



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΨΥΞΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

**Ηλιακός Κλιματισμός Με Την Χρήση
Desiccant Υλικών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΑΜΠΥΛΗ

Επιβλέπων : Χρήστος Τζιβανίδης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2009

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον κ. Καπετανάκη για την πολύτιμη βοήθεια και συνδρομή του στην κατανόηση της τεχνολογίας desiccant, μέσω της παρουσίασης των εφαρμογών που ο ίδιος έχεις πραγματοποιήσει. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επόπτη μου κ. Τζιβανίδη, για την καλή συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ηλιακός κλιματισμός χωρίζεται σε δύο είδους συστήματα, τα συστήματα ανοιχτού κύκλου και αυτά του κλειστού κύκλου λειτουργίας. Τα συστήματα ανοιχτού κύκλου χρησιμοποιούν desiccant υλικά για να επιτύχουν την αφύγρανση. Τα αφυγραντικά υλικά (desiccant) μπορούν να είναι στερεά ή υγρά. Σε μεγάλη σχετική υγρασία απορροφούν υδρατμούς 20-60% του βάρους τους ενώ, σε χαμηλότερη σχετική υγρασία (10%) απορροφούν 6-20%. Ο κύκλος αφύγρανσης περιλαμβάνει (i) την αφύγρανση του αέρα, (ii) την αναγέννηση του αφυγραντικού υλικού και τέλος (iii) την ψύξη του υλικού για να εισαχθεί ξανά στον κύκλο. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την καλύτερη λειτουργία είναι η σχετική υγρασία να μην ξεπερνάει το 50% και η εισαγωγή νωπού αέρα να είναι 15%. Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το ότι η αναγέννηση του υλικού απαιτεί γενικά χαμηλές θερμοκρασίες (45⁰C) και ότι υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα συστήματα στην αγορά παγκοσμίως.

ABSTRACT

The solar air conditioning is separated in two type systems, the systems of open circle and those of closed circle of operation. The open-cycle systems use desiccant materials to achieve. Desiccant materials can be solid or liquid. In high relative humidity conditions absorb water vapors 20-60% of their weight while, in lower relative humidity (10%) absorb 6-20%. The dehumidification open-cycle comprises of (i) air-dehumidification (ii) regeneration of desiccant (iii) input cooling. Essential conditions for better operation is that the relative humidity does not exceed 50% and the fresh air input is at least 15%. Basic advantages of method is that the regeneration of material requires generally low temperatures (45⁰ C) and that we can find enough available systems in the market worldwide.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	3
Περίληψη- Abstract	5
Περιεχόμενα	7
1. Θερμοκρασιακή κατάσταση	11
1.1. Πρόλογος.....	11
1.2 . Κλιματικές αλλαγές και το φαινόμενο της ανύψωσης της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming).....	12
1.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	16
1.4. Αντιμετώπιση του προβλήματος με την βοήθεια της ηλιακής ψύξης.....	19
2. Ηλιακός κλιματισμός	23
2.1. Γενικά.....	23
2.2. Κλειστού κύκλου (με θερμοκίνητους ψύκτες).....	27
2.2.1. Απορρόφηση (absorption).....	29
2.2.1.1. Σύγκριση μονού-διπλού σταδίου.....	33
2.2.1.2. Απόδοση απορροφητή σε ένα σύστημα LiBr/H ₂ O.....	36
2.2.1.3. Σύγκριση ψυκτών απορρόφησης και ηλεκτρικών ψυκτών.....	40
2.2.1.4. Ψύκτες απορρόφησης αμέσου-εμμέσου θέρμανσης.....	42
2.2.1.5. Ανάγκη για περαιτέρω βελτίωση στην ψύξη με απορρόφηση.....	45
2.2.1.6. Συμπεράσματα.....	47
2.2.2. Προσρόφηση (adsorption).....	48
2.2.2.1. Λειτουργία συστήματος.....	50
2.2.2.2. Θερμοδυναμικό μοντέλο ιδανικού κύκλου προσρόφησης.....	58
2.2.2.3. Απλός κύκλος προσρόφησης.....	59
2.2.2.4. Κύκλος προσρόφησης με αναγέννηση.....	63
2.2.2.5. Αντιστρεπτός κύκλος.....	66
2.2.2.6. Συμπεράσματα.....	67
2.2.3. Παραδείγματα εγκαταστάσεων απορρόφησης και προσρόφησης.....	68
3. Desiccant cooling	77
3.1. Γενικά	77
3.2. Ανοιχτοί κύκλοι -desiccant συστήματα ψύξης.....	83
3.3. Υβριδικό σύστημα desiccant κλιματισμού.....	89

3.3.1. Μαθηματικό μοντέλο.....	93
3.3.2. Επιβεβαίωση του μαθηματικού μοντέλου.....	96
3.3.3. Συμπεράσματα.....	103
3.4. Στερεά desiccant υλικά.....	104
3.4.1. Τεχνικές προκλήσεις για τα στέρεα desiccant.....	104
3.4.2. Παραμετρική μελέτη ενός αδιαβατικού συστήματος ψύξης ανοικτού-κύκλου με στερεό desiccant.....	109
3.4.3. Μελέτη απόδοσης ενός νέου προσροφητικού για την ψύξη με στερεά desiccant.....	119
3.5. Υγρά desiccant υλικά.....	127
3.5.1. Διαμόρφωση και ανάλυση της απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη- αναγεννητή προ-επεξεργασίας αέρα, που χρησιμοποιεί υγρό desiccant.....	127
3.5.2. Λειτουργία ενός ηλιακού συστήματος υγρού desiccant air conditioner- Μια πειραματική και θεωρητική προσέγγιση.....	145
3.5.3. Ανάλυση της απόδοσης ενός ανοικτού κύκλου ψυκτικού συστήματος υγρού desiccant που χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για αναγέννηση.....	160
4. Εφαρμογές Ηλιακής Ψύξης.....	169
4.1. Συστήματα desiccant HVAC σε κτίρια εμπορικής χρήσης.....	169
4.2. Παραδείγματα εγκαταστάσεων desiccant ψύξης.....	183
4.3. Εφαρμογή τεχνολογίας desiccant αφύγρανσης στην ψύξη.....	206
4.3.1. Ξηραντικά μέσα.....	207
4.3.2. Τύποι ξηραντικών μέσων.....	209
4.3.2.1. Στερεά ξηραντικά μέσα.....	209
4.3.2.2. Υγρά ξηραντικά μέσα.....	212
4.3.2.3. Διάρκεια ζωής ξηραντικών μέσων.....	214
4.3.3. Η Αξιοποίηση των ξηραντικών μέσων στη διεργασία της ψύξης -Συστήματα ψύξης με αφύγρανση.....	214
4.3.3.1. Αρχή λειτουργίας συστήματος ψύξης με αφύγρανση.....	214
4.3.3.2. Εναλλακτικές διεργασίες/διαμορφώσεις –Υβριδικά συστήματα.....	216
4.3.4. Θερμοδυναμική ανάλυση κύκλου ψύξης με αφύγρανση.....	217
4.3.5. Συστήματα ψύξης στερεού ξηραντικού μέσου	218
4.3.5.1. Τροχοί αφύγρανσης - STATE OF THE ART.....	219
4.3.5.1.1. Βασικοί τύποι.....	219

4.3.5.1.2. Χαρακτηριστικά απόδοσης τροχών αφύγρανσης.....	222
4.3.6. Συστήματα Ψύξης Υγρού Ξηραντικού Μέσου.....	223
4.3.6.1. Βασική αρχή λειτουργίας.....	223
4.3.6.2. Συστήματα ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου- STATE OF THE ART.....	225
4.3.6.2.1. Κύρια χαρακτηριστικά εμπορικών συστημάτων.....	225
4.3.6.2.2. Προοπτικές ανάπτυξης συστημάτων ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου.....	226
4.3.7. Συστήματα ψύξης στερεού και υγρού ξηραντικού μέσου- Συγκριτική αξιολόγηση δυνατότητας σύζευξης με ηλιακό φορέα.....	227
4.3.8. Μοντελοποίηση συστήματος ψύξης με αφύγρανση.....	229
Βιβλιογραφία.....	223
Παράρτημα Α: Επεξήγηση συμβόλων.....	237
Παράρτημα Β: Ψυχομετρικό διάγραμμα desiccant διαδικασίας.....	247

1. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

1.1. Πρόλογος

Οι απαιτήσεις κλιματισμού στον τριτογενή τομέα αυξάνονται συνεχώς, ιδιαίτερα λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων θερμικής άνεσης και των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Παράλληλα, εφαρμογές παθητικών και ημι- ενεργητικών συστημάτων, που χρησιμοποιούνται για αιώνες για τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους, φαίνεται να μην αξιοποιούνται σε πολλά νέα κτίρια. Αυτή η όλο και περισσότερο εκτενής χρήση των ηλεκτροκίνητων συστημάτων ψύξης με συμπίεση είναι υπεύθυνη για την αυξανόμενη ζήτηση αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, η οποία φτάνει σε διάφορες περιπτώσεις στο ανώτατο όριο του δικτύου.

Η εκπομπή αερίων ρύπων υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνεται, είτε από την ενεργειακή παραγωγή, είτε από τυχόν διαρροές των ψυκτικών ρευστών, γεγονός που ενισχύει το φαύλο κύκλο των κλιματικών αλλαγών. Ένα μεγάλο εύρος επιλογών παθητικών συστημάτων είναι διαθέσιμο, είτε για εφαρμογή σε νέα κτίρια που βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού, είτε για ήδη υπάρχοντα, με σκοπό τη βελτίωση των συνθηκών εσωτερικών χώρων χωρίς τη χρήση οποιουδήποτε συστήματος κλιματισμού, ή τουλάχιστον τη δραστική μείωση των αναγκών ψύξης το καλοκαίρι.

Την ίδια στιγμή, η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαθέσιμη. Οι ηλιακές τεχνολογίες ψύξης που παρουσιάζονται στην παρούσα έκδοση έχουν αποδείξει, κάποιες για διάρκεια μεγαλύτερη των δέκα ετών, την αποδοτικότητα και αξιοπιστία τους. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούν αβλαβή ρευστά (κυρίως νερό) και πολύ λιγότερη πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με τα κλασικά συστήματα. Επομένως, γιατί να μη χρησιμοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια με σκοπό τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού;

1.2. Κλιματικές αλλαγές και το φαινόμενο της ανύψωσης της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming)

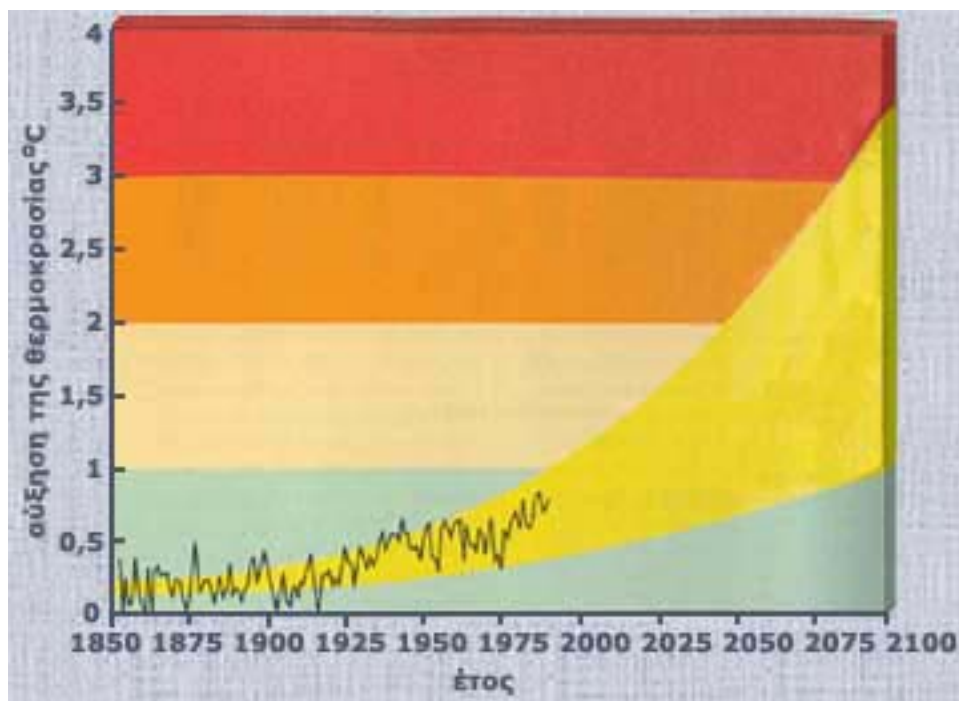
Σύμφωνα με προβλέψεις ειδικών, στα επόμενα 50-100 χρόνια η θερμοκρασία του πλανήτη μας θα αυξηθεί σημαντικά. Μια θερμοκρασιακή αύξηση της τάξης των 2 βαθμών C θεωρείται πολύ μεγάλη σε σχέση με τις φυσιολογικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του πλανήτη στο πέρασμα του χρόνου και θα είναι η μεγαλύτερη των τελευταίων 100.000 χρόνων.



Εικόνα 1. Φαινόμενο Θερμοκηπίου

Αύξηση της θερμοκρασίας καθώς και η προβλεπόμενη ανύψωση της στάθμης των επιφανειακών νερών (λόγω τήξης των πάγων) πιθανότατα να προκαλέσουν την εξαφάνιση των ειδών που δε θα προλάβουν να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες και θα μειώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η διατήρηση της υπάρχουσας βιοποικιλότητας κρίνεται αναγκαία έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η επιβίωση ειδών ή/ και η δημιουργία νέων προσαρμοσμένων

στο μελλοντικό κλιματικό καθεστώς, δυνητικά εκμεταλλεύσιμων (π.χ. για καλλιέργεια) από τον άνθρωπο.



Εικόνα 2. Η μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στις αλλαγές που καταγράφηκαν στη μέση θερμοκρασία της Γης μεταξύ 1850 και 1990. Η κίτρινη περιοχή αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη στα επόμενα χρόνια

Κλιματικές αλλαγές μπορεί να προκαλέσουν τροποποιήσεις στη σύνθεση των βιοκοινοτήτων αφού πιθανές μεταναστεύσεις ειδών και η εξαφάνιση άλλων θα φέρει σε επαφή γεωγραφικά απομακρυσμένους πληθυσμούς του ίδιου ή διαφορετικών ειδών και θα απλουστεύσει, θα μειώσει δηλαδή τη γενετική ποικιλότητα ειδών και τον αριθμό των ειδών σε κάποιες βιοκοινότητες. Οι νέες αυτές ενδοειδικές και διαειδικές σχέσεις που θα αναπτυχθούν μπορεί να επιφέρουν εντάσεις (stress) που θα οδηγήσουν κάποιους πληθυσμούς ή και είδη σε εξαφάνιση.

Ορισμένοι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι είναι πιθανό να εισέλθουμε μελλοντικά σε μια εποχή παγετώνων. Με το παραπάνω επιχειρήμα σχετίζεται το Ρεύμα του Κόλπου, ένα υδάτινο ρεύμα που φέρνει ζεστό νερό από νότια και δυτικά και ζεσταίνει την Ευρώπη. Σε περίπτωση υπερθέρμανσης της Γης, μέσα από μια σειρά χημικών φαινομένων, η ροή του ρεύματος θα αλλάξει.

Αυτό θα προκαλέσει σημαντική μείωση στη θερμοκρασία της Ευρώπης. Οι χιονοπτώσεις θα αυξηθούν και τα επιφανειακά χιόνια θα ανακλούν μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας προς το Διάστημα, μειώνοντας και άλλο τη θερμοκρασία της Γης. Οι αλλαγές αυτές είναι πιθανό να συμβούν με τρομακτική ταχύτητα, μέσα σε μία δεκαετία ή και συντομότερα.

Ακτινοβολία

Θα πρέπει καταρχήν να έχουμε υπ' όψιν μας ότι άλλη η βιολογική δράση των υπεριωδών ακτινών πάνω στο δέρμα, άλλη των ορατών και άλλη των υπερύθρων. Μεγαλύτερη βιολογική επίδραση έχουν οι υπεριώδεις ακτίνες. Η καταστροφή του όζοντος που διαπιστώθηκε στην ατμόσφαιρα για πρώτη φορά το 1974 έλαβε τραγικές διαστάσεις το 1985, με τη δημιουργία του φαινομένου της τρύπας του όζοντος στην Ανταρκτική και το 1987 στην Αρκτική, ενώ πρόσφατα αναγγέλθηκε το ίδιο φαινόμενο πάνω από την Ευρώπη.

Η καταστροφή του όζοντος στην ατμόσφαιρα γίνεται από τους χλωριοφθοριωμένους υδρογονάνθρακες (CFCs) με κυριότερο εκπρόσωπο το λεγόμενο Freon, που χρησιμοποιείται ως προωθητικό στα spray, ως ψυκτικό μίγμα, ως μονωτικό στα συστήματα κλιματισμού κλπ.

Καθώς το όζον καταστρέφεται από τις παραπάνω ουσίες, οι ακτίνες του ηλίου διαπερνούν ανενόχλητες την ατμόσφαιρα της Γης, καταστρέφοντας την πανίδα και τη χλωρίδα, προκαλώντας παράλληλα στον άνθρωπο διάφορα νοσήματα. Οι χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν την καταστροφή που προκαλεί το χλώριο στο όζον. Επομένως η χειρότερη εποχή είναι ο χειμώνας, ενώ τα αποτελέσματα από τη μείωση του όζοντος διαρκούν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι περιοχές που κινδυνεύουν περισσότερο είναι οι Βαλτικές Χώρες, η Γερμανία, η Μεγάλη Βρετανία και η Ρωσία. Από τον κίνδυνο, όμως, δε διαφεύγει ούτε η Μεσόγειος.

Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Οι φυσιολογικές αντιδράσεις του δέρματος στην ηλιακή ακτινοβολία είναι το ηλιακό ερύθημα, η ενεργητική αύξηση πάχους και η μελάγχρωση. Η μελάγχρωση, δηλαδή το μαύρισμα από τον ήλιο, είναι η βιολογική προστασία του δέρματος στον Ήλιο και διακρίνεται σε άμεσο μαύρισμα έπειτα από 9-12

ώρες που δε διαρκεί και σε κανονικό έπειτα από 48 ώρες που διαρκεί 3-6 μήνες.

Οι παθολογικές αντιδράσεις είναι οξείες, όπως τα εγκαύματα και οι φωτοδερματίτιδες και χρόνιες όπως η πρόωρη γήρανση, οι προκαρκινικές παθήσεις και η ανάπτυξη καρκινωμάτων. Οι χρόνιες παθολογικές καταστάσεις συνυπάρχουν, δηλαδή πάνω στο πρόωρα γηρασμένο δέρμα ανθρώπων που εκτίθενται στον ήλιο αναπτύσσονται προκαρκινικές παθήσεις και αργότερα καρκινώματα, σε καρκίνο.

Μια άλλη κατηγορία είναι ορισμένοι σπίλοι (μαύρες ελιές), που κινδυνεύουν να εξελιχθούν σε κακήθες μελάνωμα. Οι αιτίες είναι πάρα πολλές και διάφορες. Σημαντικό ρόλο έχει παίξει η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του ανθρώπου - καθώς οι καρκίνοι είναι ασθένειες συνήθως των μεγάλων ηλικιών- η ένδυση με λιγότερα ρούχα και η συχνότερη έκθεση του σώματος στην ηλιακή ακτινοβολία.

Υπολογίζεται π.χ. ότι μια μείωση του όζοντος κατά 10% έχει ως αποτέλεσμα μια αύξηση των βασικοκυτταρικών καρκινωμάτων κατά 2,5%. Δραματική χαρακτηρίζεται η αύξηση των καρκίνων του δέρματος στον άνθρωπο κατά τα τελευταία χρόνια. Μην ξεχνάμε ότι η βλαπτική επίδραση του ηλίου είναι αθροιστική και αρχίζει αμέσως. Σημαντικό ρόλο παίζει η μείωση του στρώματος του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Η καταστροφή του όζοντος στην ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται από τον ΟΗΕ το AIDS του περιβάλλοντος. Είναι κατανοητό ότι τα προγράμματα αυτά κοστίζουν, αλλά εξυπηρετούν τον κυριότερο σκοπό: την ευαισθητοποίηση του κοινού.

Ατενίζοντας το μέλλον

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι πεπεισμένη ότι είμαστε ικανοί να περικόψουμε τις οικείες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και να βελτιώσουμε ταυτοχρόνως το βιοτικό επίπεδο και την ποιότητα ζωής των πολιτών. Οι δύο στόχοι δεν είναι καθόλου ασύμβατοι. Αλλά αυτό θα απαιτήσει την προσαρμογή του τρόπου ζωής μας και του τρόπου της εκ μέρους μας παραγωγής και χρήσης ενέργειας.

Οι ευρωπαίοι ηγέτες συμφώνησαν ότι δεν πρέπει ν' αφήσουμε τις παγκόσμιες θερμοκρασίες να αυξηθούν σε επίπεδα άνω των 2ο Κελσίου σε

σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα - επειδή, εάν συμβεί κάτι τέτοιο, θα αυξάνονταν υπερβολικά οι κίνδυνοι μείωσης των διαθέσιμων τροφίμων και των αποθεμάτων νερού, καθώς και των περιβαλλοντικών καταστροφών ανά τον κόσμο. Προκειμένου να επιτευχθεί ο δεύτερος στόχος, θα χρειαστεί μακροπρόθεσμη δράση μετά το 2012, έτος κατά το οποίο πρέπει να έχουν επιτευχθεί οι στόχοι του πρωτοκόλλου του Κιότο.

Ενδέχεται να χρειαστεί εκ μέρους των εκβιομηχανισμένων χωρών μείωση των οικείων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά περίπου 15-30%, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, μέχρι το 2020 και κατά 60-80% μέχρι το 2050. Είναι όμως επίσης σημαντικό να συμμετάσχουν σε μια μελλοντική συμφωνία οι αναπτυσσόμενες χώρες που εμφανίζουν ικανοποιητικά οικονομικά αποτελέσματα, επειδή οι εκπομπές τους αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς. Οι διεθνείς διαβουλεύσεις για το μελλοντικό καθεστώς σ' ό,τι αφορά την αλλαγή του κλίματος αρχίζουν τώρα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ήδη δημοσιεύσει έγγραφο στο οποίο υπογραμμίζονται ορισμένα βασικά στοιχεία που θα όφειλε να ενσωματώσει το νέο καθεστώς, όπως, λόγου χάριν, η ευρεία συμμετοχή απ' όλες τις χώρες που εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αερίων θερμοκηπίου, καθώς και μια αποφασιστική ώθηση των νέων, φιλικών προς το κλίμα τεχνολογιών.

Η αλλαγή του κλίματος δεν θα εξαφανιστεί ως δια μαγείας όμως, όσο γρηγορότερα συνειδητοποιήσουμε όλοι τις επιπτώσεις της και κινητοποιηθούμε για την αντιμετώπισή της τόσο περισσότερο θα είμαστε ικανοί να πάρουμε τις τύχες μας στα χέρια μας, να εξασφαλίσουμε μια άνετη ζωή και να διαφυλάξουμε για το μέλλον όλη την ομορφιά και ποικιλότητα του πλανήτη μας.

1.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

- Τα στρώματα πολικού πάγου λιώνουν καθημερινά. Η θαλάσσια περιοχή που καλύπτεται από τον αρκτικό πάγο στον Βόρειο Πόλο συρρικνώθηκε κατά 10% τις τελευταίες δεκαετίες και το πάχος του πάγου που βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του νερού μειώθηκε κατά 40% περίπου. Στην αντίθετη άκρη του κόσμου, το στρώμα πάγου που καλύπτει την ήπειρο της Ανταρκτικής έχει καταστεί ασταθές.

- Οι παγετώνες υποχωρούν. Πιθανότατα, το 75% των παγετώνων των Ελβετικών Άλπεων θα έχουν εξαφανιστεί μέχρι το 2050. Οι επιχειρηματίες του κέντρου σκι του Άντερματ στην Ελβετία εξετάζουν τρόπους κάλυψης του παγετώνα του Gurschen, μιας δημοφιλούς για τους σκιέρ περιοχής, με ένα τεράστιο μονωτικό πλαστικό κάλυμμα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ούτως ώστε να αναστείλουν το λιώσιμο και τη διολίσθησή του.
- Όσο λιώνουν τα στρώματα πάγου τόσο ανεβαίνει η στάθμη της θάλασσας. Έχει ήδη ανέβει κατά 15-25 cm (ανάλογα με τη μέτρηση) τον τελευταίο αιώνα και προβλέπεται να ανέβει και άλλα 88 cm μέχρι το 2100. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν νησιά και παράκτιες περιοχές χαμηλού υψομέτρου, όπως οι Μαλβίδες, το Δέλτα του Νείλου στην Αίγυπτο, καθώς και το Μπανγκλαντές. Στην Ευρώπη, κινδυνεύουν περίπου 70 εκατ. κάτοικοι των παρακτίων περιοχών αλλά και στην ενδοχώρα των παράκτιων ζωνών, το δε θαλάσσιο νερό θα εισχωρούσε και θα κατέστρεφε το καλλιεργούμενο έδαφος και τα αποθέματα γλυκού νερού.
- Εάν έλιωνε το τεράστιο στρώμα πάγου της Γροιλανδίας, κάτι που θα μπορούσε να συμβεί τους επόμενους αιώνες, η στάθμη της θάλασσας θα ανέβαινε κατά 7 m περίπου.
- Η αλλαγή του κλίματος προκαλεί ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καταιγίδες, πλημμύρες, ξηρασίες και καύσωνες. Την τελευταία δεκαετία τριπλασιάστηκαν σε σύγκριση με τη δεκαετία του 1960 οι καιρικές θεομηνίες, κυρίως οι πλημμύρες και οι ανεμοθύελλες, στον κόσμο. Οι εν λόγω καταστροφές όχι μόνο προκαλούν πολλές ζημιές, αλλά και ανεβάζουν σε δυσθεώρητα ύψη το κόστος των ασφαλίσεων.
- Ήδη το νερό σπανίζει σε πολλές περιοχές του κόσμου. Περίπου το ένα πέμπτο του παγκόσμιου πληθυσμού, δηλαδή 1,2 δισ. άτομα, δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό. Εάν οι παγκόσμιες θερμοκρασίες υπερβούν κατά 2,5ο Κελσίου τα προβιομηχανικά επίπεδα, άλλα 2,4 έως 3,1 δισ. άτομα παγκοσμίως θα υποφέρουν πιθανότατα από έλλειψη νερού.
- Επίσης, μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2,5ο Κελσίου θα εξέθετε 50 εκατ. άτομα στο ενδεχόμενο πείνας, πέραν των 850 εκατ. Ατόμων που υποφέρουν σήμερα από χρόνια πείνα. Στην Ευρώπη, η καλλιεργητική περίοδος επιμηκύνθηκε κατά δέκα ημέρες μεταξύ του 1962 και του 1995. Ενώ

το φαινόμενο αυτό ωφέλησε τη γεωργία στη Βόρεια Ευρώπη, ακόμη και εκεί οι παραγωγές θα αρχίσουν να μειώνονται μόλις οι θερμοκρασίες αυξηθούν πέραν των 2ο Κελσίου πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα.

- Ενδέχεται να εμφανιστούν επιδημίες τροπικών ασθενειών, όπως η ελονοσία, επειδή θα αυξηθεί η επιφάνεια της γης όπου οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν το κουνούπι - φορέα της ελονοσίας. Μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2ο Κελσίου θα εξέθετε σε κίνδυνο άλλα 210 εκατ. άτομα, πέραν των ήδη εκτεθειμένων.

- Από το 2070 περίπου και μετά, η Ευρώπη πιθανότατα θα πλήττεται ανά διετία από καύσιμα ανάλογο εκείνου του 2003. Ο θερινός καύσιμος του 2003 συνέβαλε στον πρόωρο θάνατο 20,000 Ευρωπαίων, προκάλεσε μεγάλης κλίμακας δασικές πυρκαγιές στη νότια Ευρώπη και γεωργικές ζημιές άνω των 10 δισ. ευρώ.

- Πολλά ζώα και φυτά δεν θα μπορέσουν να αντιμετωπίσουν με επιτυχία την αλλαγή των θερμοκρασιών, ούτε θα μπορέσουν να μετακινηθούν σε περιοχές με κατάλληλο για αυτά κλίμα. Από μια ανησυχητική μελέτη που εκπονήθηκε προκύπτει ότι η αλλαγή του κλίματος θα μπορούσε να οδηγήσει στην εξαφάνιση του ενός τρίτου των ειδών της γης μέχρι το 2050. Ιδιαίτερα απειλούνται θηλαστικά και πτηνά που ζουν σε ψυχρά κλίματα, όπως οι πολικές αρκούδες, οι φώκιες, οι θαλάσσιοι ίπποι και οι πιγκουΐνοι. Στο δάσος του Αμαζονίου, οι επιστήμονες παρατήρησαν ότι τα μεγαλύτερα, και με ταχύτερους ρυθμούς αναπτυσσόμενα δένδρα που απορροφούν περισσότερο CO₂ αναπτύσσονται εις βάρος άλλων φυτικών ειδών.

- Σε πιο μακροπρόθεσμη βάση, οι εκτεταμένες κλιματικές αλλαγές ενδέχεται να οδηγήσουν σε περιφερειακές συγκρούσεις, λοιμούς και μετακινήσεις προσφύγων, στο μέτρο που θα σπανίζουν τα τρόφιμα καθώς και οι υδατικοί και ενεργειακοί πόροι.

- Ένα άλλο καταστροφικό ενδεχόμενο θα ήταν η αναστολή της ροής του Ρεύματος του Κόλπου, το οποίο μεταφέρει θερμά ύδατα στις βόρειες περιοχές του Ατλαντικού - ένα σενάριο που χρησιμοποιήθηκε στην ταινία του 2003 "Η μεθαυριανή ημέρα" (The day after tomorrow). Ενώ ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι μάλλον απίθανο να υλοποιηθεί τον αιώνα που διατρέχουμε, οι επιστήμονες συμφωνούν ότι εάν υλοποιείτο θα ακύρωνε τις θερμαντικές τάσεις στη βόρεια

Ευρώπη και θα είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πολύ ψυχρότερου κλίματος στις περιοχές αυτές.

1.4. Η βοήθεια από την ηλιακή ψύξη

Κατά καιρούς, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την αποφυγή της υπερθέρμανσης και τη μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών κτιρίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Στην περιοχή της Μεσογείου για παράδειγμα, τα κτίρια είναι βαμμένα με ανοιχτά χρώματα, προκειμένου να αντανakλούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά κατά τη θερινή περίοδο. Οι εναλλακτικές μέθοδοι δροσισμού είναι βασισμένες σε διάφορες τεχνικές παθητικής ψύξης και ψύξης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (προστασία με μέτρα στο σχεδιασμό του κτιρίου, χρήση ειδικού εξοπλισμού για τη μείωση των θερμικών κερδών ή για την απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον). Όλες αυτές οι τεχνικές στοχεύουν στη μείωση των ψυκτικών φορτίων και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται λόγω της εκτενούς χρήσης του κλιματισμού χώρων (Heating Ventilation & Air Conditioning,), αυξάνοντας το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής με αποτέλεσμα να προκαλούνται σημαντικά προβλήματα στην ηλεκτροδότηση. Η "ενεργειακή έλλειψη" είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια των "ξηρών" ετών λόγω της ανεπάρκειας των υδροηλεκτρικών σταθμών, ώστε να καλυφθεί ποσοστό του φορτίου αιχμής. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτει με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες "μηδενικών εκπομπών" με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

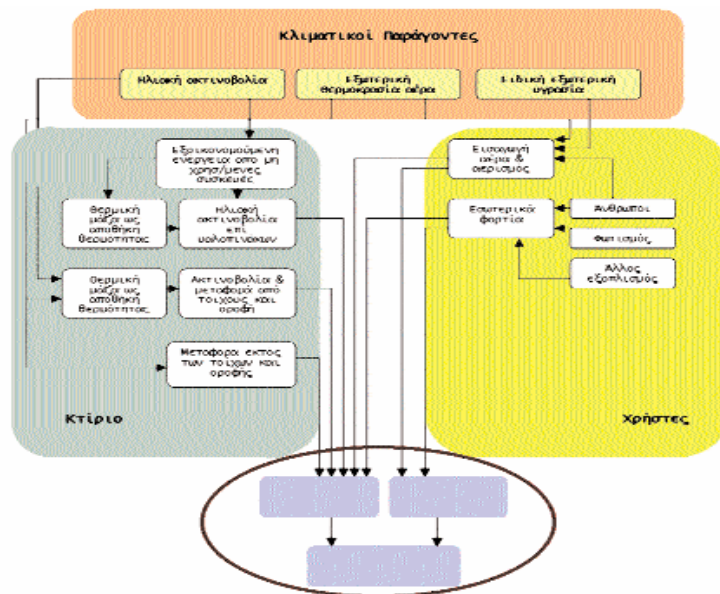
Χάρη στα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι δυνατό να κλιματιστούν κτίρια μειώνοντας στο ελάχιστο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εντούτοις, παρόλο που η χρησιμοποιούμενη ενέργεια παρέχεται δωρεάν (ηλιακή ενέργεια), τα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι προς το παρόν ακριβότερα από τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού αντίστοιχης ψυκτικής ισχύος. Επομένως, αν αποφασισθεί η εγκατάσταση ενός συστήματος ηλιακής ψύξης, πρέπει να γίνει προσεκτική ανάλυση των παραμέτρων του κτιρίου που θα κλιματίζεται και να υιοθετηθούν όλα τα μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών.

Στα συστήματα ψύξης, η ισχύς των ψυκτών επιλέγεται με βάση τα θερινά ψυκτικά φορτία, τα οποία είναι το άθροισμα όλων των ψυκτικών φορτίων, εσωτερικών και εξωτερικών, τα οποία έχουν επιπτώσεις στη θερμική ισορροπία μεταξύ του κτιρίου και του περιβάλλοντος χώρου (αλλά και όλων των άλλων γειτονικών κτιρίων που δεν κλιματίζονται). Το καλοκαίρι, το ποσό θερμότητας που απάγεται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους (όπως για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία), μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Οι παράγοντες που προκαλούν σημαντική μεταβολή των ψυκτικών φορτίων συνοψίζονται παρακάτω:

- επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω διαφανών επιφανειών
- επιδράσεις της μεταφοράς θερμότητας μέσω διαφανών και αδιαφανών κατασκευών
- επιδράσεις της θερμικής αδράνειας των κτιριακών κατασκευών
- εσωτερικά θερμικά φορτία, αισθητά και λανθάνοντα, λόγω της παρουσίας ανθρώπων και συσκευών που παράγουν θερμότητα (φωτισμός, συσκευές, κλπ.)
- θερμικά κέρδη, αισθητά και λανθάνοντα, λόγω φυσικού και εξαναγκασμένου αερισμού του χώρου.

