαρμογής ναυορευστών ώστε να αυξηθούν οι ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας και μάζας (Deng et al, 2011).

2.3 Συστήματα προσρόφησης

Τα συστήματα προσρόφησης (adsorption) χρησιμοποιούν την ίδια αρχή λειτουργίας με τα συστήματα απορρόφησης, με δεδομένες τις διαφοροποιήσεις που οφείλονται στη διαφορετική φύση του μέσου προσρόφησης, το οποίο είναι στερεό. Τυπική διάταξη παρουσιάζεται στο σχ.2.



Σχήμα 2 – Σύστημα ψύξης με προσρόφηση

Λόγω της στερεάς φύσης του μέσου, η λειτουργία των συστημάτων είναι διακοπτόμενη, καθώς το μέσο απορρόφησης πρέπει να αναγεννηθεί. Η λειτουργία σε διάταξη η οποία περιέχει δύο τμήματα με απορροφητικό μέσο είναι ημιδιακοπτόμενη, όπως φαίνεται και στη διάταξη του σχ.2.

Τα συστήματα προσρόφησης επιτρέπουν την εκμετάλλευση σχετικά χαμηλότερων θερμοκρασιών, παρουσιάζοντας σχετικά χαμηλότερη αποδοτικότητα, σε σχέση με τα συστήματα απορρόφησης. Επικρατέστερο εργαζόμενο μέσο θεωρείται η πυριτική γέλη (silica gel) (προσοφητής) – νερό (ψυκτικό μέσο).

Το βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων προσρόφησης είναι το μεγάλο κλάσμα όγκου προς ψυκτική ικανότητα (ειδικά σε σχέση με τα συστήματα απορρόφησης), και το οποίο αποδίδεται στη χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του μέσου προσρόφησης (Deng et al, 2011; Wang et al, 2009). Παράλληλα σημειώνεται πως η στερεά φύση του μέσου προσρόφησης οδηγεί σε μη σταθερό ρυθμό προσρόφησης, φαινόμενο αντίστοιχο με την μη σταθερή παροχή ψυκτικού μέσου σε ένα συμβατικό σύστημα (Wang et al, 2009).

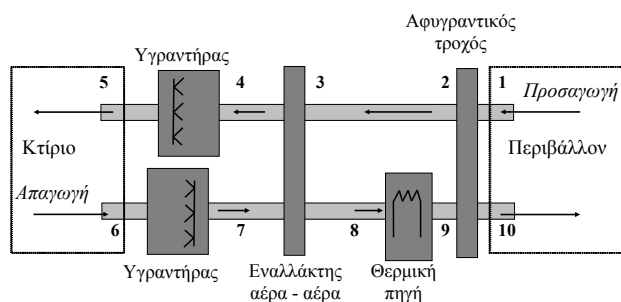
Οι ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται στη μείωση του όγκου των συστημάτων.

2.4 Συστήματα στερεών αφυγραντικών μέσων

Τα συστήματα στερεών αφυγραντικών μέσων (solid desiccant) αποτελούν συστήματα ανοικτού κύκλου, καθώς το εργαζόμενο μέσο (υδρατμός) απορρίπτεται μετά το πέρας ενός κύκλου λειτουργίας.

Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα αποτελεί η ικανότητά τους να ρυθμίσουν τη θερμοκρασία και την υγρασία του κλιματιζόμενου χώρου, καθώς και το ποσοστό ανανέωσης του αέρα, αποτελούν δηλαδή ολοκληρωμένα συστήματα κλιματισμού.

Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα προβλέπει την αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα, δίνοντας τη δυνατότητα για ψύξη του με την εφαρμογή διεργασίας ψύξης με εξάτμιση. Σύμφωνα με την αρχή αυτή και όπως παρουσιάζεται στην τυπική διάταξη του σχ.3, βασικό στοιχείο των συστημάτων αποτελεί ο τροχός αφύγρανσης, στον οποίο επιτυγχάνεται η αφύγρανση του προσαγόμενου αέρα, με ταυτόχρονη θέρμανσή του λόγω της ενθαλπίας συμπίκνωσης των υδρατμών και της μετάδοσης θερμότητας από το θερμό ρεύμα αναγέννησης του τροχού. Ο εναλλάκτης ανάκτησης θερμότητας συνεισφέρει στην ψύξη του αέρα προσαγωγής, αξιοποιώντας τη χαμηλότερη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου αέρα επιστροφής από το κτήριο (ρεύμα απαγωγής). Το ρεύμα προσαγωγής, πριν την είσοδο του στον κλιματιζόμενο χώρο ψύχεται περαιτέρω με τη χρήση υγραντήρα, ο οποίος αποτελεί συσκευή ψύξης με εξάτμιση νερού. Για την αποτελεσματικότερη ψύξη του αέρα απαγωγής, χρησιμοποιείται επίσης υγραντήρας. Το ρεύμα απαγωγής, πριν την είσοδό του στον τροχό αφύγρανσης, και αφού έχει ανακτήσει τμήμα της θερμότητας του ξηρού και θερμού αέρα που εξέρχεται από τον τροχό στο ρεύμα προσαγωγής, θερμαίνεται σε θερμοκρασία κατάλληλη για την αναγέννηση του αφυγραντικού υλικού (Πανάρας, 2010).