Το διάγραμμα ροής του σχήματος 1 δείχνει ότι το ψυκτικό φορτίο επηρεάζεται πολύ από τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους. Ένα σύστημα ψύξης σχεδιασμένο, για την κάλυψη των αναγκών τους θερινούς μήνες, πρέπει να είναι σε θέση να απάγει την αισθητή αλλά και τη λανθάνουσα θερμότητα από το κτίριο.



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της διαδικασίας υπολογισμού για την εκτίμηση ψυκτικών φορτίων κτιρίου

Τα εμπορικά συστήματα ηλιακού κλιματισμού χρησιμοποιούν συνήθως τεχνολογίες απορρόφησης και προσρόφησης για ψύξη. Οι τεχνολογίες αυτές αποτελούνται από ψύκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ζεστό νερό θερμοκρασίας από 70 ως 110 C για την παραγωγή κρύου νερού (7 - 10) που χρησιμοποιείται για τον κλιματισμό του κτιρίου. Ηλιακοί συλλέκτες υψηλής απόδοσης μπορούν να τροφοδοτήσουν με ζεστό νερό προσαγωγής τον ψύκτη. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το ζεστό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον κλιματισμό του κτιρίου αλλά και για την εξασφάλιση του ζεστού νερού χρήσης που χρειάζεται. Τους χειμερινούς μήνες το ζεστό νερό μπορεί να εξασφαλίσει τη θέρμανση του κτιρίου καθώς επίσης και τις ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.

2. ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

2.1. Γενικά





Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η διαδικασία ψύξης τροφοδοτείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι πιο κοινές τεχνολογίες κλιματισμού με χρήση της ηλιακής ενέργειας, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

-κλειστά συστήματα: αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Στην αγορά σήμερα υπάρχουν διαθέσιμοι οι ψύκτες απορρόφησης (πιο κοινοί) και ψύκτες προσρόφησης (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για κλιματισμό ηλιακό).

-ανοικτά συστήματα: που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ξηρό ψυχρό και αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό, δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant), που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες ροφητικό υλικό.

Πίνακας 1. Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού





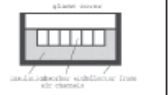
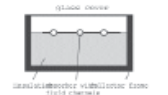
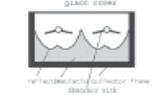

Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγραση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικά ζεύγη υλικών	νερό - silica gel	νερό - βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβέστιο	νερό - χλωριούχο ασβέστιο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα (kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 - > 1	> 1
Θερμοκρασία αναγέννησης	60 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοί συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

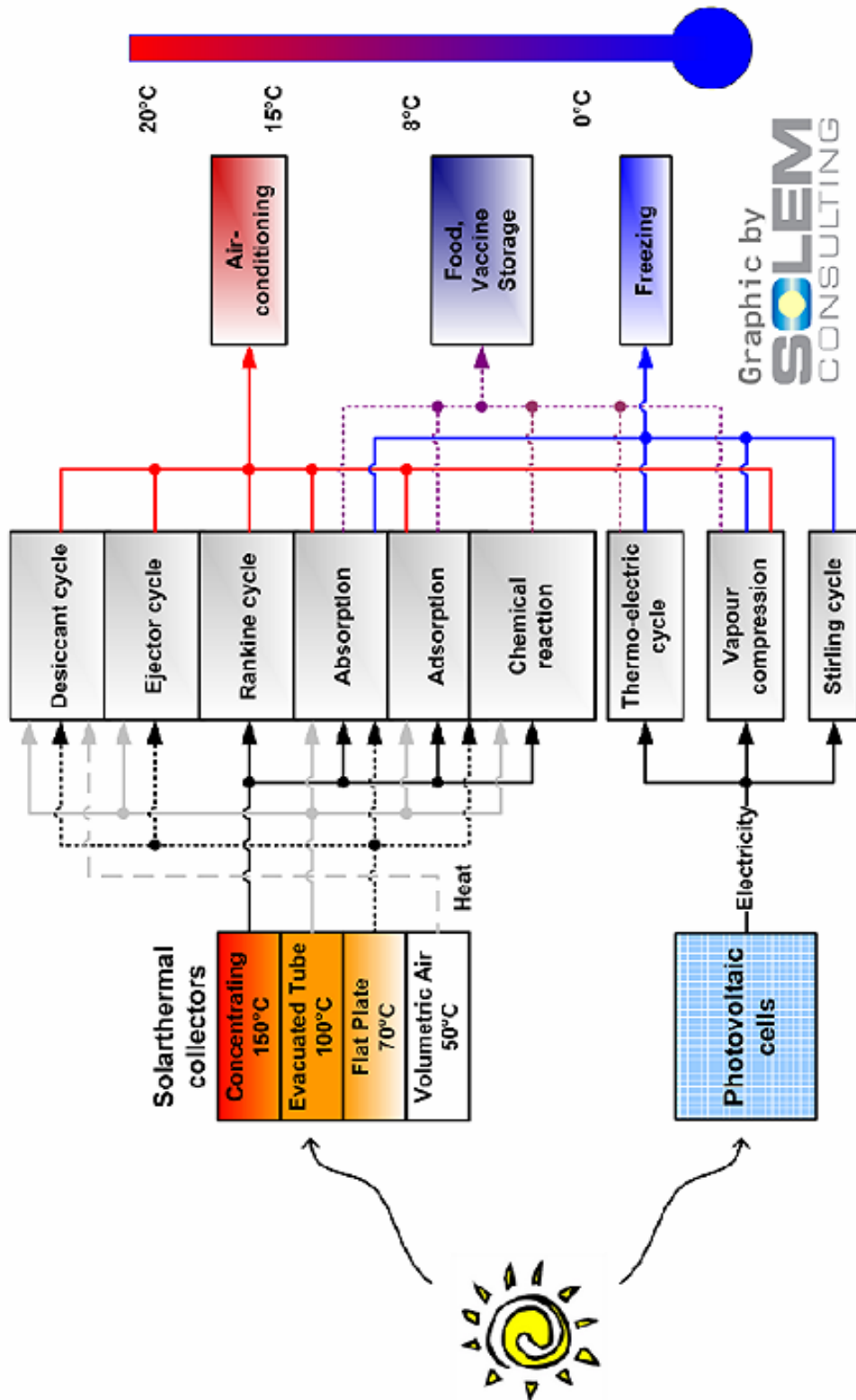
Ηλιακοί συλλέκτες

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες που διατίθενται στην αγορά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα συστήματα υψηλών θερμοκρασιών όπως οι παραβολικοί συλλέκτες με σύστημα παρακολούθησης του ήλιου δε λαμβάνονται υπόψη. Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η διαφορά στη λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τα ηλιακά συστήματα ζεστού νερού χρήσης είναι το υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας, στο οποίο πρέπει να παρασχεθεί η χρήσιμη θερμότητα. Για τους θερμοκίνητους ψύκτες, η θερμοκρασία αναγέννησης είναι συνήθως άνω των 80°C, με ελάχιστη τιμή 60°C. Για τα συστήματα ψύξης DEC, η θερμοκρασία αναγέννησης είναι από 55°C ως και 90°C. Λόγω των υψηλών παροχών στο κύκλωμα θέρμανσης, η ιδανική στρωμάτωση στην αποθήκευση ζεστού νερού είναι δύσκολο να επιτευχθεί και έτσι η θερμοκρασία επιστροφής στον ηλιακό συλλέκτη είναι σχετικά υψηλή. Αυτό προκαλεί μερικούς περιορισμούς στην

επιλογή του τύπου συλλεκτών. Συνεπώς, οι τυποποιημένοι επίπεδοι συλλέκτες και οι ηλιακοί συλλέκτες αέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέγιστο όφελος στα συστήματα DEC. Στις διατάξεις που χρησιμοποιούν ψύκτη προσρόφησης ή απορρόφησης μονής βαθμίδας, η χρήση επίπεδων συλλεκτών επιλεκτικής επιφάνειας περιορίζεται σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Για τις άλλες περιοχές και για ψύκτες που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης, χρησιμοποιούνται συλλέκτες υψηλής απόδοσης, π.χ. συλλέκτες σωλήνων κενού. Από τα σταθερά συστήματα συλλεκτών, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν με συλλέκτες σωλήνων κενού, χρησιμοποιώντας οπτική συγκέντρωση. Αυτή αποτελεί ενδιαφέρουσα επιλογή για τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούν υψηλής απόδοσης ψύκτες απορρόφησης (διπλής βαθμίδας).

Πίνακας 2. Τύποι ηλιακών συλλεκτών

Τύπος συλλεκτών	Ηλιακός συλλέκτης αέρα	Επίπεδος συλλέκτης	Σταθερός παραβολικός σύνθετος συλλέκτης	Συλλέκτης Σωλήνων Κενού
Σύντμηση	(Solar Air Collector) SAC	(Flat-Plate Collector) FPC	(Stationary Parabolic Compound Collector) CPC	Evacuated Tube Collector ETC: 1. Evacuated Tube with Heat Pipe EHP (με σωλήνα θερμότητας) 2. Evacuated Tube with Direct Flow EDF (απ' ευθείας ροής) 3. Sydney-type Evacuated Tube with Concentrator Reflector SYC (τύπος Sydney με συγκεντρωτικό ανακλαστήρα)
				
				
Αρχή λειτουργίας	Άμεση θέρμανση του αέρα	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη) Συγκέντρωση ακτινοβολίας χωρίς παρακολούθηση	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Γυάλινος σωλήνας κενού για μείωση των θερμικών απωλειών
Κύρια εφαρμογή	Προθέρμανση του αέρα προσαγωγής	Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης
Κύρια εφαρμογή στον ηλιακό κλιματισμό	Ανοκτά συστήματα ψύξης, π.χ. συστήματα ψύξης DEC	Συστήματα ψύξης DEC θερμοκίνητα ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας θερμοκίνητοι ψύκτες διπλής βαθμίδας (SYC)



Graphic by
SOLEM
CONSULTING

Σχήμα 2 .Τεχνικές επιλογές για ηλιακό κλιματισμό

2.2. Συστήματα κλειστού τύπου (θερμοκίνητοι ψύκτες)

Οι θερμοκίνητοι ψύκτες μπορούν να χαρακτηριστούν από τρία θερμοκρασιακά επίπεδα:

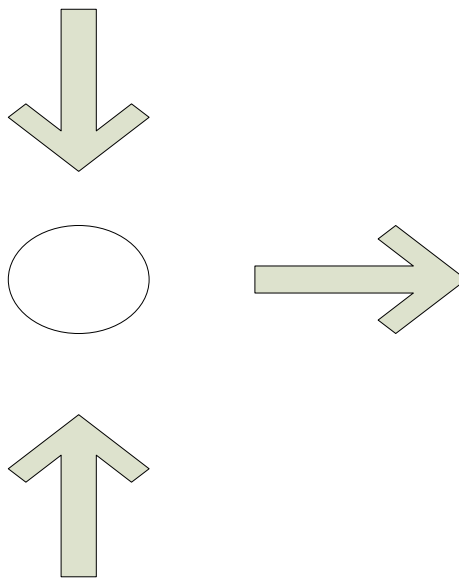
- *επίπεδο υψηλής θερμοκρασίας* στο οποίο παρέχεται η θερμοκρασία αναγέννησης της διεργασίας ρόφησης (sorption),
- *επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας* στο οποίο λειτουργεί η διαδικασία ψύξης,
- *μέσο επίπεδο θερμοκρασίας* στο οποίο και η θερμότητα που απορρίπτεται από τον κύκλο ψυχρού νερού και η θερμότητα αναγέννησης πρέπει να απομακρυνθούν.

Για την απομάκρυνση αυτής της θερμότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πύργος ψύξης υγρού τύπου.

Μια βασική παράμετρος που περιγράφει την αποδοτικότητα ενός θερμοκίνητου ψύκτη είναι ο Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης (Coefficient of Performance, COP), που ορίζεται ως το κλάσμα της θερμότητας που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού και της απαραίτητης θερμότητας αναγέννησης, δηλαδή $COP_{thermal} = Q_{cold} / Q_{heat}$. Είναι δε διαφορετικός από το COP_{conv} ενός συμβατικού, ηλεκτροκίνητου ψύκτη συμπίεσης, που ορίζεται ως $COP_{conv} = Q_{cold} / E_{electric}$, με τον όρο $E_{electric}$ να αντιπροσωπεύει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ψύκτη. Ο ορισμός του $COP_{thermal}$ δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, μια ρεαλιστική σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών απαιτεί την εκτίμηση της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για τροφοδοσία θερμότητας, για αντλίες, ανεμιστήρες, κλπ.

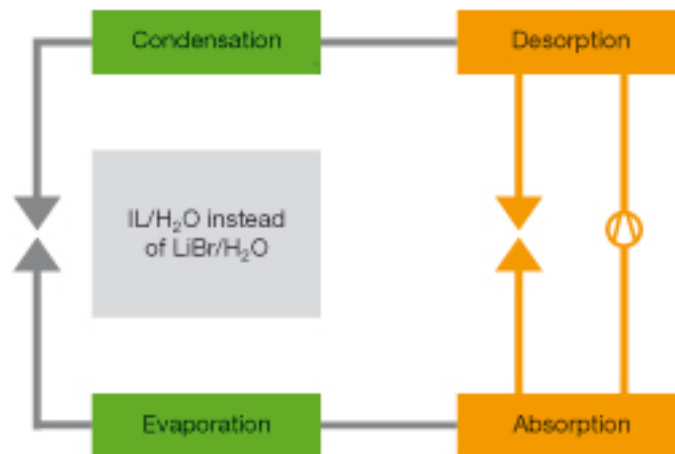
Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μικρότερος είναι ο COP, τόσο περισσότερη τροφοδοσία θερμότητας απαιτείται και περισσότερη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί από τον ψυκτικό πύργο. Αντίστροφα, η υψηλή τιμή COP είναι πλεο-νεκτική στη μείωση και της τροφοδοσίας θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας για τις αντλίες στον κύκλο θέρμανσης και στον κύκλο επανάψυξης (re-cooling cycle). Η απαιτούμενη θερμοκρασία ψυχρού νερού εξαρτάται από το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης στους επιμέρους χώρους. Σε περίπτωση που απαιτείται αφύγρανση του αέρα, π.χ. πτώση κάτω από το σημείο

κορεσμού της θερμοκρασίας δωματίου με τη χρήση τοπικών κλιματιστικών μονάδων, απαιτούνται θερμοκρασίες ψυχρού νερού της τάξης 6°C-9°C. Για την απομάκρυνση μόνο των αισθητών ψυκτικών φορτίων, δεδομένου ότι επιτυγχάνεται με παροχή ψυχρού αέρα ή με ψυχρές οροφές κλπ., η θερμοκρασία ψυχρού νερού 12°C- 15°C είναι ικανοποιητική, επιτρέποντας έτσι να λειτουργήσει ο ψύκτης με υψηλότερη απόδοση.



Σχήμα 3. Βασικό σχέδιο της διαδικασίας: Το Q_{cold} είναι η θερμότητα που απορρίπτεται από το ψυχρό νερό στον εξατμιστή του ψύκτη (ψυκτική ενέργεια), το Q_{heat} είναι η απαιτούμενη θερμότητα αναγέννηση (τροφοδοσία), και το ποσό Q_{reject} , το άθροισμα του Q_{cold} και του Q_{heat} , πρέπει να απορριφθεί σε μέσο επίπεδο θερμοκρασίας T_M . Το Q_{heat} παρέχεται είτε από το ηλιακό σύστημα είτε από τις εφεδρικές πηγές θερμότητας, π.χ. από τηλεθέρμανση ή από καυστήρα φυσικού αερίου.

Q_{heat}



Sorbent in Absorption Cooling

Σχήμα 4. Σχηματικό διάγραμμα ψύκτη απορρόφησης

2.2.1. Απορρόφηση (absorption)

Ιστορία ηλιακού κλιματισμού με απορρόφηση

Αν και ο κύκλος ψύξης απορρόφησης έχει μια προηγούμενη προέλευση (Carre, 1857) από τον κύκλο συμπίεσης ατμού (linde, 1875), η αγορά ψύξης ήταν από την αρχή της συνυφασμένη με τους κύκλους συμπίεσης ατμού, και ειδικά από το 1930 με την εισαγωγή των αλογονοποιημένων υδρογονανθράκων ως ρευστά μέσα από τα ψυγεία. Τα εμπορικά ψυγεία απορρόφησης είναι διαθέσιμα από το 1940 (απλή επίδρασης μηχανή), και 1970–1990 (διπλής επίδρασης μηχανές), αν και οι υψηλές δαπάνες τους και η χαμηλή τιμή της ενέργειας, μαζί με την ευρεία διάδοση των μηχανών συμπίεσης ατμού, περιόρισαν αρκετά την παρουσία τους.

Σήμερα, τα ψυγεία απορρόφησης λαμβάνουν μια επιπλέον προσοχή για τη χρήση τους στην εκμετάλλευση των υπόλοιπων θερμικών ενεργειακών ροών στις συνδυασμένες εγκαταστάσεις θερμότητας και ενέργειας, εκτός από τη δυνατότητά τους στα ηλιακά συστήματα ψύξης.

Το ενδιαφέρον για τη χρήση της ηλιακής ενέργειας για να τροφοδοτήσει τα ψυγεία απορρόφησης προέρχεται από πολύ καιρό πριν. Η κύρια θέση για την τεχνολογία ήταν πιθανά στις εφαρμογές συντήρησης τροφίμων με τους ασυνεχείς κύκλους απορρόφησης για τις μακρινές περιοχές στις λιγότερο

αναπτυγμένες χώρες, ενώ η εφαρμογή τους στον κλιματισμό άρχιζε ακριβώς να εξετάζεται για τα δημόσια κτήρια στις αναπτυγμένες χώρες, με τη χρήση τους στα κατοικημένα κτήρια εντελώς εκτός της σκέψης τους. Στην αρχή, διερευνήθηκαν οι δυνατότητες των ηλιακών συστημάτων απορρόφησης προσαρμοσμένα στα ψυγεία απορρόφησης συμβατικού ατμού προκειμένου να είναι σε θέση να λειτουργήσουν με το καυτό νερό από τον ηλιακό τομέα. Το σχέδιο και οι συνθήκες λειτουργίας των μηχανών απορρόφησης που χρησιμοποιούνται με την ηλιακή ενέργεια αναλύθηκαν επίσης.

Μετά την κρίση στον τομέα του πετρελαίου υπήρξε ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον στην ηλιακή απορρόφηση στον κλιματισμό στις ανεπτυγμένες χώρες, που θεωρούσαν ήδη την ηλιακή απορρόφηση ένα καλό συμπλήρωμα στην ηλιακή θέρμανση και στα συστήματα DHW. Η πιο λεπτομερής ανάλυση για τις εφαρμογές ηλιακής απορρόφησης άρχισε να μεγαλώνει, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι, αντίθετα στις συμβατικές εφαρμογές, τα ηλιακά ψυγεία απορρόφησης λειτουργούν συχνά εκτός περιοχής σχεδιασμού, σε μερικό φορτίο, και υπό μεταβλητές οριακές συνθήκες. Επομένως, και η θεωρητική διαμόρφωση του ψύκτη απορρόφησης και οι προσομοιώσεις της απόδοσης ηλιακών συστημάτων βασισμένης στον πειραματικό χαρακτηρισμό της μηχανής απορρόφησης αναλήφθηκαν, με τα τελευταία που παρουσιάζονται για να είναι πιο κατάλληλα να αξιολογήσουν την απόδοση του συστήματος. Τα πρώτα πειραματικά και αποδεικτικά συστήματα άρχισαν να εμφανίζονται.

Εντούτοις, η μείωση στις τιμές ενέργειας κατά τη διάρκεια των ετών κατόπιν, και η ισχυρή καθιέρωση των μηχανών συμπίεσης ατμού στην αγορά κλιματισμού, απέτρεψαν την επέκταση της τεχνολογίας. Επομένως, μέχρι τις ημέρες μας οι ηλιακές εγκαταστάσεις απορρόφησης διατηρούν κυρίως έναν επιδεικτικό χαρακτήρα.

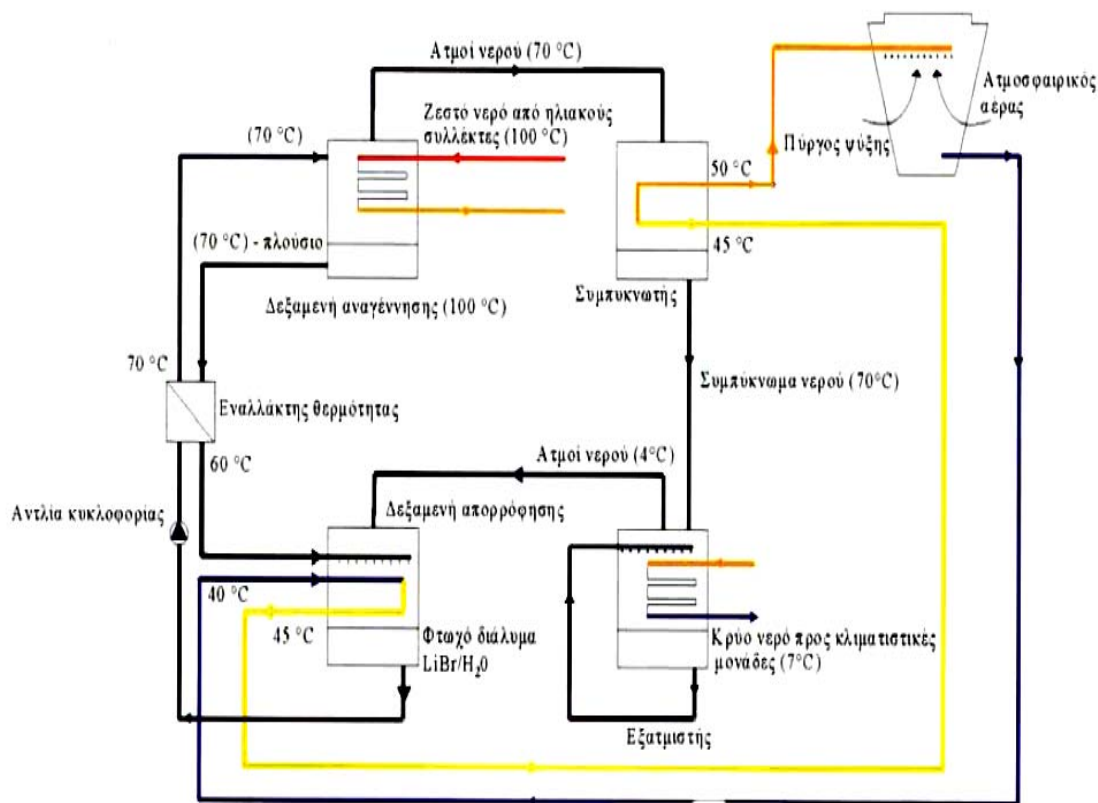
Οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου/ροφητικού υλικού και πηγή θερμότητας, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή. Για ψυχρό νερό άνω των 0°C, όπως απαιτείται στον κλιματισμό, τυπικά χρησιμοποιείται ένα υγρό διάλυμα H₂O/LiBr, με το νερό ως ψυκτικό μέσο.

Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα, καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης $H_2O/LiBr$, η κρυστάλλωση του διαλύματος πρέπει να αποφευχθεί με εσωτερικό έλεγχο της θερμοκρασίας απόρριψης θερμότητας στη μηχανή. Τα κύρια σημεία ενός ψύκτη απορρόφησης παρουσιάζονται στο σχήμα 5. Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου (νερό) στον εξατμιστή σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται στον απορροφητή, αραιώνοντας το διάλυμα $H_2O/LiBr$ (για να καταστεί η διαδικασία απορρόφησης αποδοτική, απαιτείται ψύξη σε αυτό το στάδιο της διεργασίας). Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του διαλύματος χρησιμοποιώντας θερμότητα (θερμότητα αναγέννησης/τροφοδοσίας) (π.χ. ζεστό νερό από ηλιακά). Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια, συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας στραγγαλιστικής/εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον εξατμιστή. Η ονομαστική ψυκτική ικανότητα των ψυκτών απορρόφησης είναι της τάξης αρκετών εκατοντάδων kW. Τροφοδοτούνται κυρίως μέσω κεντρικής θέρμανσης, απορριπτόμενης θερμότητας ή θερμότητας από συμπαραγωγή. Η απαιτούμενη θερμοκρασία της θερμικής πηγής είναι συνήθως πάνω από $80^{\circ}C$ για τις μηχανές μονής βαθμίδας ενώ ο COP είναι της τάξης του 0,6 έως 0,8. Μηχανές διπλής βαθμίδας με δύο στάδια συμπίεσης, απαιτούν θερμοκρασία άνω των $100^{\circ}C$, αλλά ο COP μπορεί να επιτύχει τιμές μέχρι και 1,2.

Υπάρχουν επίσης διαθέσιμοι κάποιοι ψύκτες απορρόφησης ψυκτικής ισχύος κάτω των 50 kW. Τέτοιες μικρές μονάδες χρησιμοποιούνται συχνά στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού με ψύκτες απορρόφησης. Ένας πρόσφατα αναπτυγμένος τύπος ψυκτών, μικρής ισχύος, επιτρέπει λειτουργία μερικού φορτίου με μειωμένη ψυκτική ισχύ σε θερμοκρασίες αναγέννησης $65^{\circ}C$ και με COP περίπου 0,7. Αυτό δείχνει πως υπάρχει περαιτέρω δυνατότητα για βελτίωση της απόδοσης των ψυκτών απορρόφησης.

Τα ηλιακά κλιματιστικά βασίζονται σε συνεχείς κύκλους απορρόφησης, που βασίζουν την λειτουργία τους σε ηλιακούς συλλέκτες. Ο κλιματισμός με την μέθοδο της απορρόφησης, έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομικά βιώσιμος, όταν υπάρχει μια φθηνή πηγή ενέργειας στο εύρος των θερμοκρασιών απο



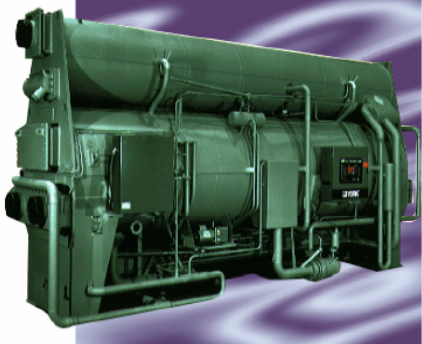
100 έως 200 °C. Επίσης μηχανές απορρόφησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν αναγεννητές , σε τυπικά κλιματιστικά μηχανήματα, με παραγωγή ψυχρού νερού. Έρευνες σε συστήματα που χρησιμοποιούν την μέθοδο της απορρόφησης, στηριζόμενα σε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, για οικιακή χρήση, έχουν σαν στόχο την βελτίωση της προσαρμογής αυτών των τύπων. Επιστήμονες χρησιμοποιώντας τον συνδυασμό νερού-βρωμιούχου λιθίου, αναζήτησαν το βέλτιστο ψυκτικό μέσο, ανάμεσα σε αρκετά υποψήφια. Ο μέγιστος COP του ψυκτικού κύκλου για την χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των συλλεκτών , επιτυγχάνεται με την χρήση του συνδυασμού νερού-βρωμιούχου λιθίου. Έχουν μελετηθεί και άλλα ψυκτικά μέσα, αλλά χωρίς να έχουν παρατηρηθεί ουσιαστικά πρακτικά αποτελέσματα. Τα συστήματα απορρόφησης χωρίζονται σε υγρού τύπου και στερεού τύπου.



Σχήμα 5. Αρχή λειτουργίας ενός ψύκτη απορρόφησης (LiBr/H₂O)

Η αποτελεσματικότητα ενός κύκλου απορρόφησης ,εξαρτάται απο τις δύο ουσίες που αποτελούν το ψυκτικό και το απορροφητικό μέσο. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά αυτών των δύο ουσιών είναι τα εξής:

- η απουσία απορροφητή στερεού τύπου
- ένα ψυκτικό που θα είναι περισσότερο πτητικό απο τον απορροφητή ώστε να διαχωρίζεται απο το απορροφητικό μέσο
- ένα απορροφητικό μέσο που δεν θα έχει συγγένεια με το ψυκτικό
- υψηλού βαθμού χημική σταθερότητα για μακροχρόνια λειτουργία
- ένα ψυκτικό που θα έχει μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα
- μικρό βαθμό διάβρωσης και καθόλου τοξικότητα για λόγους ασφαλείας

 <p>Source: Sonnenklima</p>	 <p>Picture source: Thermax</p>	 <p>Picture source: York</p>
<p>Sonnenklima SunInverse, 10kW_{ref}</p>	<p>Thermax Cogenie, 240 kW_{ref}</p>	<p>York YIA Millenium, 422 kW_{ref}</p> <p>Table by SOLEM CONSULTING</p>

Εικόνα 1. Παραδείγματα ψυκτών απορρόφησης

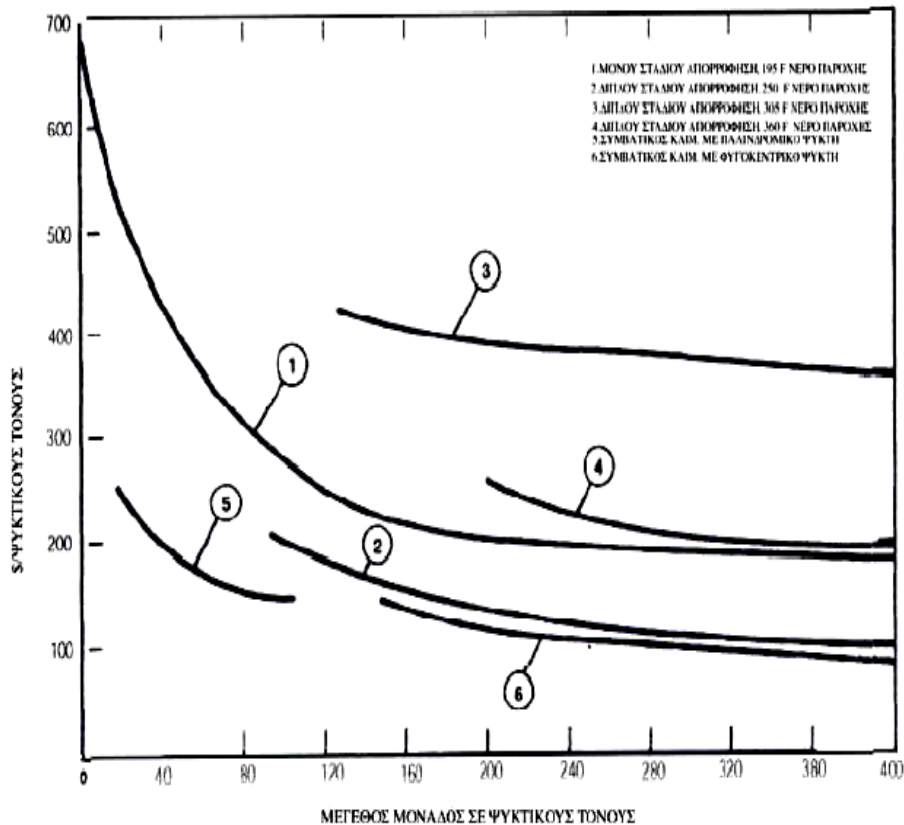
2.2.1.1. Σύγκριση μεθόδου μονού σταδίου με διπλού σταδίου κύκλου απορρόφησης

Ένας κανονικός κύκλος ψύξης με απορρόφηση δεν είναι διαφορετικός απο αυτούς που χρησιμοποιούνται σε άλλους τύπους κλιματισμού (συμπύεση ατμού). Ένα ψυκτικό μέσο (συνήθως νερό, αντί για άλλο ψυκτικό μέσο), επιτρέπεται να εξατμιστεί και να κρυώσει τον αέρα. Στην συνέχεια το νερό ξανασυμπιέζεται και η απορριπτόμενη θερμότητα αποβάλλεται στην

ατμόσφαιρα. Στον κύκλο απορρόφησης αυτή η συμπίεση επιτυγχάνεται με την απορρόφηση ατμών από νερού από διάλυμα άλατος που ευρίσκεται σε χαμηλή πίεση. Αυτό το διάλυμα παράγεται συνεχώς από μονάδα απόσταξης η οποία λειτουργεί με θερμότητα προερχόμενη από καύσιμο. Η ψύξη που προέρχεται από το σύστημα απορρόφησης μπορεί να χωρισθεί σε δύο διακριτές και διαλειπείς φάσεις. Με αυτό τον τρόπο το διάλυμα άλατος μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά αργότερα όποτε απαιτηθεί από το ψυκτικό φορτίο. Ο βασικός περιορισμός σε μια τέτοια διαδικασία είναι το *μεγάλο κόστος των εργαζόμενων μέσων*.

Μεγάλα κονδύλια χρημάτων και χρόνου έχουν επενδυθεί σε έρευνες για καλύτερα και φθηνότερα εργαζόμενα μέσα. Συνήθως χρησιμοποιούνται διαλύματα βρωμιούχου λιθίου –νερού πιο περιορισμένα. Οι μονάδες απορρόφησης κοστίζουν από τη φύση τους περισσότερο έναντι των αντιστοίχων ηλεκτρικών επειδή απαιτείται μεγάλος αριθμός εκναλλακτών θερμότητας και μεγάλοι πύργοι ψύξης αναγκαίων για τη μεταβολή της θερμότητας κατά την διαδικασία απορρόφησης.

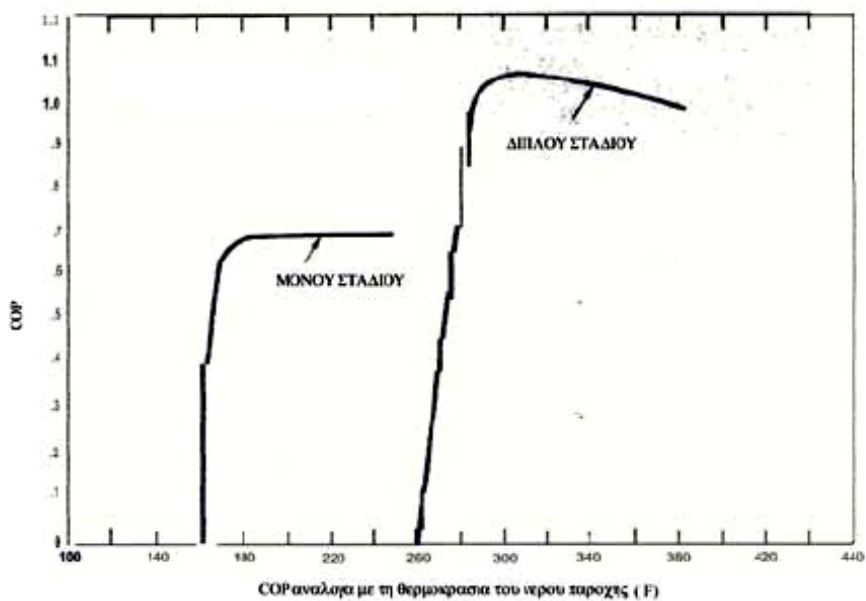
Τα συστήματα διπλού σταδίου είναι ακόμη πιο ακριβά από αυτά του μονού σταδίου επειδή παράγονται σε μικρότερο αριθμό. Μια ανάλυση των συστατικών που απαιτούνται έδειξε ότι οι μηχανές διπλού σταδίου μπορούν να κοστίσουν περίπου 20% παραπάνω από τις μηχανές απλού σταδίου, της ίδιας ισχύος. Οι τιμές που φαίνονται στο διάγραμμα 1 δείχνουν ότι οι μηχανές διπλού σταδίου που λειτουργούν στους 306 F αντί στους 360 F και κοστίζουν σχεδόν το διπλάσιο επειδή η χωρητικότητά τους θα μειωθεί. Τα μικρά μονά συστήματα απορρόφησης που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά είναι της Arkla SA μονού σταδίου που κατασκευάζονται από 3 ως 25 ψυκτικούς τόνους. Διπλού σταδίου μικρά συστήματα δεν υπάρχουν ακόμη. Στην Αμερική παρουσιάστηκε στην αγορά κατά την δεκαετία του 60 μηχανή διπλού σταδίου μικρού μεγέθους που λειτουργούσε με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου με σημαντικές αποδόσεις. Γρήγορα όμως αναγκάστηκε να την αποσύρει επειδή η εταιρεία δεν κατόρθωσε να ξεπεράσει προβλήματα αξιοπιστίας παρ' όλες τις σχετικές δαπάνες. Αυτή η μονάδα ήταν πολύ διαφορετική από τις άλλες μονάδες μονού σταδίου και το τεχνικό προσωπικό δυσκολευόταν να την συντηρήσει.