Σχήμα 3 - Δομή συστήματος κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα

Τα συστήματα κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα θεωρούνται ως μια υποσχόμενη εναλλακτική λύση, σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, ειδικά αν χρησιμοποιούνται κεντρικά συστήματα αερισμού, με δεδομένο ότι αποτελούν συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης των συνθηκών του χώρου (Henning, 2007). Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το silica gel, το οποίο αξιοποιεί θερμοκρασίες αναγέννησης της τάξης των 60-150°C, ενώ σημειώνεται επίσης και η χρήση του LiCl, το οποίο όμως αναγεννάται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 70°C, καθώς και των συνθετικών ζεόλιθων, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που απαιτούν βαθεία αφύγρανση, με παράλληλη απαίτηση υψηλών θερμοκρασιών αναγέννησης της τάξης των 120-220°C (Πανάρας, 2010).

Παραδοσιακά τα συστήματα desiccant χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αποθήκευσης, ελέγχου των συνθηκών σε φαρμακευτικές βιομηχανίες, παγοδρόμια, καταστήματα διάθεσης τροφίμων, εφαρμογές δηλαδή στις οποίες έχει ιδιαίτερη βαρύτητα η διατήρηση της υγρασίας σε χαμηλά επίπεδα (Deng et al, 2011) ή χαρακτηρίζονται από υψηλό λανθάνον φορτίο (Kim and Infante Ferreira, 2008). Η χρήση τους ήταν αρκετά εκτεταμένη τη δεκαετία του '80 στην αμερικανική αγορά, κάνοντας λόγο για συστήματα τροφοδοτούμενα από συμβατική πηγή ενέργειας, συνηθέστερα φυσικό αέριο (AGCC, 1998).

Formatted: Greek

Στα μειονεκτήματα των συστημάτων αναφέρεται το μεγάλο μέγεθος του εξοπλισμού, καθώς και η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την κυκλοφορία του αέρα (Deng et al, 2011). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω των περιορισμών που εμφανίζουν στην ικανοποίηση φορτίων σε υγρά κλίματα (Henning et al, 2007; Dhar and Singh, 2001), οι ποσότητες αέρα, άρα και το μέγεθος των απαιτούμενων υποσυστημάτων, είναι αρκετά μεγαλύτερα σε σχέση με τις αντίστοιχες απαιτήσεις συμβατικών συστημάτων (Panaras, 2011).

Η περαιτέρω διεύθυνση των συστημάτων κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα απαιτεί τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων. Οι ερευνητικές προσπάθειες προβλέπουν τη διαφοροποίηση από τους βασικούς κύκλους που περιγράφηκαν, αναφέροντας τη διεργασία της βαθμωτής αναγέννησης (Staged regeneration) (Deng et al, 2011), ή τη χρήση δύο τροχών αφύγρανσης (Henning et al, 2007). Η ισόθερμη αφύγρανση, η οποία προβλέπει την ταυτόχρονη ψύξη του αέρα κατά τη διεργασία (Deng et al, 2011; Henning et al, 2007), αναμένεται να αυξήσει τόσο την απόδοση της όσο και την ικανότητα του συστήματος σε αισθητό φορτίο, καθώς η θέρμανση λόγω της ενθαλπίας συμπύκνωσης αλλά και της θερμότητας αναγέννησης θεωρείται ανεπιθύμητη σε εφαρμογές ψύξης. Λόγω των περιορισμών αυτών, στη βιβλιογραφία αντιμετωπίζεται και η περίπτωση συνδυασμού συστήματος desiccant με συμβατικό σύστημα, το οποίο υποβοηθά στην κάλυψη του αισθητού φορτίου (Henning et al, 2007; Dhar and Singh, 2001). Σε κάθε περίπτωση πολύ σημαντική θεωρείται και η ώθηση που μπορεί να δώσει η εισαγωγή καινοτόμων υλικών, υψηλότερης απόδοσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (Deng et al, 2011; Henning et al, 2007).

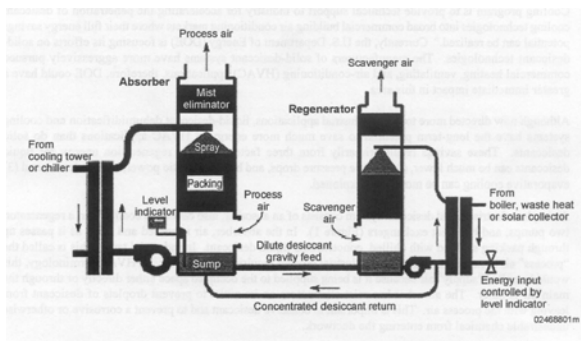
2.5 Συστήματα υγρών αφυγραντικών μέσων

Τα συστήματα υγρών αφυγραντικών μέσων (liquid desiccant) παρουσιάζουν αντίστοιχη λειτουργία με των στερεών, με τις διαφοροποιήσεις που επιβάλλει η φύση του αφυγραντικού μέσου. Τυπική διάταξη παρουσιάζεται στο σχ.4.

Τα συστήματα υγρών αφυγραντικών μέσων θεωρούνται λιγότερο ώριμα τεχνολογικά σε σχέση με τα συστήματα στερεού αφυγραντικού μέσου, διαθέτοντας και χαμηλότερη εμπορική ωριμότητα (Balaras et al, 2007; Henning, 2007). Στα μειονεκτήματα τους συγκαταλέγονται προβλήματα διάβρωσης (για το λόγο αυτό προτείνεται η χρήση πολυμερών για τα υδραυλικά εξαρτήματα), η πιθανή διαρροή, μέσω του ρεύματος αέρα, ποσοστού του μέσου αφύγρανσης στον κλιματιζόμενο χώρο, καθώς και οι απαιτήσεις σε άντληση για την κυκλοφορία του μέσου αφύγρανσης (Deng et al, 2011; Wang et al, 2009; Kim and Infante Ferreira, 2008; Balaras et al, 2007).