Διάγραμμα 1 . Εκτιμώμενο κόστος ανα ψυκτικό τόνο των μηχανών απορρόφησης μονού και διπλού σταδίου

Επιδόσεις του συστήματος απορρόφησης

Ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) των σύγχρονων μηχανών απορρόφησης φαίνεται στο διάγραμμα 2. Μια τυπική μηχανή μονού σταδίου έχει $COP= 0,65$ και μια τυπική μηχανή διπλού σταδίου έχει $COP=1,1$. Οι COP που φαίνονται στο διάγραμμα 2 δεν συμπεριλαμβάνουν την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία των αντλιών και για την περιστροφή του ανεμιστήρα στον πύργο ψύξης. Οι αντλίες κινούν το ψυχρό νερό στο κτήριο και προς τους πύργους ψύξης. Αυτές οι περιφερειακές συσκευές σε μια τυπική εφαρμογή περίπου $0,14 \text{ kW} / \text{ton}$ ψύξης. Επίσης οι COP δεν συμπεριλαμβάνουν την απώλεια ενέργειας απο το μπιουερ όταν η μονάδα απορρόφησης χρησιμοποιεί καύσιμο ύλη , απο ορυκτό υλικό.



Διάγραμμα 2. διάγραμμα του COP συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού παροχής για απλού και διπλού σταδίου κύκλο απορρόφησης

Οι COP που φαίνονται στο διάγραμμα 2 ανταποκρίνονται σε μονάδες που λειτουργούν με ψυκτικά υγρά θερμαινόμενα από τον ήλιο ή με ατμό που παράγεται από απορριπτόμενη θερμότητα. Στις μονάδες που χρησιμοποιούν υλικά άμεσης καύσης οι COP μειώνονται κατά 20%.

Από τα ανωτέρω διαφαίνεται η ανάγκη να βελτιωθούν οι αποδόσεις αυτών των μηχανημάτων. Ήδη η εταιρεία Arkla SA έχει έτοιμη την νέα μονάδα απορρόφησης μονού σταδίου με COP άνω του 0,7 και σε μισή τιμή κόστους, όσο περίπου οι παλαιές. Μια πειραματική συσκευή που ήταν βελτίωση του μονού σταδίου της Arkla πέτυχε COP ,μεγαλύτερο από 0,8. Μια συσκευή διπλού σταδίου άλλης εταιρείας πέτυχε COP 1,2 αλλά χωρίς να υπολογίζονται οι απώλειες από το μπουλερ και τα απαιτούμενα ηλεκτροκίνητα περιφερειακά. Ορισμένοι τεχνικοί πιστεύουν ότι είναι δυνατόν να κατασκευασθούν μηχανήματα που θα επιτυγχάνουν COP και πλησίον του 1,35.

2.2.1.2. Απόδοση απορροφητή ενός ψύκτη απορρόφησης LiBr/H₂O

Είναι γνωστό ότι ο απορροφητής είναι ένα από το σημαντικότερα συστατικά ενός ψυγείου απορρόφησης, ο οποίος μπορεί να επηρεάσει την

απόδοση του ψυγείου, το κόστος της επένδυσης και της συντήρησης. Το μέγεθος του απορροφητή είναι κανονικά μεγαλύτερο επειδή οι συντελεστές της μεταφοράς θερμότητας και μάζας του απορροφητή για τον ψύκτη απορρόφησης λιθίου-βρωμίου (LBAC) είναι χαμηλοί. Επομένως, πολλές έρευνες, που ψάχνουν τους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας και μάζας του υδάτινου διαλύματος βρωμίδιου –λίθιου (LiBr), έχουν γίνει για να βελτιώσουν την απόδοση του απορροφητή. Ο απορροφητής σε LBAC χρησιμοποιεί ένα κέλυφος-σωλήνα εναλλάκτης θερμότητας και μάζας, όπου το υδάτινο διάλυμα LiBr επιπλέει στο μέρος του κελύφους ενώ το μέσο ψύξης στους σωλήνες. Ο απορροφητής μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση μεταφοράς θερμότητας και μάζας:

- (1) Αυξάνοντας την πίεση απορρόφησης και τη συγκέντρωση εισαγωγής στον LBAS ή μειώνοντας την θερμοκρασία εισαγωγής ύδατος ψύξης .
- (2) Συγκεντρώνοντας την προσοχή σε ένα μονού σωλήνα ή πολλαπλών σωλήνων απορροφητή οριζόντιο ή κάθετο εντός του απορροφητή για να βελτιώσει τη τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας στον LBAS .
- (3) Προσθήκη μερικών μέσων απολύμανσης στο LBAS για να εντείνει τη μεταφορά μάζας .

Οι περισσότερες από τις έρευνες ανωτέρω για τη βελτίωση των συντελεστών μεταφοράς θερμότητας και μάζας του υδάτινου διαλύματος LiBr εστιάζοντας την προσοχή στο μηχανισμό της μεταφοράς θερμότητας και μάζας για έναν ενιαίου εσωτερικού σωλήνα απορροφητή.

Η αρχή της απορρόφησης υδάτινου διαλύματος LiBr

Το ποσό υδρατμού (που χρησιμοποιείται ως ψυκτική ουσία) από τον εξατμιστήρα αποφασίζει την ψυκτική ικανότητα του LBAC και εξαρτάται από την απορροφητική δυνατότητα του απορροφητή. Εντούτοις, η απορροφητική ικανότητα του LBAC είναι μια λειτουργία της μεταφοράς μάζας που όχι μόνο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, συγκέντρωση του διαλύματος, αλλά και επηρεάζεται από τη διαφορά πίεσης μεταξύ του κορεσμένου υδρατμού που γεμίζει του απορροφητή και την μερική πίεση υδρατμού της διεπαφής του συγκεντρωμένου υδάτινου διαλύματος LiBr, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\Delta p = p_a - p_c \quad (1)$$

όπου το P_c είναι η μερική πίεση υδρατμού της διεπαφής του διαλύματος, και το P_a είναι η πίεση κορεσμένου υδρατμού από τον εξατμιστήρα.

Η εξ. (1) δείχνει ότι η αποδοτικότητα απορρόφησης του απορροφητή θα μπορούσε να βελτιωθεί με την αύξηση του Δp . Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με είτε την αύξηση P_a είτε τη μείωση του P_c . Η τιμή του P_a είναι συνήθως ίση με την πίεση εξάτμισης, και εκείνο το P_c είναι μια λειτουργία της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης κολλοειδούς διαλύματος όπως φαίνεται στην ακόλουθη εξίσωση:

$$p_c = f(t, \xi) \quad (2)$$

όπου το t είναι η θερμοκρασία διαλύματος ($^{\circ}\text{C}$) και ξ είναι η συγκέντρωση του διαλύματος, (%).

Με βάση την ιδιότητα του διαλύματος βρωμίδιων λίθιου, την τιμή του P_c μπορεί να χαμηλώσουν με τη μείωση του t κρατώντας τη συγκέντρωση σταθερή ή αυξάνοντας το ξ όταν η θερμοκρασία είναι αμετάβλητη. Επομένως, φαίνεται ότι να η απορροφητική δυνατότητα του απορροφητή και η απόδοση του LBAC μπορεί να βελτιωθεί με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος λίθιου –βρωμίδιων. Εντούτοις, δεν έχει πάντα αποτέλεσμα στο συντελεστή της απόδοσης (COP) βελτιωμένο από τον ψύκτη με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος επειδή το ποσό θερμότητας αυξάνεται επίσης με την αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος και η θερμοκρασία παραγωγής ανεβαίνει. Είναι, επομένως, απαραίτητο να ερευνηθεί σχέση μεταξύ του COP του ψύκτη με τη συγκέντρωση του διαλύματος και τον μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας και μάζας της μεμβράνης του απορροφητή.

Τα μοντέλα των μεμβρανών απορρόφησης

Υπάρχουν τρία είδη λύσης διανέμοντας τα σχέδια μέρους έρευνα του μηχανισμού μεταφοράς θερμότητας και μάζας ταινία στους σωλήνες του

απορροφητή, δηλαδή τη διανομή των σταγονιδίων, την κυλινδρική διανομή και τη διανομή στη μεμβράνη. Το διάλυμα ύδατος LiBr θα έσταζε στην επιφάνεια του σωλήνα όταν το ποσοστό ψεκάσματος του διαλύματος είναι ελαφρύ, και καλείται ως διανομή σταγονιδίων.

Ο κορεσμένος υδρατμός στον απορροφητή απορροφάται από τη συγκέντρωση της μεμβράνης του διαλύματος ύδατος LiBr που ρέει μέσα στο τείχος του σωλήνα και το διάλυμα γίνεται πιο αραιό, ενώ η θερμοκρασία του αυξάνει. Ο απορροφητής πολλαπλών σωλήνων, όπως φαίνεται στο σχ. είναι χωρισμένοι ολόκληροι σωλήνες σε μερικές ομάδες, και κάθε ομάδα περιλαμβάνει τρεις σειρές σωλήνων στην κατακόρυφο κατεύθυνση για να χρησιμοποιηθεί το πρότυπο. Ένα μαθηματικό πρότυπο αναπτύσσεται βασισμένο στις ακόλουθες υποθέσεις:

- (1) Η μεμβράνη του διαλύματος είναι σταθερή και ελαστική, και η μοριακή διάχυση και η απελευθερωμένη ενέργεια αγνοούνται.
- (2) Η πίεση της φάσης υδρατμού είναι ομοιογενής, δεν υπάρχει καμία αντίσταση μεταφοράς μάζας στη φάση υδρατμού, και η μεταφορά θερμότητας στη φάση υδρατμού παραμελείται.
- (3) Εκτός από τη θερμότητα που εκπέμπεται από τη μειωμένη ταινία της λύσης να απορροφήσει τον υδρατμό κατά τη διάρκεια της απορρόφησης διαδικασία, δεν υπάρχει καμία ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ της λύσης και ο διαποτισμένος υδρατμός.
- (4) Το διάλυμα ύδατος LiBr είναι ασυμπίεστο, και θερμοδυναμικός του οι παράμετροι είναι αμετάβλητες κατά τη διάρκεια να απορροφήσει τη διαδικασία.
- (5) Δεν υπάρχει καμία αντίσταση μαζικής μεταφοράς στη διεπαφή μεταξύ του ατμού και της λύσης, και της δύναμης κουράς στη διεπαφή αγνοείται.
- (6) Ο υδρατμός είναι διαποτισμένος και καθαρός.
- (7) Στον απορροφητή, οι παράμετροι της εξόδου κάτω από την ομάδα από τους σωλήνες ίσους με εκείνο τον κολπίσκο ανωτέρω για το δροσίζοντας ύδωρ, και οι παράμετροι της εξόδου επάνω από την ομάδα ίση με εκείνος ο κολπίσκος κατωτέρω για το διάλυμα ύδατος LiBr.

2.2.1.3. Σύγκριση Ψυκτών Απορρόφησης & Ηλεκτρικών Ψυκτών

Πλεονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης

- Έχουν ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση σε αντίθεση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ψύκτες απορρόφησης να εμφανίζουν σημαντικά ενεργειακά πλεονεκτήματα κυρίως όταν τροφοδοτούνται από απορριπτόμενη θερμότητα.
- Οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες τρι-παραγωγής (παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ισχύος). Έτσι προσφέρουν την δυνατότητα σημαντικής αύξησης του συνολικού βαθμού απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής. Με άλλα λόγια αυτές οι μονάδες συνεισφέρουν τα μέγιστα σε οποιαδήποτε προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος λειτουργίας.
- Οι ψύκτες απορρόφησης είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες. Συγκεκριμένα αφού η αρχή λειτουργίας τους δεν στηρίζεται στην χρήση κανενός είδους συμβατικού ψυκτικού μέσου (CFCs, HCFCs και HFCs), έχουν μηδενική επίδραση στην καταστροφή του όζοντος: ODP = 0 (Ozone Depletion Potential) και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ειδικά οι ψύκτες που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό έχουν αρκετά μικρότερο GWP (Global Potential Warming) από τους ψύκτες που καίνε αέριο (gas-fired chillers) και εκπέμπουν CO₂, αν και η καύση αερίου και ειδικά φυσικού αερίου θεωρείται φιλική προς το περιβάλλον αφού δεν παράγονται SO₂, SO, αιθάλη και στερεά σωματίδια, ρύποι ιδιαίτερα ζημιογόνοι για τον ανθρώπινο παράγοντα.
- Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης έχουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφόρων καυσίμων μέσων (Diesel θέρμανσης, φυσικό αέριο, LPG, βιοαέριο κ.α.). Το γεγονός αυτό καθιστά ιδανική την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος σε απομακρυσμένες

περιοχές όπου δεν υπάρχει επαρκής ηλεκτρικής ισχύς για τους παραδοσιακούς ηλεκτρικούς ψύκτες. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια με ήδη επιβαρυσμένη εγκατεστημένη ηλεκτρική εγκατάσταση από άλλες ενεργοβόρες διεργασίες. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι, πολλοί από τους καυστήρες που συνοδεύουν τις μηχανές απορρόφησης είναι “διπλού καυσίμου” (dual fuel) και μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με φυσικό αέριο είτε με πετρέλαιο. Αυτή η ευελιξία είναι ιδιαίτερα ελκυστική σε εφαρμογές όπου το πετρέλαιο είναι εύκολα διαθέσιμο π.χ. απομακρυσμένες περιοχές.

- Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορρόφησης έχουν ελάχιστα κινούμενα μέρη (αντλίες ανακυκλοφορίας ψυκτικού μέσου/απορροφητή). Για παράδειγμα ένας ψύκτης απορρόφησης 500 RT έχει 3 αντλίες που καταναλώνουν περίπου 5 hr (3.7 KW) ανά ώρα. Επόμενως έχουν μεγάλο μηχανικό βαθμό απόδοσης, μικρές απαιτήσεις εποπτείας και συντήρησης και υψηλή αξιοπιστία.
- Τέλος παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών. Ένα absorption chiller ακούγεται όπως ένας ιδίου μεγέθους λέβητας με θορύβους σπηλαίωσης. Οπότε λόγω ανυπαρξίας ταλαντώσεων και θορύβου δεν απαιτείται απομόνωση των κραδασμών και ηχομόνωση του χώρου εγκατάστασης της ψυκτικής μηχανής.

Μειονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης

- Έχουν χαμηλό συντελεστή συμπεριφοράς (COP) σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες:

Κ Ψύκτης Απορρόφησης COP = 0.73-1.23.

Κ Συμβατικός Ψύκτης COP = 2.37.

- Οι ψύκτες απορρόφησης αποβάλλουν μεγαλύτερο ποσό θερμότητας προς το περιβάλλον από ότι οι συμβατικές μονάδες ψύξης. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής :

- Η θερμική ισχύς που παρέχεται μέσω του ατμού στην ατμογεννήτρια του ψύκτη απορρόφησης είναι : $Q_{\text{ατμού}} = Q_{\psi} / \text{COP}$ όπου Q_{ψ} είναι η παραγόμενη ψυκτική ισχύς και COP είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της ψυκτικής μονάδας.
- Η θερμότητα συμπύκνωσης που απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω του πύργου ψύξης είναι : $Q_{\Sigma} = Q_{\text{ατμού}} + Q_{\psi}$. Οπότε αντικαθιστώντας στην 2^η σχέση το $Q_{\text{ατμού}}$ από την 1^η σχέση προκύπτει ότι :

$$Q_{\Sigma} = Q_{\psi} * [1 + (1 / \text{COP})]$$

- Άρα για τις ανωτέρω τιμές του COP στους ψύκτες απορρόφησης, το απορριπτόμενο ποσό θερμότητας είναι από 1.8 έως 2.5 φορές μεγαλύτερο από την παραγόμενη ψυκτική ισχύ. Αντίθετα στους συμβατικούς ψύκτες το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στο περιβάλλον είναι 30 . 40 % μεγαλύτερο από την ψυκτική ισχύ. Επομένως απαιτείται η εγκατάσταση μεγαλύτερων πύργων ψύξης στις εγκαταστάσεις με απορρόφηση.
- Έχουν σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με τις κλασσικές ψυκτικές διατάξεις. Ένας ψύκτης απορρόφησης καταλαμβάνει 50 % μεγαλύτερη επιφάνεια από ότι ένας ηλεκτρικός ψύκτης ίδιας ισχύος, με αποτέλεσμα την κάλυψη μεγάλου μέρους του μηχανοστασίου.
- Τέλος έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης ανα KW σε σχέση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης.