Από την άλλη, και συγκρινόμενα με τα συστήματα στερεού μέσου, απαιτούνται πιο απλές γεωμετρίες για τον απορροφητή και τον αναγεννητή, σημειώνοντας και τη δυνατότητα ταυτόχρονης ψύξης του αέρα κατά την αφύγρανση, κάτι που έχει ως συνέπεια την καλύτερη απόδοση, όπως και

τη μικρότερη πτώση πίεσης, καθώς και η αντιβακτηριδιακή δράση (βακτηριοστατικές ιδιότητες) του αφυγραντικού μέσου, δυνατότητα που μπορεί να είναι σημαντική για κάποιες εφαρμογές. Η δυνατότητα αποθήκευσης του αφυγραντικού μέσου παρέχει πλεονεκτήματα σε επίπεδο αξιοποίησης μεταβαλλόμενης θερμικής πηγής, όπως η ηλιακή, και προσαρμογής στις μεταβολές του φορτίου του κλιματιζόμενου χώρου (Deng et al, 2011, Balaras et al, 2007).



Σχήμα 4 - Δομή συστήματος κλιματισμού με υγρά αφυγραντικά μέσα

Τα θέματα έρευνας στρέφονται στο πεδίο των υλικών, και στη διερεύνηση υλικών με χαμηλή τάση ατμών, καθώς και σε επίπεδο βελτίωσης της γεωμετρίας των διατάξεων απορροφητή και αναγεννητή (Deng et al, 2011; NREL, 1998).

3. ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Τα συστήματα απορρόφησης θεωρούνται ως τα πλέον ώριμα και διαθέσιμα σε εμπορικό επίπεδο και στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετοί κατασκευαστές. Τα συστήματα με LiBr εμφανίζουν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε σχέση με τα συστήματα αμμωνίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι περιορισμένος ο αριθμός των συστημάτων με ψυκτική ισχύ <100 kW, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί και κάποια συστήματα ψυκτικής ισχύος <30 kW (Balaras et al, 2007; Henning, 2007). Η έρευνα προσανατολίζεται σε μικρά συστήματα (μέχρι 5 kW).

Όσον αφορά τα πολυβάθμια συστήματα, εμπορικά διαθέσιμα είναι συστήματα διπλής δράσης, ενώ τα συστήματα τριπλής δράσης βρίσκονται σε επίπεδο πρωτοτύπου (Deng et al, 2011).

Τα συστήματα προσρόφησης δεν εμφανίζουν την εμπορική ωριμότητα των συστημάτων απορρόφησης, και αναφέρονται δύο βασικοί κατασκευαστές, από την Ιαπωνία (Henning, 2007). Οι περιορισμοί στη διαθεσιμότητα συστημάτων χαμηλής ψυκτικής ισχύος είναι επίσης παρόντες, σημειώνοντας ωστόσο την πρόσφατη παρουσίαση από Γερμανική εταιρεία συστήματος ψυκτικής ισχύος 5.5 kW (Deng et al, 2011).

Τα συστήματα στερεού αφυγραντικού μέσου εμφανίζουν κάποιες ιδιαιτερότητες, καθώς αν και τα βασικά τους υποσυστήματα είναι εμπορικά διαθέσιμα, τα συστήματα αυτά καθατά χαρακτηρίζονται από χαμηλό βαθμό τυποποίησης. Ειδικότερα, στην αγορά εμφανίζονται αρκετοί κατασκευαστές τροχών αφύγρανσης, το οποίο θεωρείται και το πιο σύνθετο υποσύστημα από πλευράς τεχνολογίας. Τα ολοκληρωμένα συστήματα αναπτύσσονται στη βάση ενσωμάτωσης των διαθέσιμων υποσυστημάτων, συχνά από τους κατασκευαστές των τροχών αφύγρανσης ή εταιρείες που δραστηριοποιούνται σε εφαρμογές κλιματισμού και αφύγρανσης. Ως συνεπακόλουθο, τα συστήματα είναι μη τυποποιημένα (custom made) (Πανάρας, 2010).

Τα συστήματα υγρού αφυγραντικού μέσου εμφανίζουν αρκετά περιορισμένη εμπορική διαθεσιμότητα, καθώς κάποιοι ερευνητές σημειώνουν ότι είναι κοντά στην εισαγωγή τους στην αγορά (Henning, 2007), ενώ σε άλλες εργασίες σημειώνεται η ύπαρξη δύο εταιρειών από την Αμερική, οι οποίες διαθέτουν συστήματα στην αγορά (Deng et al, 2011; SolAir).

4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Σύμφωνα με την ανάλυση των χαρακτηριστικών των τεχνολογιών, οι διαθέσιμες τεχνολογίες εμφανίζουν την ικανότητα να ανταποκριθούν σε εφαρμογές με ιδιαίτερες απαιτήσεις, τόσο ως προς τα επιβαλλόμενα φορτία και τις συνθήκες υγιεινής, και για τις οποίες είναι δυνατόν να δράσουν ανταγωνιστικά ως προς τα συμβατικά συστήματα.

Τεχνολογία	Θερμοκρασία θερμής πηγής - Τυπικό COP	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Απορρόφηση	70-95 °C – 0.7 (LiBr) 120 - 170°C – 1.1 (LiBr, 2-βάθμια) 80-200°C – 0.5 (NH ₃)	- Ωριμη & δοκιμασμένη τεχνολογία - Διαθεσιμότητα εμπορικών προϊόντων - Συστήματα αμμωνίας: δυνατότητα ψύξης σε θερμοκρασίες < 0 °C	-Σχετικά υψηλή θερμοκρασία αναγέννησης -Προβλήματα συντήρησης (π.χ. κρυστάλλωση, διατήρηση κενού) - Αμμωνία: εύφλεκτη, τοξική. προβλήματα διάβρωσης - Απουσία μονάδων χαμηλού φορτίου
Προσρόφηση	55-100°C – 0.6	- Χαμηλή θερμοκρασία αναγέννησης - Μικρές απαιτήσεις συντήρησης - Διαθεσιμότητα εμπορικών προϊόντων	- Μεγάλος όγκος – βάρος - Σημαντικοί χρόνοι εναλλαγής τμημάτων μηχανής – μείωση απόδοσης - Περιορισμένο εύρος εμπορικών προϊόντων – απουσία μονάδων χαμηλού φορτίου
Στερεά αφυγραντικά μέσα	>50°C – Δεν εφαρμόζεται	- Ολοκληρωμένη διαχείριση συνθηκών χώρου (αερισμός - θερμοκρασία - υγρασία) - Δυνατότητα αξιοποίησης μεγάλου εύρους θερμοκρασιών αναγέννησης	- Μεγάλος όγκος - Απουσία τυποποιημένων λύσεων - Ανεπαρκής υφιστάμενη τεχνογνωσία σε θέματα σχεδιασμού και υλοποίησης των συστημάτων - Πολύπλοκο σύστημα control
Υγρά αφυγραντικά μέσα	>40°C – Δεν εφαρμόζεται	- Ολοκληρωμένη διαχείριση συνθηκών χώρου - Δυνατότητα αξιοποίησης μεγάλου εύρους θερμοκρασιών αναγέννησης - Αντιβακτηριδιακή δράση	- Εξαιρετικά περιορισμένη εμπορική διαθεσιμότητα - Απουσία τυποποιημένων λύσεων - Προβλήματα διάβρωσης - Πιθανότητα διαφυγής του αφυγραντικού μέσου στον κλιματιζόμενο χώρο

Πίνακας 1 – Βασικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού

Ειδικότερα, είναι δυνατό να εντοπιστούν και να προταθούν συγκεκριμένες εφαρμογές οι οποίες ευνοούν τη διεύθυνση των συστημάτων, δίνοντας έμφαση στον Ελληνικό χώρο.

- Οι εφαρμογές σε ξενοδοχειακά συγκροτήματα, τα οποία εμφανίζουν χρήσεις που μπορούν επίσης να αξιοποιήσουν θερμική ηλιακή ενέργεια, θα πρέπει να μελετηθούν σε σχέση με την αδυναμία εκμετάλλευσης κατά τους χειμερινούς μήνες. Η διεποχιακή αποθήκευση θα μπορούσε να αποτελέσει λύση, όπως επίσης και η αξιοποίηση της συλλεγόμενης θερμότητας για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες.

- Εφαρμογές σε χώρους συνάθροισης, δημόσια κτήρια, γραφεία, μουσεία, αθλητικά κέντρα όπου είναι πιθανή και η υψηλή απαίτηση σε λανθάνον φορτίο.
- Εφαρμογές μεγάλης κλίμακας σε χώρους νοσοκομείων οι οποίες εμφανίζουν υψηλά φορτία λανθάνοντα σε συνδυασμό με ειδικές απαιτήσεις υγιεινής.
- Εφαρμογές σε βιομηχανίες-αποθηκευτικούς χώρους, περιλαμβάνοντας τις εγκαταστάσεις και τις διεργασίες, καθώς και τη δυνατότητα διαθεσιμότητας απορριπτόμενης θερμότητας. Χαρακτηριστικά αναφέρονται εφαρμογές όπως οι γαλακτοβιομηχανίες (IEA Task 38).
- Αποκεντρωμένες εφαρμογές σε σύνδεση με την κτηνοτροφία, σημειώνοντας την περίπτωση μονάδων όπως τα τυροκομεία.
- Εφαρμογές μικρής κλίμακας σε παραθεριστικές κατοικίες ή τουριστικά καταλύματα, σημειώνοντας ωστόσο την αναγκαιότητα εξεύρεσης λύσης για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας κατά τους χειμερινούς μήνες.
- Εφαρμογές μικρής κλίμακας σε κατοικίες, στη λογική προέκτασης των συνδυασμένων συστημάτων κάλυψης των αναγκών σε ζεστό νερό, θέρμανση (combisystems) και για την κάλυψη φορτίων κλιματισμού. Οι εφαρμογές αυτές εν τούτοις αντιμετωπίζουν ευνοϊκότερες συνθήκες διείσδυσης στην Κεντρική Ευρώπη, όπου και είναι διαθέσιμα σε ευρεία κλίμακα τα συστήματα combi.

5. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

5.1 Διεθνές επίπεδο

Στη σχετική βιβλιογραφία, κυρίως στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων, έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες καταγραφής και ανάλυσης της εμπειρίας από την εγκατάσταση και λειτουργία συστημάτων ηλιακής ψύξης (Henning, 2007; CLIMASOL; IEA Task38; SACE; SOLAIR; SOLCO).