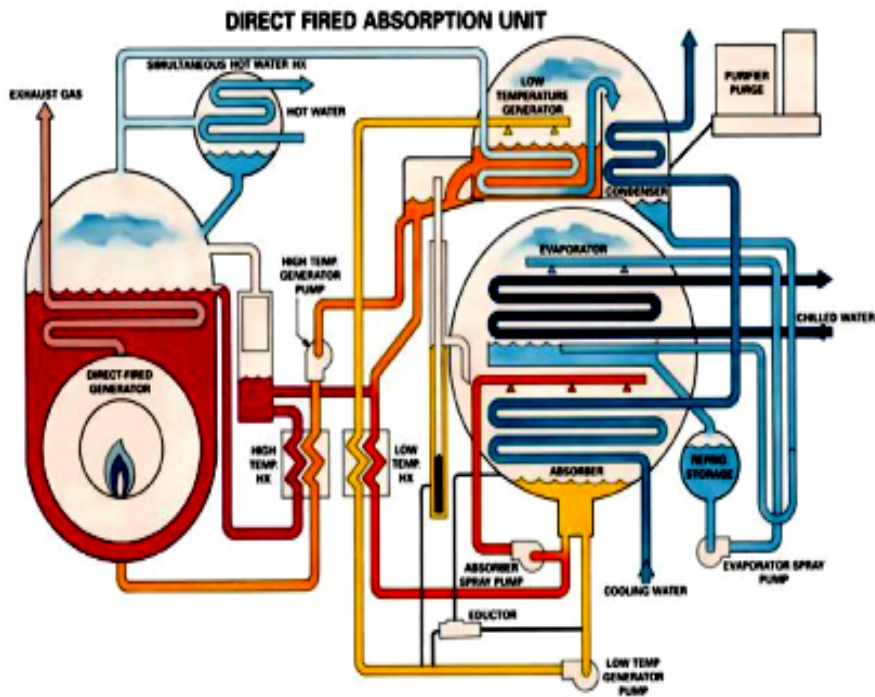
2.2.1.4. Ψύκτες Απορρόφησης Άμεσου -Εμμέσου Θέρμανσης (Direct-Indirect Fired Absorption Chillers)

Άμεσης Θέρμανσης (Gas Fired Absorption Chillers)

Οι ψύκτες απορρόφησης άμεσης θέρμανσης που διατίθενται στο εμπόριο έχουν ονομαστικές ισχύεις που ξεκινούν από τα 105 KW (30 RT) και φθάνουν τα 3800 KW (1080 RT).

Έχουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά :

1. Χρησιμοποιούν ως κύρια πηγή ενέργειας Φυσικό Αέριο ή LPG
2. Μειωμένο κόστος λειτουργίας λόγω της ανταγωνιστικής τιμολογιακής πολιτικής για το Φυσικό Αέριο.
3. Η χρησιμοποίηση Φυσικού Αερίου αντί ηλεκτρισμού πρακτικά μηδενίζει την απαιτούμενη ηλεκτρική εγκατάσταση για κλιματισμό εφόσον η απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς κυμαίνεται από 1.2 έως 2.3 KW.
4. Η λειτουργία τους στηρίζεται στον ψυκτικό κύκλο $H_2O-LiBr$ με διπλό κέλυφος:
5. Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης χρειάζονται 1 BTU (1.055 KJ) από το καύσιμο αέριο (ισχύς καυσίμου) για κάθε BTU ψυκτικής ισχύος που παράγουν (COP = 1.0). Με την κατασκευή όμως διπλού κελύφους καθώς και την χρησιμοποίηση πιεστικού καυστήρα επιτυγχάνεται υψηλός συντελεστής συμπεριφοράς (COP ~ 1.5 για ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας) και μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 40% σε σχέση με μονοβάθμιες εγκαταστάσεις.
6. Επίσης λόγω του two-stage refrigeration cycle μειώνεται η απορριπτόμενη θερμότητα και επομένως το μέγεθος του Πύργου Ψύξης κατά 20% σε σχέση με τις single-stage μονάδες.
7. Έχουν ταυτόχρονη δυνατότητα παραγωγής νερού ψύξης και θερμού νερού (κοντά στους 80C).
8. Έχουν λειτουργικό σχεδιασμό με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η εγκατάσταση και συντήρησή τους.
9. Διαθέτουν καυστήρα χαμηλών εκπομπών NO_x (< 30 ppm).
10. Έχουν αντλία διαλύματος $LiBr$ με inverter: Βέλτιστη απόδοση στο μερικό φορτίο.
11. Τέλος διαθέτουν ενσωματωμένο χειριστήριο με μικροεπεξεργαστή για τον έλεγχο, προγραμματισμό και την διάγνωση λειτουργίας ή βλαβών.



Σχήμα 6. Ψύκτης άμεσης θέρμανσης

Έμμεση Θέρμανσης (Steam / Hot Water Fired Absorption Chillers)

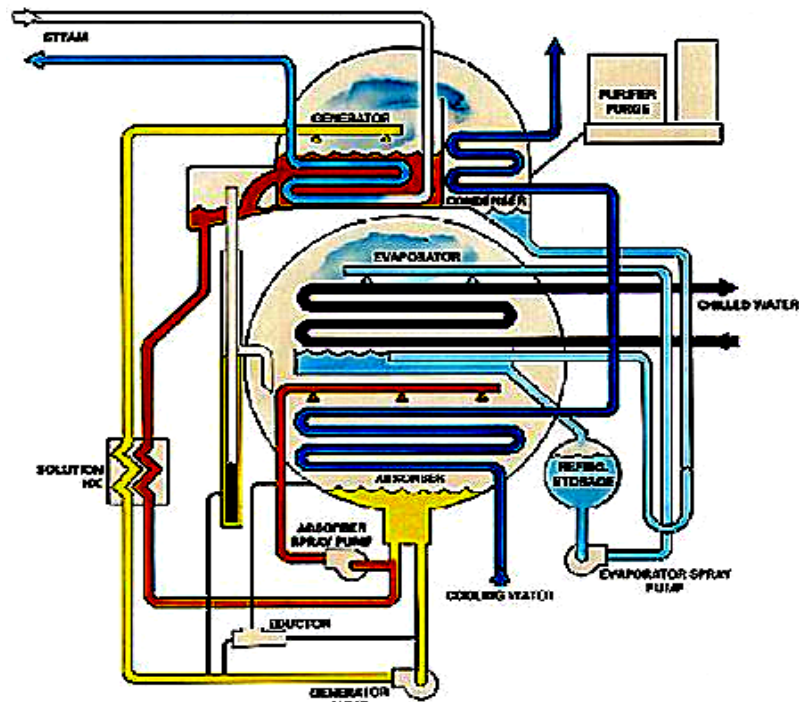
Η ονομαστική ισχύς των μονοβάθμιων εγκαταστάσεων κυμαίνεται από 400 KW (110 RT) έως 6000 KW (1705 RT) ενώ των διβάθμιων κυμαίνεται από 1400 KW (400 RT) έως 4300 KW (1220 RT).

Οι ψύκτες αυτού του είδους παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Βελτιώμενος Ψυκτικός Κύκλος :

- Χρησιμοποίηση θερμού νερού θερμοκρασίας 130 C περίπου ή υπέρθερμου ατμού πίεσης κοντά στο 1 bar ως κύριας πηγής ενέργειας.
- Εξοικονόμηση ενέργειας με χρησιμοποίηση της θερμικής ενέργειας ατμού χαμηλής πίεσης που οδηγείται για απόρριψη για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος.
- Παραγωγή Ψύξης σε Μονάδες Τρι-Παραγωγής (Trigeneration Plants) ή σε Μονάδες Συνδυασμένου Κύκλου . Μεγιστοποίηση του συνολικού βαθμού απόδοσης.

2. Ελάχιστα κινούμενα μέρη : Ερμητικά κλειστός συμπιεστής που ψύχεται με απεσταγμένο ψυκτικό μέσο (νερό).
- Αμελητέες μηχανικές απώλειες . Μηδαμινές απαιτήσεις συντήρησης.

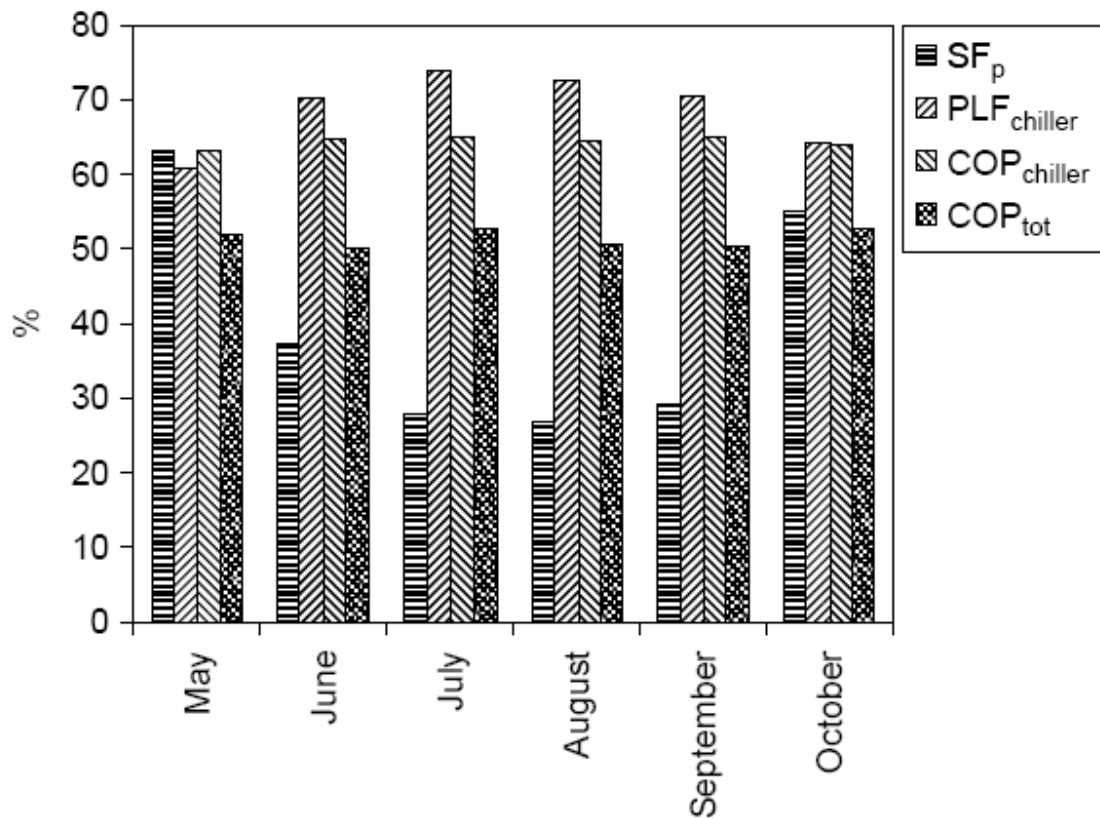


Σχήμα 7. Ψύκτης εμμέσου θέρμανσης

2.2.1.5. Ανάγκη για την περαιτέρω ανάπτυξη στην ψύξη με απορρόφηση

Η ηλιακή ψύξη με απορρόφηση έχει την προοπτική να παίξει σημαντικό ρόλο στην βελτίωση της ήδη εγκατεστημένης επιφάνειας ηλιακών θερμικών συλλεκτών όπως επίσης συνεισφέρει στις απαιτήσεις στον κτιριακό τομέα, ο οποίος είναι ένας σημαντικός ενεργειακός τομέας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο ακόμα και σήμερα υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί για τους ψύκτες απορρόφησης που μπορεί να ανακόψουν την περαιτέρω ανάπτυξη τους:

- Πολύ υψηλό κόστος για τους ψύκτες απορρόφησης κυρίως σε μικρού εύρους ενέργειας , εφαρμογές όπως είναι οι κτιριακές. Συνήθως το μεγαλύτερο μέρος του κόστους πιστεύεται ότι ανήκει στους ηλιακούς συλλέκτες αλλά αυτο δεν ισχύει πάντα.
- Έλλειψη εμπορικής διαθεσιμότητας ψυκτών απορρόφησης κατάλληλων για ηλιακές εφαρμογές(με τροφοδοσία ζεστού νερού) στην κλίμακα ενέργειας του κτιριακού τομέα κυρίως για τις μικρότερες εφαρμογές σε σπίτια μιας οικογένειας.
- Η αναγκαιότητα ψυκτικών πύργων για την αποθήκευση της υπόλοιπης ενέργειας στις περισσότερες εφαρμογές. Θα ήταν επιθυμητό ,ιδίως σε μικρότερες εφαρμογές, να μην χρειαζόταν αυτός ο επιπλέον εξοπλισμός με τα επιπλέον κόστη, την κατανάλωση ενέργειας και την γενικότερη πολυπλοκότητα της κατασκευής.
- Περιορισμένη ικανότητα για αντίστροφη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης ως αντλία θερμότητας στην περίοδο της θέρμανσης, που θα επέτρεπε την χρήση του ίδιου εξοπλισμού στην ψύξη και στην θέρμανση βελτιώνοντας την οικονομική απόδοση.
- Έλλειψη ακριβούς χαρακτηρισμού της πειραματικής λειτουργίας του ψύκτη σε συνθήκες σχεδιασμού και λειτουργίας υπο μερικό φορτίο. Διαφορετικά από άλλες κοινές χρήσεις οι ψύκτες απορρόφησης σε ηλιακές εφαρμογές λειτουργούν υπο διάφορες συνθήκες μακριά απο το σημείο σχεδιασμού,σε μερικό φορτίο ακόμα και σε αιφνίδιες μεταβολές της τάσης.



Διάγραμμα 3. Μηνιαίες αποδόσεις εποχής μιας εμπορικής εγκατάστασης ηλιακής θέρμανσης και ψύξης με απορρόφηση στην Ισπανία που αξιολογείται με TRNSYS.

2.2.1.6. Συμπεράσματα

Η ηλιακή ψύξη με απορρόφηση αποτελεί έν απολύ ενδιαφέρον κομμάτι εναλλακτικής τεχνολογίας έτοιμο να ανταποκριθεί στις ολοένα και περισσότερο αυξανόμενες απαιτήσεις σε ψυκτική ενέργεια σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ελλάδα, η Ιταλία και τόσες άλλες που έχουν παρόμοια κλίματα.

Έχει επιπλέον πλεονεκτήματα όπως ότι αποφεύγεται η χρήση αλογονοποιημένων υδρογονανθράκων-μειώνοντας τον αντίκτυπο στο στρώμα του όζοντος- και πιστοποιώντας μια ευρεία περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών. Οι ιδιαιτερότητες των ηλιακών συστημάτων απορρόφησης απαιτούν μια πιο λεπτομερή εκτίμηση έτσι ώστε να σχεδιαστούν αυτά όπως πρέπει και να εκτιμηθούν οι επιδόσεις τους. Η περιορισμένη αποτελεσματική ικανότητα αποθήκευσης πρέπει να αντισταθμιστεί όσο το δυνατόν περισσότερο με τις κατάλληλες επιλογές

σχεδίου (ηλιακή πολλαπλάσια και ηλιακή μαζική ροή τομέων), και εφαρμογή των συστημάτων υψηλής αδράνειας διανομής κλιματισμού όπως το πάτωμα ή τους τοίχους ακτινοβολίας που ομαλοποιούν το ψυκτικό φορτίο που δίνεται στο ηλιακό σύστημα απορρόφησης. Οι λειτουργούσες στρατηγικές με αυτό το αντικείμενο, όπως η συντήρηση του κλιματισμού στα κτίρια στις μη εργάσιμες ημέρες για να αποθηκεύσουν τη ψυκτική ενέργεια στη δομή κτιρίου πρέπει να εξεταστούν επίσης. Εντούτοις, η κατάλληλη η επεξεργασία αυτών των στρατηγικών λειτουργίας απαιτεί δυναμικές προσομοιώσεις συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων του κτιρίου και κλιματισμού καθώς επίσης και της αδρανούς σύζευξής τους. Εντούτοις, ο ηλιακός δροσισμός με απορρόφηση μπορεί να χάνει την πιθανότητα στην αγορά, λόγω του πολύ χρόνου που χρειάζεται για να δώσει μια κατάλληλη απάντηση στις δαπάνες του και τους τεχνικούς περιορισμούς του.

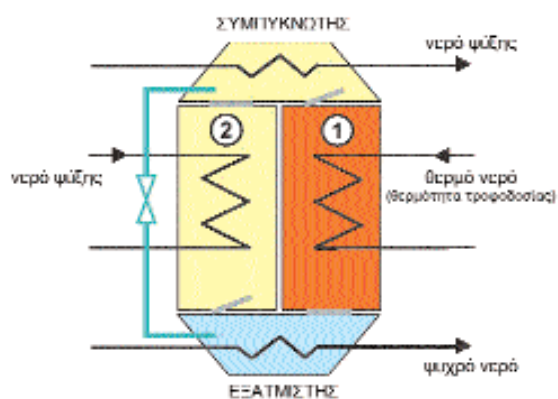
2.2.2. Προσρόφηση (adsorption)

Στην περίπτωση των ψυκτών προσρόφησης, αντί υγρού διαλύματος, χρησιμοποιούνται στερεά πορώδη ροφητικά υλικά. Τα διαθέσιμα στην αγορά συστήματα χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο και silica gel ως ροφητικό υλικό. Οι ψύκτες αποτελούνται από δύο χώρους ροφητικού υλικού, έναν εξατμιστή και ένα συμπυκνωτή. Ενώ το ροφητικό υλικό στο πρώτο διαμέρισμα αναγεννάται χρησιμοποιώντας ζεστό νερό από εξωτερική πηγή θερμότητας, π. χ. τον ηλιακό συλλέκτη, το ροφητικό υλικό στο διαμέρισμα 2 (προσροφητικό υλικό) προσροφά τους υδρατμούς που εισάγονται από τον εξατμιστή. Αυτός ο χώρος πρέπει να ψυχθεί προκειμένου να επιτραπεί συνεχής προσρόφηση. Το νερό στον εξατμιστή περνά στην αέρια φάση, θερμαινόμενο από το εξωτερικό κύκλωμα νερού. Στην πραγματικότητα, εδώ παράγεται η χρήσιμη ψυκτική ισχύς. Εάν η ψυκτική ικανότητα μειωθεί σε μια ορισμένη τιμή λόγω πλήρωσης του ροφητικού υλικού της στον προσροφητή, οι θάλαμοι αντιστρέφουν τη λειτουργία τους. Μέχρι σήμερα, μόνο κάποιοι Ασιάτες κατασκευαστές παράγουν ψύκτες προσρόφησης.

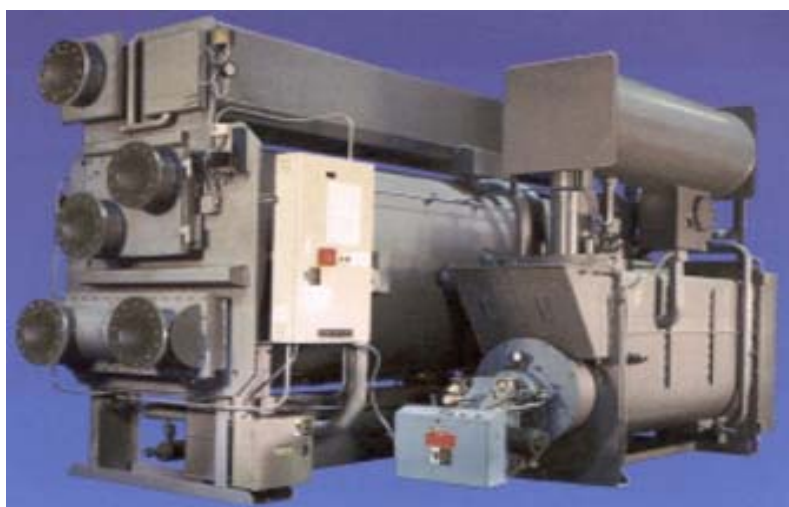
Υπό τυπικές συνθήκες λειτουργίας με θερμοκρασία αναγέννησης περίπου 80°C, τα συστήματα επιτυγχάνουν COP περίπου 0,6, αλλά είναι δυνατόν να λειτουργήσουν ακόμη και σε θερμοκρασίες αναγέννησης της

τάξης των 60°C. Η ψυκτική τους ικανότητα κυμαίνεται από 50-500 kW. Η απλότητα κατασκευής των ψυκτών προσρόφησης και η αναμενόμενη μηχανική αντοχή τους είναι σημαντικά πλεονεκτήματα.

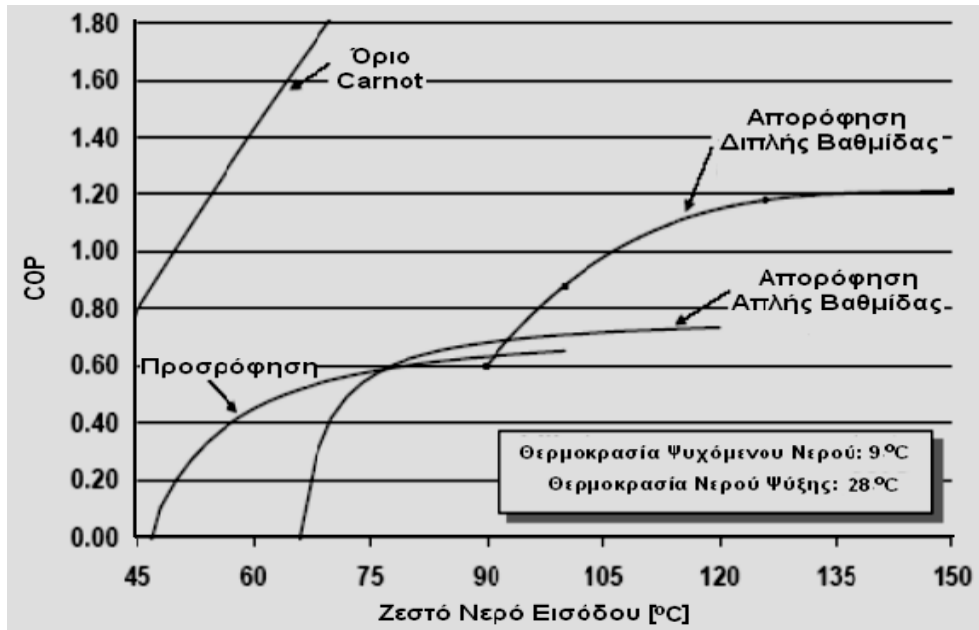
Δεν υπάρχει περιορισμός στη θερμοκρασία απόρριψης θερμότητας, καθώς δεν υφίσταται κανένας κίνδυνος κρυστάλλωσης. Δεν υπάρχει εσωτερική αντλία διαλύματος και ως εκ τούτου η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται είναι ελάχιστη. Μειονεκτήματα αυτού του τύπου των ψυκτών είναι ο συγκριτικά μεγάλος όγκος και το βάρος τους. Επιπλέον, λόγω του μικρού αριθμού παραγόμενων μονάδων, η τιμή των ψυκτών προσρόφησης παραμένει υψηλή. Υπάρχει μεγάλη δυνατότητα, στις επόμενες γενεές των ψυκτών προσρόφησης, για βελτίωση των εναλλακτών θερμότητας στα διαμερίσματα προσροφητών και κατά συνέπεια αναμένεται αξιοσημείωτη μείωση του όγκου και του βάρους τους.



Σχήμα 8 . Σχηματικό διάγραμμα ενός ψύκτη προσρόφησης



Εικόνα 2. Ψύκτης Απορρόφησης



Διάγραμμα 4. Καμπύλες COP για εμπορικούς ψύκτες προσρόφησης και απορρόφησης

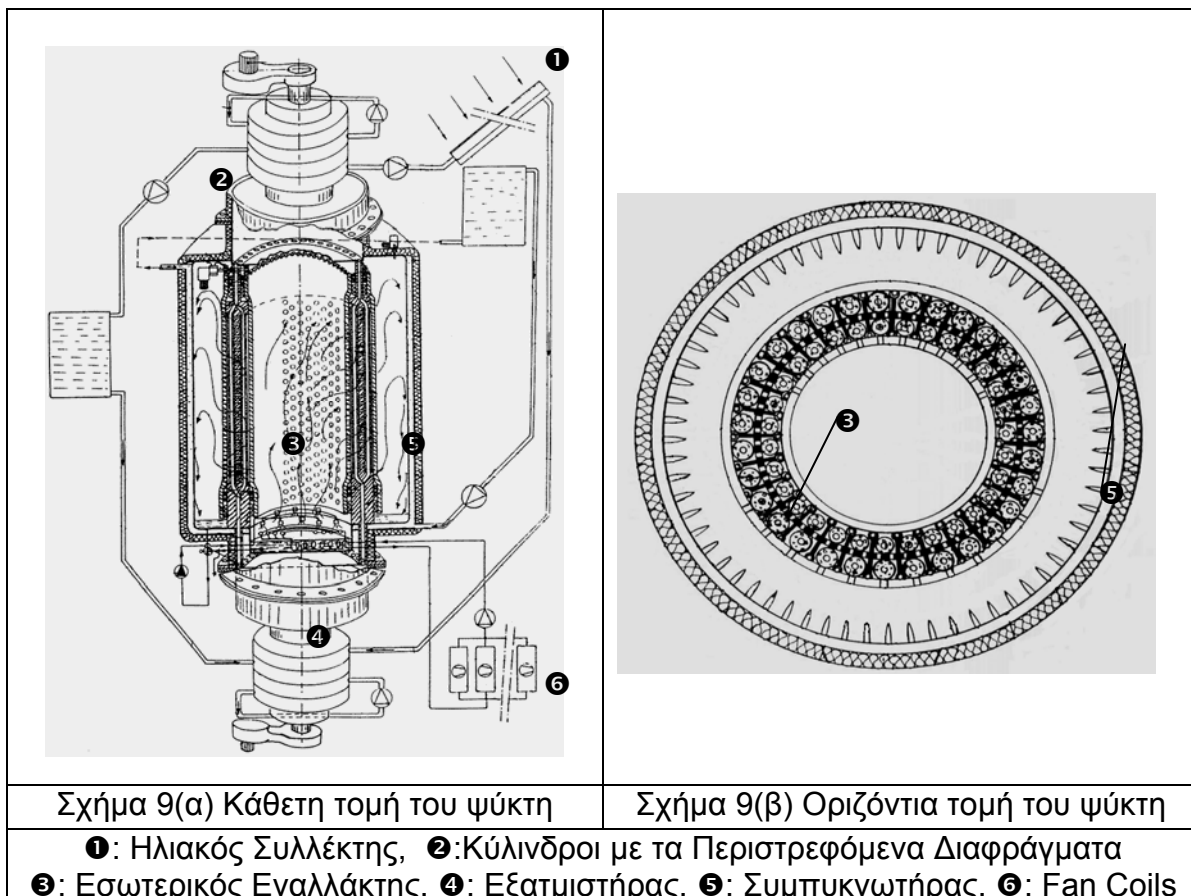
2.2.2.1. Λειτουργία του συστήματος

Στο νέο ψυκτικό σύστημα η διαδικασία προσρόφησης των υδρατμών και, στην συνέχεια, η αναγέννηση του μέσου προσρόφησης με ζεστό νερό χαμηλής ενθαλπίας λαμβάνουν χώρα υπό κενό 10 mbar για την προσρόφηση και περίπου 70 mbar για την αναγέννηση, σε δύο διαφορετικούς χώρους επαφής. Οι διαδικασίες προσρόφησης-αναγέννησης γίνονται με μια συνεχή, κυκλικά εναλλασσόμενη διαδικασία, σε αντίθεση με υπάρχοντες ψύκτες προσρόφησης, στους οποίους οι δύο χωριστοί θάλαμοι λειτουργούν ασυνεχώς και ανταλλάσσουν ρόλους περιοδικά.

Η διεργασία συνεπάγεται αφ' ενός την συνεχή διαδοχική κυκλική τροφοδοσία με ζεστό νερό και νερό ψύξης των αυλών με το προσροφητικό μέσο και αφ' ετέρου την συγχρονισμένη περιστροφή κατάλληλων διαφραγμάτων που έχουν σαν αποτέλεσμα την συνεχή κυκλική περιστροφή και εναλλαγή του χώρου προσρόφησης και του χώρου αναγέννησης, σε επαφή με το θερμικό ρευστό. Κάθε πλήρης κύκλος των περιστρεφόμενων διαφραγμάτων θα διαρκεί περίπου 7-10 λεπτά έτσι ώστε μέσα στο χρονικό αυτό διάστημα το προσροφητικό μέσο στους αυλούς να έχει ολοκληρώσει έναν πλήρη κύκλο προσρόφησης / αναγέννησης.

Δομικά στοιχεία του συστήματος

Το κυρίως ψυκτικό σύστημα αποτελείται από τον εσωτερικό εναλλάκτη, τον συμπυκνωτήρα και τον εξαμιστήρα (Σχήματα 6(α) – 6(β)).

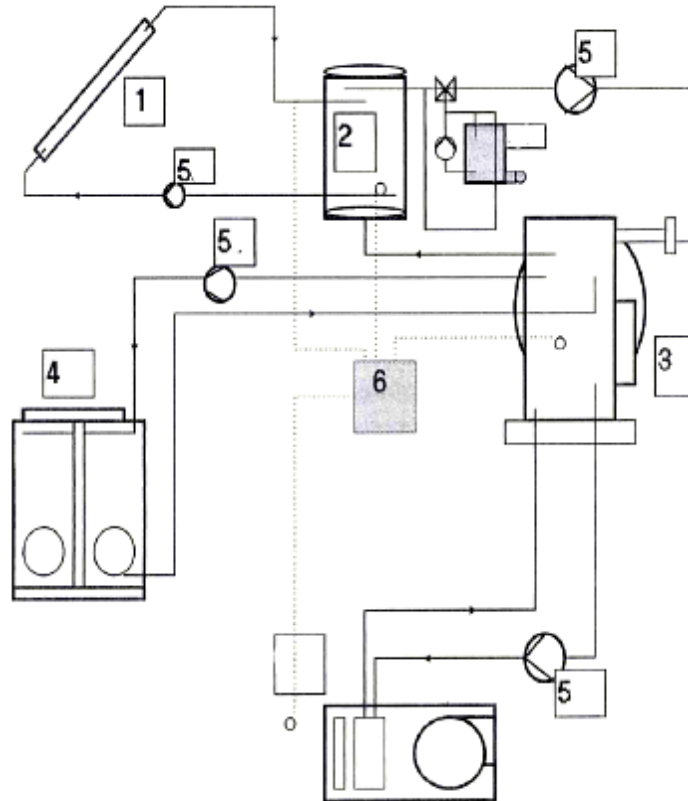


Ο εσωτερικός εναλλάκτης αποτελείται από θερμικά μη αγώγιμο σκελετό ο οποίος φέρει πτερύγια στεγανοποίησης εσωτερικά και εξωτερικά, τα οποία έχουν διπλό ρόλο: αφενός δημιουργούν τις παράλληλες κατακόρυφες θήκες, μέσα στις οποίες συγκρατούνται τα πακέτα των αυλών με τους αντίστοιχους μανδύες προσροφητικού υλικού και αφετέρου τα άκρα τους είναι διαμορφωμένα σε παράλληλες κατακόρυφες κυλινδρικές κοίλες θήκες εδράνων στεγανοποίησης. Μέσα στις τελευταίες είναι τοποθετημένοι οι αξονοειδείς κύλινδροι στεγανοποίησης οι οποίοι παίζουν το ρόλο εδράνου κύλισης για τα περιστρεφόμενα διαφράγματα ενώ παράλληλα στεγανοποιούν τους θαλάμους. Στον εσωτερικό εναλλάκτη τα ελεύθερα άκρα των παράλληλων αυλών βγαίνουν εκατέρωθεν στεγανά έξω από το δοχείο κενού. Ο θερμικά μη αγώγιμος σκελετός φέρει διαμπερείς οπές οι οποίες

επιτρέπουν στους ψυχρούς υδρατμούς να εξέρχονται και προς τις θέσεις του ακόρεστου προσροφητικού υλικού που βρίσκεται στην εξωτερική πλευρά του σκελετού.

Ο εξατμιστής υλοποιείται ως εναλλάκτης αποτελούμενος από πολλές παράλληλες σπείρες που καταιονίζονται με το ψυχρό συμπύκνωμα από τους υπερκείμενους σωλήνες καταιονισμού, οι οποίοι φέρουν κατάλληλα μπέκ και διατρέχουν περιμετρικά όλον τον κυκλικό χώρο που περιέχει τους σπειροειδείς σωλήνες εξάτμισης. Ο χώρος εξάτμισης του ψυκτικού μέσου αποτελείται από το κυλινδρικό εσωτερικό μέρος του εσωτερικού εναλλάκτη, το κάτω μέρος του οποίου έχει μορφή λεκάνης, από τον εξατμιστήρα και από το σύστημα καταιονισμού. Ο χώρος εξάτμισης είναι κλειστός από παντού και απομονωμένος από τον χώρο συμπύκνωσης, ενώ επικοινωνεί μέσω οπών με τον χώρο προσρόφησης, όπου οι υδρατμοί προσροφούνται στο ακόρεστο προσροφητικό μέσο.

Ο συμπυκνωτής των υδρατμών υλοποιείται ως εναλλάκτης συμπύκνωσης, με εσωτερικά τοιχώματα αποτελούμενα από πτερύγια για την συμπύκνωση των υδρατμών που αποβάλλονται κατά το στάδιο της εκρόφησης. Ο χώρος συμπύκνωσης έχει δακτυλιοειδή κυλινδρική μορφή και περιβάλλει τον χώρο αναγέννησης, με τον οποίο επικοινωνεί μέσω οπών από τις οποίες περνούν οι θερμοί υδρατμοί που απελευθερώνονται κατά το στάδιο της εκρόφησης. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται πάνω στα πτερύγια ψύξης και το συμπύκνωμα κατέρχεται στον συλλέκτη συμπυκνώματος.