Η πιο πρόσφατη αναφέρεται στην πρωτοβουλία του IEA, Task38. Ειδικότερα αναφέρονται 113 έργα μεγάλης κλίμακας και 163 μικρής κλίμακας, ανά τον κόσμο, με την συντριπτική πλειοψηφία των εγκαταστάσεων (ποσοστό 92%) να είναι στην Ευρώπη, σημειώνοντας τη σημαντική αύξηση των εγκαταστάσεων σε σχέση με προηγούμενες καταγραφές.

Σχετικά με τα χαρακτηριστικά των έργων, μπορούν να διατυπωθούν οι ακόλουθες επισημάνσεις:

- στα έργα μεγάλης κλίμακας, η πλειοψηφία (ποσοστό 71%) αφορά την τεχνολογία απορρόφησης, το οποίο για τα μικρά συστήματα είναι αυξημένο (ποσοστό 90%).
- στα έργα μικρής κλίμακας δεν συγκαταλέγονται τεχνολογίες desiccant.
- στα έργα μικρής κλίμακας, σημαντική είναι η διείσδυση ενός συγκεκριμένου εμπορικού προϊόντος, η οποία αγγίζει το 50%.
- η πλειοψηφία των εφαρμογών αναφέρονται σε χώρους γραφείων (ποσοστό 38% στα συστήματα μικρής κλίμακας και 53% στα μεγάλης), ενώ άλλες χρήσεις αναφέρουν σπίτια, βιομηχανίες, σχολεία-πανεπιστήμια, αθλητικά κέντρα, εργαστήρια. Στα μεγάλης κλίμακας έργα συμπεριλαμβάνονται και τα ξενοδοχεία.
- όσον αφορά στο ηλιακό σύστημα, η μελέτη παραθέτει στοιχεία μόνο για τα μεγάλα συστήματα, και η συντριπτική πλειοψηφία (ποσοστό 86%), αφορά επίπεδους συλλέκτες ή συλλέκτες σωλήνων κενού.
- η πλειοψηφία των συστημάτων δεν έχει δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας. Σε μικρό ποσοστό παρατηρείται η χρήση δεξαμενών ψυχρού νερού. Επίσης, εμφανίζεται η πρακτική του συμβατικού βοηθητικού συστήματος παροχής θερμικής ενέργειας ή συμβατικού βοηθητικού συστήματος κλιματισμού.

Γενικά η αποτίμηση της εμπειρίας από τα υφιστάμενα έργα, όπως παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία, δεν υπεισέρχεται σε λεπτομερείς κρίσεις σχετικά με την αποδοτικότητα και αξιόπιστη λειτουργία των συστημάτων. Σημειώνεται εν τούτοις πως τα συστήματα δεν καταφέρνουν σε πολλές περιπτώσεις να ικανοποιήσουν τα προσδοκώμενα ενεργειακά οφέλη, καθώς η παρασιτική ενεργειακή κατανάλωση των βοηθητικών εξαρτημάτων, όπως των πύργων ψύξης ή των

ανεμιστήρων σε συστήματα desiccant είναι υψηλή. Η αποτύπωση δε των μεγεθών αυτών δεν είναι προφανής και απαιτεί την παρουσία ενός λεπτομερούς και αξιόπιστου συστήματος παρακολούθησης και καταγραφής των δεδομένων (monitoring), τονίζοντας έτσι και τη σημασία του monitoring. Παράλληλα ένα τέτοιο σύστημα κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμο στο επίπεδο εντοπισμού πιθανών δυσλειτουργιών ή προβλημάτων στον έλεγχο του συστήματος (Henning, 2007). Επιπρόσθετα τίθενται ζητήματα αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης, ιδιαίτερα όταν ο κατασκευαστής δεν προέρχεται από την χώρα εγκατάστασης (NEGST; DESSHC).

5.2 Η περίπτωση της Ελλάδας

Στην Ελλάδα αναφέρονται συνολικά 7 εγκαταστάσεις, οι οποίες είτε είναι σε λειτουργία ή όχι (QAISt; CLIMASOL; NEGST; SOLCO). Οι εγκαταστάσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Τύπος	Τεχνολογία – Ισχύς	Συλλέκτες – Επιφάνεια	Εφαρμογή	Φορέας υλοποίησης / Ιδιοκτήτης – Έτος λειτουργίας
Αθήνα, Αγία Παρασκευή	Absorption – 168 kW	Σωλήνες κενού – 615 m ²	Κτήρια εκπαίδευσης	Αμερικάνικο Κολλέγιο Αθηνών, 1984
Βοιωτία	Adsorption – 700 kW	Επίπεδοι – 2700 m ²	Αποθήκες – Κτήρια Βιομηχανίας Καλλυντικών	Σαράντης, 1999
Ρέθυμνο, Κρήτη	Absorption – 105 kW	Επίπεδοι – 450 m ²	Ξενοδοχείο	Κουτρούλης Αφοι, 2000
Αθήνα, Αγία Παρασκευή, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος	Absorption – 35 kW	Επίπεδοι – 160 m ²	Γραφείο – Εργαστήριο	Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2001
Ρέθυμνο, Κρήτη	Absorption – 105 kW	Επίπεδοι – 448 m ²	Ξενοδοχείο	Λεντζάκης, 2002
Αθήνα, Π. Φάληρο	Absorption – 35 kW	Επίπεδοι – 79 m ²	Γραφείο	Sol Energy Hellas, 2006
Αθήνα, Πικέρμι	Desiccant	Επίπεδοι – 10 m ²	Γραφείο – Εργαστήριο	ΚΑΠΕ, 2007

Πίνακας 2 – Εγκατεστημένα συστήματα ηλιακής ψύξης στην Ελλάδα

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία για τις εγκαταστάσεις, μπορούν να διατυπωθούν τα ακόλουθα:

- Η τεχνολογία με τη μεγαλύτερη διείσδυση είναι αυτή της απορρόφησης. Εν τούτοις, στις εφαρμογές εμφανίζεται το σύνολο των διαθέσιμων τεχνολογιών σε εμπορικό επίπεδο.
- Τα μεγέθη των εγκαταστάσεων καθορίζονται από τα διαθέσιμα εμπορικά προϊόντα κατά την περίοδο εγκατάστασης, σημειώνοντας την απουσία μικρών συστημάτων, τα οποία έχουν εισαχθεί πολύ πρόσφατα στην αγορά.
- Χρησιμοποιούνται επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες σε όλες τις εγκαταστάσεις, εξαιρουμένης της παλαιότερης για την οποία χρησιμοποιούνται συλλέκτες με σωλήνες κενού.
- Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν γραφεία, σε σύνδεση με ερευνητικούς φορείς ή συνεργαζόμενους φορείς με τεχνογνωσία στο εν λόγω αντικείμενο, π.χ. ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ, ΚΑΠΕ, Sol Energy. Η παρουσία της βιομηχανίας καλλυντικών αλλά και των δύο ξενοδοχείων αποτελεί μια πρώτη απόπειρα να περάσουν τα συστήματα από

ερευνητικό – επιδεικτικό επίπεδο σε επίπεδο αγοράς. Δεν παρατηρείται εγκατάσταση συστημάτων σε κατοικίες.

Τα διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την αποτίμηση της λειτουργίας των συστημάτων είναι περιορισμένα, τόσο σε επίπεδο απόδοσης και αξιολόγησης των σχεδιαστικών επιλογών όσο και σχετικά με πιθανά προβλήματα σχετιζόμενα με την αξιοπιστία των συστημάτων. Οι κρίσεις είναι ως επί το πλείστον γενικές, και εκφράζουν την ικανοποίηση των εμπλεκόμενων φορέων από τη λειτουργία των συστημάτων.

6. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Παρά το ικανοποιητικό τεχνολογικό επίπεδο των υφιστάμενων τεχνολογικών λύσεων, όπως επιβεβαιώθηκε και από την σχετική ανάλυση (§2-4), οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις είναι περιορισμένες και έχουν κυρίως επιδεικτικό χαρακτήρα (§5). Οι βασικότεροι λόγοι αναλύονται στη συνέχεια:

- Κόστος συστημάτων

Στην πλειοψηφία των εργασιών που συναντώνται στη βιβλιογραφία ως βασική αιτία αναφέρεται το κόστος (Wang et al, 2009; Zeigler 2009; Balaras et al, 2006; Πανάρας και Μπελεσιώτης, 2004). Το κόστος περιλαμβάνει το κόστος της ψυκτικής μηχανής, σημειώνοντας πως αυτό είναι αρκετά υψηλότερο σε σχέση με το κόστος των συμβατικών συστημάτων. Επιπρόσθετα το κόστος επιβαρύνεται με το κόστος του ηλιακού συστήματος, και το οποίο σύμφωνα με τον Grossman (2002) είναι αυτό είναι αυτό το οποίο επιφέρει τη μεγαλύτερη επιβάρυνση. Σημαντική παράμετρος θεωρείται και το κόστος συντήρησης (Wang et al, 2009; SOLAIR).

Μια άλλη παράμετρος που αξίζει να επισημανθεί είναι το γεγονός πως στο κόστος της συμβατικής ενέργειας, την οποία υποκαθιστούν τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, δεν συνυπολογίζεται η περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά την παραγωγή της ενέργειας αυτής, με αποτέλεσμα να παραμένει ιδιαίτερα υψηλή η ανταγωνιστικότητα των συμβατικών συστημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, δεν αντανακλάται στην αγορά ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού, το γεγονός δηλαδή ότι είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

- Εμπορική διαθεσιμότητα

Αν εξαιρεθούν οι τεχνολογίες απορρόφησης, η εμπορική διαθεσιμότητα των συστημάτων είναι περιορισμένη. Συμπεριλαμβανομένων δε και των τεχνολογιών απορρόφησης, παρατηρείται απουσία συστημάτων μικρής ψυκτικής ισχύος, σε επίπεδο δηλαδή οικιακών εφαρμογών. Όσο μειώνεται το μέγεθος των συστημάτων, το κόστος αυξάνει δυσανάλογα, καθώς πρόκειται περισσότερο για μεμονωμένες κατασκευές παρά για παραγωγή ευρείας κλίμακας (SOLAIR).

Παράλληλα, σημαντικό θεωρείται και το ζήτημα του χαμηλού βαθμού τυποποίησης των συστημάτων, κυρίως εστιάζοντας στα συστήματα αφυγραντικών μέσων, αλλά και στο συζευγμένο σύστημα μηχανής ψύξης – ηλιακού θερμικού συστήματος για το σύνολο των τεχνολογιών (Henning et al, 2007; Πανάρας και Μπελεσιώτης, 2004; DESSHC).

- Τεχνογνωσία σχεδιασμού – υλοποίησης εγκαταστάσεων

Τα τεχνικά θέματα που υφίστανται στο σχεδιασμό έχουν σχέση με τη διαθεσιμότητα των χώρων, το είδος της διαθέσιμης θερμικής πηγής, την παρουσία εναλλακτικής (συμβατικής) θερμικής πηγής ή συμβατικού συστήματος ψύξης, κλπ. Επίσης ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα συνδυασμού με υφιστάμενο σύστημα, κάτι που δρα προς την κατεύθυνση βελτίωσης των οικονομικών όρων της επένδυσης.

Στη βιβλιογραφία τονίζεται η συνεισφορά του σχεδιασμού προς την κατεύθυνση αύξησης της αποδοτικότητας των προτεινόμενων λύσεων (Henning et al, 2007; Πανάρας και Μπελεσιώτης, 2004; IEA Task 38). Ειδικά η σύνδεση των συστημάτων με ηλιακό πεδίο, και με δεδομένη την διακύμανση

Formatted: Greek

σε ημερήσιο αλλά και εποχιακό επίπεδο της ηλιακής θερμικής πηγής, δημιουργεί ειδικές απαιτήσεις ως προς την αποδοτική και αποτελεσματική κάλυψη των φορτίων.

Σε κάθε περίπτωση αυτό που ζητείται είναι η ύπαρξη προτυποτεχνικών μεθοδολογιών και εργαλείων τα οποία θα υποστηρίξουν μια ανάλυση ευαισθησίας για τη βελτιστοποίηση της τελικής επιλογής, με το τελικό κριτήριο να είναι μάλλον οικονομικό (Panaras et al, 2011).

Σε επίπεδο υλοποίησης των εγκαταστάσεων, με δεδομένο ότι η σύνδεση με ηλιακό σύστημα αυξάνει την πολυπλοκότητα, τονίζεται η σημασία της απλοποίησης των υδραυλικών συστημάτων (Henning et al, 2007; NEGST).

Το θέμα του συστήματος ελέγχου (Henning et al, 2007; Πανάρας και Μπελεσιώτης, 2004) θεωρείται επίσης σημαντικό, και αποτελεί ένα τομέα στον οποίο τα βήματα προόδου δεν έρχονται τόσο γρήγορα (Balaras et al, 2006).

- Τεχνολογικοί περιορισμοί

Η αύξηση της αποδοτικότητας των συστημάτων, αναμένεται να επιφέρει πολλά οφέλη, σημειώνοντας τη μείωση του κόστους καθώς θα απαιτούνται μικρότερα συστήματα για την κάλυψη των φορτίων, ενώ θα μειωθεί και το μέγεθος του ηλιακού συστήματος. Βέβαια η αποδοτικότητα των συστημάτων είναι δυνατό να αυξηθεί στα πλαίσια που επιτρέπουν οι σχετικοί θερμοδυναμικοί κύκλοι. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης (Henning et al, 2007).

Η αύξηση της αποδοτικότητας αναμένεται να μειώσει και το μέγεθος των απαιτούμενων χώρων για την εγκατάσταση των συστημάτων, παράγοντας που επιβαρύνεται από το μέγεθος των συστημάτων κλιματισμού, ειδικά για τα συστήματα προσρόφησης και στερεών αφυγραντικών μέσων, αλλά κυρίως από το μέγεθος του ηλιακού πεδίου και του χώρου που δεσμεύουν τα υποσύστημα αποθήκευσης θερμότητας.

Οι δράσεις E&A κατέχουν πρωτεύοντα ρόλο στη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων, στην κατεύθυνση βελτιστοποίησης των διεργασιών και εξεύρεσης νέων υλικών. Άλλες κατευθύνσεις αναφέρονται στην ανάπτυξη πολυβάθμιων συστημάτων, τα οποία βέβαια θα απαιτούν και υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης, γειρώντας ιδιαίτερες απαιτήσεις και στο κομμάτι του ηλιακού συστήματος (συγκεντρωτικές τεχνολογίες).

- Άλλα ζητήματα

Όπως αναλύθηκε και στην παρουσίαση των εγκατεστημένων έργων, απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο ζήτημα της τεχνικής υποστήριξης, με δεδομένες τις ιδιαιτερότητες της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (SOLCO; Πανάρας και Μπελεσιώτης, 2004).

Παράλληλα με την απόκτηση τεχνογνωσίας σε επίπεδο σχεδιασμού και υλοποίησης της εγκατάστασης, σημασία έχει και η διάχυση της γνώσης και η δυνατότητα πρόσβασης των ενδιαφερόμενων φορέων (SACE, SOLAIR, SOLCO).

Τέλος, και σε θέματα νομοθεσίας, όπως αυτά άπτονται κανονισμών εγκατάστασης αλλά και δυνατοτήτων χρηματοδότησης των έργων, στη σχετική βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι μπορούν να αναπτυχθούν σχετικές δράσεις (SOLCO).

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το επίπεδο των τεχνολογικών λύσεων των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού θεωρείται αρκετά ώριμο, εν τούτοις η διείσδυση των συστημάτων είναι αρκετά περιορισμένη, με τις εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού να έχουν κυρίως επιδεικτικό χαρακτήρα.

Οι βασικότεροι λόγοι αφορούν το κόστος των συστημάτων, την περιορισμένη εμπορική τους διαθεσιμότητα, ειδικά σε συστήματα μικρής ψυκτικής ισχύος, το χαμηλό βαθμό τυποποίησης, την έλλειψη τεχνογνωσίας στο σχεδιασμό των συστημάτων καθώς και τεχνολογικούς περιορισμούς οι οποίοι συνδέονται με την ανάγκη βελτίωσης της αποδοτικότητας των συστημάτων.

Από την άλλη, τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού είναι δυνατό να ανταποκριθούν σε ένα εύρος εφαρμογών και απαιτήσεων φορτίων, στις οποίες οι τεχνικοοικονομικοί όροι εκμετάλλευσης να είναι ιδιαίτερα ευνοϊκοί αν όχι καλύτεροι από αυτούς των συμβατικών συστημάτων.

Χαρακτηριστικά εντοπίζονται εφαρμογές στον ξενοδοχειακό τομέα, σε χώρους συνάθροισης, νοσοκομεία, βιομηχανικές ή και αποκεντρωμένες εφαρμογές σε σύνδεση με την τοπική οικονομία, οι οποίες χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερες απαιτήσεις φορτίων κλιματισμού, αλλά και θερμικών φορτίων και χρήσεων γενικότερα.

Το υφιστάμενο επίπεδο τεχνογνωσίας θερμικών ηλιακών συστημάτων στον Ελληνικό χώρο, σε συνδυασμό με την τεχνολογική ωριμότητα των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού και την εμπειρία των φορέων έρευνας και ανάπτυξης αποτελούν βασικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη δράσεων επιδεικτικού χαρακτήρα, οι οποίες να αναδείξουν τις δυνατότητες των τεχνολογιών αυτών να λειτουργήσουν ανταγωνιστικά σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Balaras C.A., Grossman G., Henning H.-M., Infante Ferreira C.A., Podesser E., Wang L., Wiemken E., 2007. Solar air-conditioning in Europe - An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 299-314
- Balaras C.A., Henning H.-M., Wiemken E., Grossman G., Podesser E., Ferreira C.I., Solar Cooling, An overview of European Applications & Design Guidelines, *ASHRAE Journal*, June 2006, 14-21
- CLIMASOL, Promoting Solar Air-conditioning, *Altener Programme*
- Deng J., Wang R.Z., Han G.Y., 2011. A review of thermally activated cooling technologies for combined cooling, heating and power systems. *Progress in Energy and Combustion Science* 37, 172-203
- DESSHC, Demonstrating the Efficiency of Solar Space Heating and Cooling, *ENERGY-FP5*
- Dhar P.L., Singh S.K., 2001. Studies on solid desiccant based hybrid air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering* 21, 119-134.
- Florides G.A., Tassou S.A., Kalogirou S.A., Wrobel L.C., 2002. Review of solar and low energy cooling technologies for buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, 557-572
- Grossman G., 2002. Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning. *Solar Energy* 72(1), 53-62
- Gupta Y., Metchop L., Frantzis A., Phelan P.E., 2008. Comparative analysis of thermally activated, environmentally friendly cooling systems. *Energy Conversion and Management* 49, 1091-1097.
- Henning, H.-M., 2007. Solar assisted air conditioning of buildings - An overview. *Applied Thermal Engineering* 27, 1734-1749
- Henning, H.-M., Pagano, T., Mola S., Wiemken E., 2007. Micro tri-generation system for indoor air conditioning in the Mediterranean climate. *Applied Thermal Engineering* 27, 2188-2194
- IEA, Solar Heating and Cooling Programme, Task 38 - Solar Air-Conditioning and Refrigeration
- IEA, Solar Heating and Cooling Programme, Task 25 - Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings
- Kim D.S., Infante Ferreira C.A., 2008. Solar refrigeration options - A state-of-the-art review. *International Journal of Refrigeration* 32, 566-576
- NREL (1998), *Advanced Commercial Liquid-Desiccant Technology Development Study*
- Panaras G., Mathioulakis E., Belessiotis V., 2011. Solid desiccant air-conditioning systems – Design parameters. *Energy* 36(5), 2399-2406
- Πανάρας Γ. Θεωρητική και πειραματική διερεύνηση συστήματος ηλιακού κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα. Διδακτορική Διατριβή. ΑΠΘ, 2010.
- Πανάρας Γ., Μπελεσιώτης Β., 2004. "Σχεδιασμός, Διαστασιολόγηση και Ένταξη Συστημάτων Ηλιακού Κλιματισμού σε Αυτόνομα Κτήρια", Παραδοτέο Έργου: "Ένταξη θερμικών ηλιακών σε κτήρια - Νέοι ηλιακοί συλλέκτες υψηλής απόδοσης, ηλιακός κλιματισμός, εποχιακή αποθήκευση θερμότητας, βέλτιστος ενεργειακός σχεδιασμός και ολοκληρωμένη ενεργειακή διαχείριση". Γ'ΚΠΣ-ΕΠΑΝ
- SOLAIR, Increasing the Market Implementation of Solar Air-conditioning Systems for Small and Medium applications in Residential and Commercial Buildings, *Intelligent Energy Europe*
- SOLCO, Removal of non-technological barriers to Solar Cooling technology across southern European islands", *Intelligent Energy - Europe (IEE) programme*
- Wang R.Z., Ge T.S., Chen C.J., Ma Q., Xiong Z.Q., 2009. Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines. *International Journal of Refrigeration* 32, 638-660
- Ziegler F., 2009. Sorption heat pumping technologies: Comparisons and challenges. *International Journal of Refrigeration* 32, 566-576