1. ΞΥΛΑΕΚΤΕΣ
2. ΔΕΞΑΜΕΝΗ
3. ΨΥΚΤΗΣ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ
4. ΠΥΡΓΟΣ ΨΥΞΗΣ
5. ΑΝΤΛΙΕΣ
6. ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ

Σχήμα 10. Διάταξη και λειτουργία ενός συστήματος προσρόφησης

Επιλογή προσροφητικού υλικού

Για την επιλογή του κατάλληλου προσροφητικού υλικού αναπτύσσεται ένα αδρομερές θερμοδυναμικό μοντέλο. Το ολικό πορώδες της κλίνης, ε_{total} , εκφράζεται ως συνάρτηση του μακροσκοπικού κλάσματος κενού όγκου της κλίνης, ε_{bed} , και του μικροσκοπικού κλάσματος κενού όγκου των σωματιδίων, $\varepsilon_{particle}$, δηλαδή:

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{bed} + (1 - \varepsilon_{bed})\varepsilon_{particle} \quad (1)$$

Το πορώδες $\varepsilon_{particle}$ υπολογίζεται με βάση την πυκνότητα και τον κενό όγκο των σωματιδίων. Στην παρούσα παραμετρική ανάλυση μελετήθηκαν τρία είδη σωματιδίων silica gel: τύπου A, τύπου 3A και τύπου RD.H

πυκνότητα, ο κενός όγκος και το υπολογιζόμενο πορώδες $\varepsilon_{particle}$ κάθε σωματιδίου δίνονται στον Πίνακα 3. Το πορώδες ε_{bed} μεταβάλλεται ανεξάρτητα από το πορώδες $\varepsilon_{particle}$ και λαμβάνει τιμές 0.25, 0.30 και 0.35. Ο όγκος της κλίνης ρόφησης, V , ανηγμένος στην μονάδα μάζας προσροφητικών σωματιδίων, υπολογίζεται από την σχέση:

$$V = ((1 - \varepsilon_{total}) \rho_{SilicaGel})^{-1} \quad (2)$$

όπου $\rho_{SilicaGel}$ είναι η πυκνότητα των σωματιδίων προσρόφησης.

Πίνακας 3: Πυκνότητα, κενός όγκος και πορώδες σωματιδίων			
Είδος Σωματιδίων silica gel	Τύπος A	Τύπος 3A	Τύπος RD
$\rho_{SilicaGel}$ (kg.m ⁻³)	730	770	800
Κενός όγκος (ml.gr ⁻¹)	0.36	0.45	0.35
Πορώδες σωματιδίων	0.2628	0.3465	0.2800

Η συνολική μάζα υδρατμών που βρίσκεται στην κλίνη προσρόφησης αποτελείται από τη μάζα των υδρατμών στην αέρια φάση και τη μάζα των ροφημένων υδρατμών. Οι υδρατμοί στην αέρια φάση προτυποποιούνται με χρήση γενικευμένης καταστατικής εξίσωσης ενώ η ισορροπία υδρατμών–σωματιδίων silica gel περιγράφεται από μία σχέση τύπου Henry . Οι παράμετροι της ισόθερμης ρόφησης για τα τρία υλικά δίνονται στον Πίνακα 4, όπου K_0 η προεκθετική σταθερά και Q η θερμότητα ρόφησης. Η μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να προσροφηθεί από τα σωματίδια είναι 0.35 kg νερού ανά kg silica gel. Ο λόγος της μέγιστης προσροφημένης ποσότητας υδρατμών στο σύστημα προς τη μέγιστη δυνατή ποσότητα υδρατμών που μπορεί να προσροφηθεί στα σωματίδια κυμάνθηκε από 0.70 έως 0.85. Ο λόγος της ελάχιστης προσροφημένης ποσότητας υδρατμών στο σύστημα προς τη μέγιστη δυνατή ποσότητα υδρατμών που μπορεί να προσροφηθεί από τα σωματίδια κυμάνθηκε από 0.10 έως 0.30. Η μεταφορά μάζας υδρατμών στα στάδια της ρόφησης και της εκρόφησης πραγματοποιείται με φυσική κυκλοφορία.

Η θερμοκρασία λειτουργίας του εξαμιστήρα, $T_{Evaporator}$, και του

συμπυκνωτήρα, $T_{\text{Condenser}}$, κυμάνθηκαν από 276 έως 283 K και από 323 έως 333 K, αντίστοιχα. Η πίεση λειτουργίας του εξατμιστήρα και του συμπυκνωτήρα υπολογίζονται από δεδομένα ισορροπίας υγρού–ατμού. Η περιγραφή της καμπύλης κορεσμού του νερού βασίστηκε στη συσχέτιση της Διεθνούς Ένωσης για τις Ιδιότητες του Νερού και του Ατμού .

Πίνακας 4: Σταθερές ισοθέρμων τύπου Henry		
Είδος Σωματιδίων silica gel	K_0 ($\text{Pa}^{-1} \cdot \text{kg}_w \cdot \text{kg}_{\text{SG}}^{-1}$)	Q ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Τύπος A [7]	$4.6 \cdot 10^{-13}$	$2.71 \cdot 10^3$
Τύπος 3A [8]	$5.2 \cdot 10^{-12}$	$2.38 \cdot 10^3$
Τύπος RD [8]	$5.5 \cdot 10^{-12}$	$2.37 \cdot 10^3$

Η θερμότητα που εκλύεται κατά τη φάση της ρόφησης, $Q_{\text{Adsorption}}$, υπολογίζεται ως το άθροισμα τριών επιμέρους θερμικών φορτίων: της ψύξης των σωματιδίων silica gel και των περιεχόμενων υδρατμών, της θερμότητας ρόφησης, καθώς και της θέρμανσης της εισερχόμενης στην κλίνη μάζας υδρατμών από την $T_{\text{Evaporator}}$ έως την θερμοκρασία της κλίνης. Η θερμότητα που απορροφάται κατά τη φάση της θέρμανσης, Q_{Heating} , και κατά τη φάση της εκρόφησης, $Q_{\text{Condenser}}$, υπολογίζεται ως το άθροισμα του θερμικού φορτίου θέρμανσης των σωματιδίων silica gel και των περιεχόμενων υδρατμών ως και της θερμότητας εκρόφησης. Η θερμότητα που εκλύεται κατά τη φάση της ψύξης, Q_{Cooling} , υπολογίζεται ως το άθροισμα του θερμικού φορτίου ψύξης των σωματιδίων silica gel και των περιεχόμενων υδρατμών ως και της θερμότητας ρόφησης.

Το θερμικό φορτίο του εξατμιστήρα, $Q_{\text{Evaporator}}$, υπολογίζεται ως το άθροισμα του θερμικού φορτίου ψύξης των υδρατμών από την $T_{\text{Condenser}}$ στην $T_{\text{Evaporator}}$ καθώς και της λανθάνουσας θερμότητας εξάτμισης. Το θερμικό φορτίο του συμπυκνωτήρα, $Q_{\text{Condenser}}$, υπολογίζεται ως το άθροισμα του θερμικού φορτίου ψύξης των υδρατμών από τη θερμοκρασία της κλίνης ρόφησης στην $T_{\text{Condenser}}$ καθώς και της λανθάνουσας θερμότητας λόγω υγροποίησης. Η θερμοχωρητικότητα του ατμού υπό σταθερή πίεση υπολογίζεται από εμπειρική συσχέτιση ενώ η θερμοχωρητικότητα των

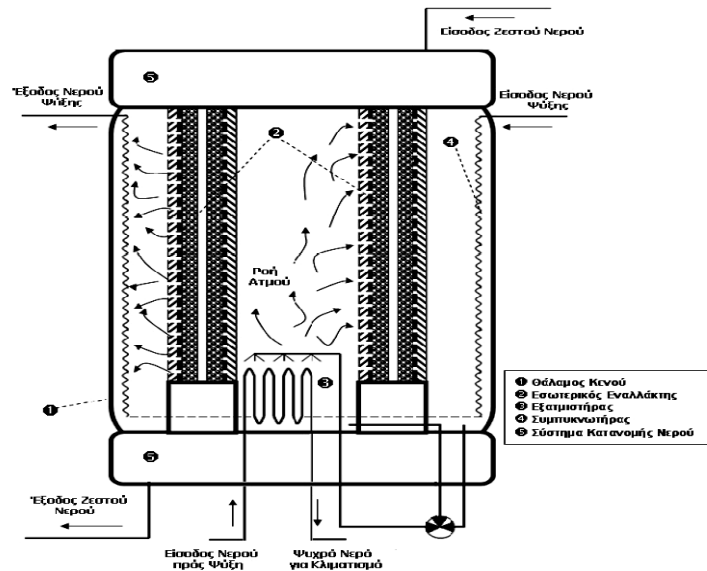
σωματιδίων silica gel είναι σταθερή και ίση προς $921 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Ο βαθμός απόδοσης του κύκλου ως αντλίας θερμότητας είναι

$$COP_h = \frac{Q_{cooling} + Q_{adsorption} + Q_{condenser}}{Q_{heating} + Q_{desorption}} \quad (3)$$

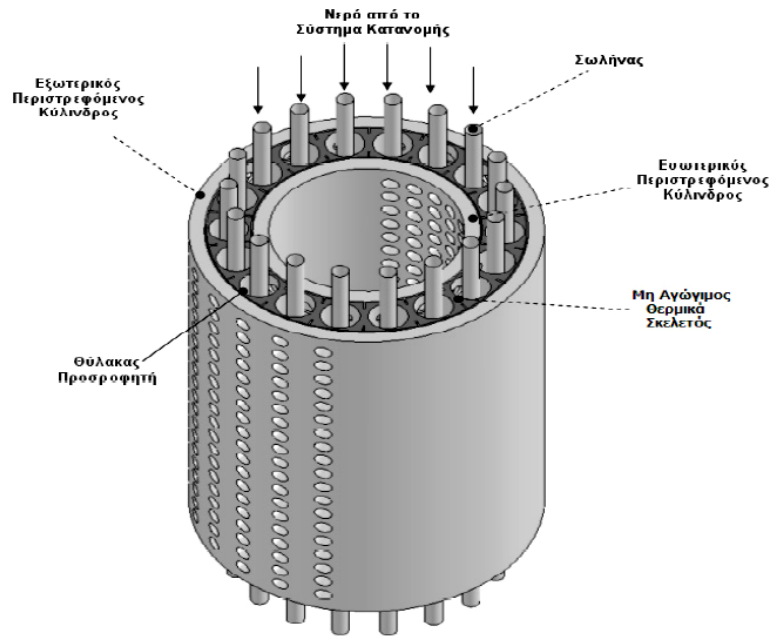
ενώ ως ψυκτικού κύκλου είναι

$$COP_c = \frac{Q_{evaporator}}{Q_{heating} + Q_{desorption}} \quad (4)$$

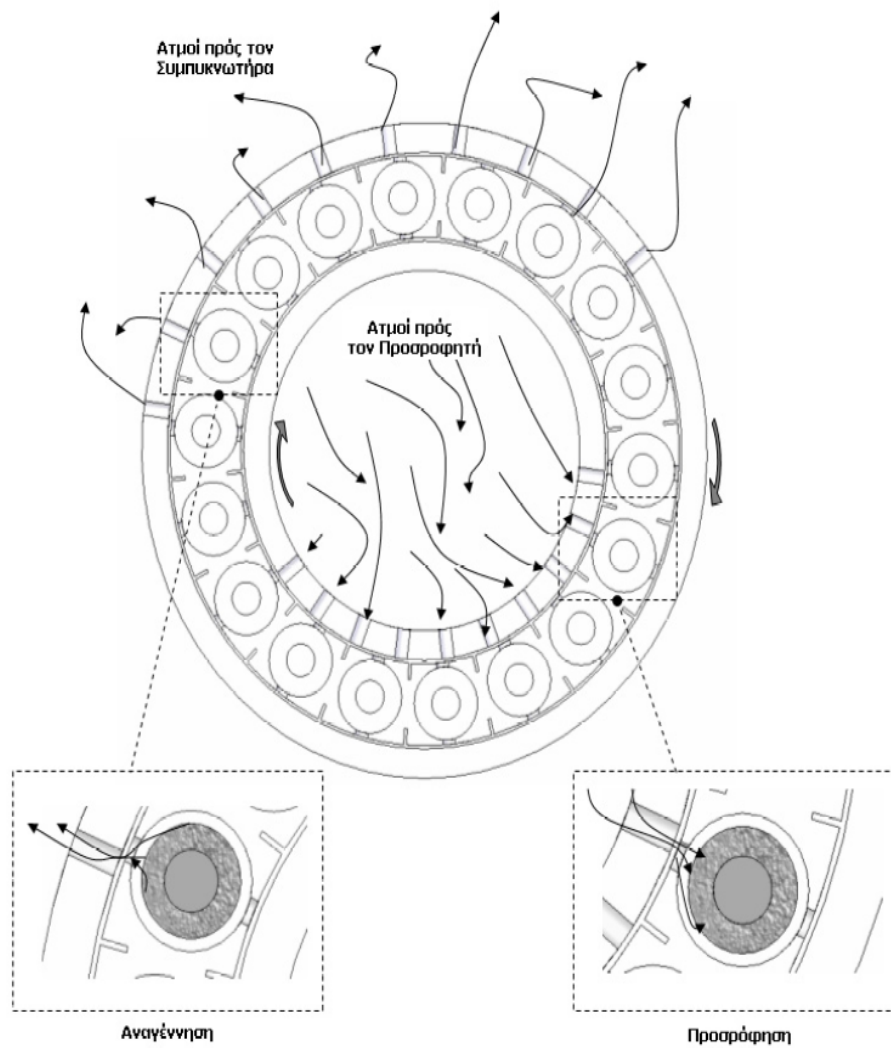
Το προτεινόμενο πρότυπο περιγραφής του κύκλου ρόφησης–εκρόφησης βασίζεται στην ακριβή θερμοδυναμική περιγραφή των ιδιοτήτων νερού, υγρού και ατμού, σε αντίθεση με αρκετά μοντέλα της βιβλιογραφίας στα οποία γίνονται αρκετές απλοποιητικές παραδοχές, π.χ. η θερμοχωρητικότητα του ατμού και η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης θεωρούνται σταθερές ενώ αγνοείται η αδρανής μάζα των υδρατμών στην κλίνη.



Σχήμα 11. Δομικά στοιχεία ψυκτική προσρόφησης



Σχήμα 12. Σχηματική απεικόνιση εσωτερικού εναλλάκτη



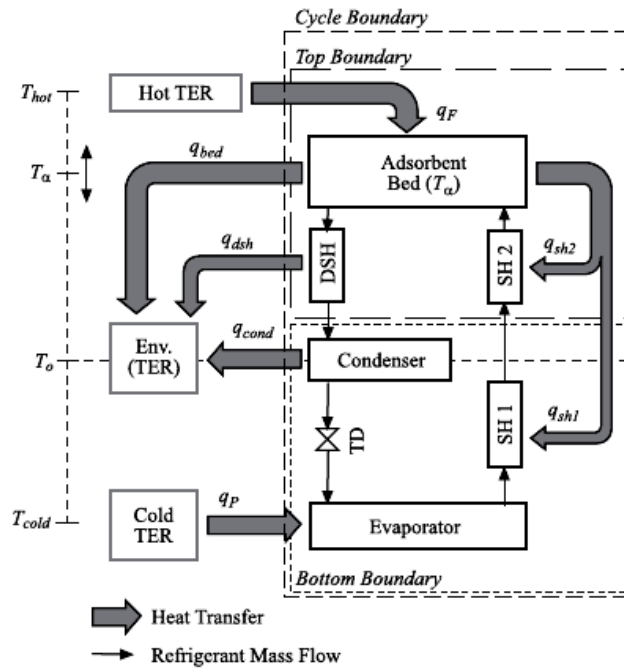
Σχήμα 13. Διεργασίες προσρόφησης και αναγέννησης

2.2.2.2. Θερμοδυναμικό μοντέλο ιδανικού κύκλου προσρόφησης

Ο κύκλος προσρόφησης μοντελοποιείται ως η λήψη υψηλής θερμοκρασίας μεταφορά θερμότητας καυσίμων q_F από μια θερμική ενεργειακή δεξαμενή (TER) στη θερμοκρασία T_{hot} και μια μεταφορά θερμότητας κρύου προϊόντος q_P από ένα TER σε θερμοκρασία T_{cold} , και η απόρριψη μιας μεταφοράς θερμότητας απωλειών q_L στο περιβάλλον στη θερμοκρασία T_o . Επιπλέον για την ποσοτικοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του κύκλου από την άποψη του COP, η απόδοση της εξέργειας ποσοτικοποιείται χρησιμοποιώντας ένα βαθμό απόδοσης εξέργειας ορισμένο ως:

$$\varepsilon = \frac{\text{Product Exergy}}{\text{Fuel Exergy}} = y_P = 1 - \sum_{\text{Losses}} y_L - \sum_{\text{Destroyed}} y_D \quad (1)$$

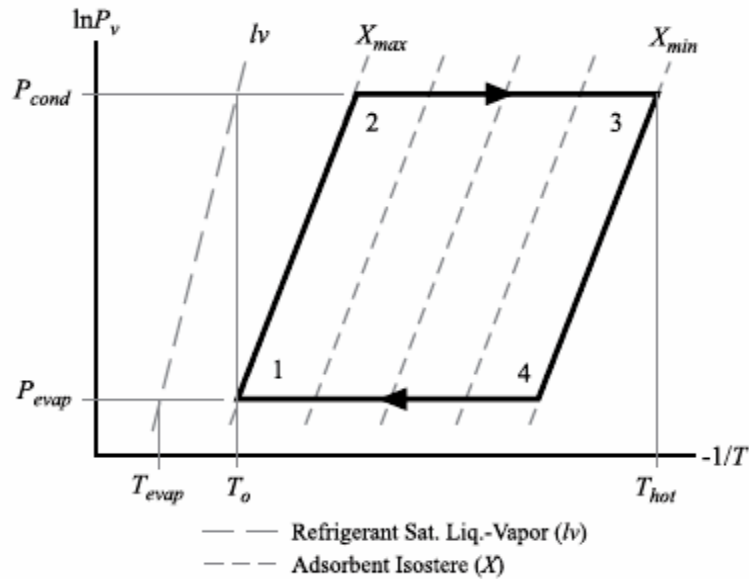
όπου το y είναι ο βαθμός απόδοσης εξέργειας αποκτηθείς με την ομαλοποίηση της εξεργειακής αξίας (ε) όσον αφορά την εξέργεια των καυσίμων (π.χ., $y_P = e_P/e_F$). Η απώλεια εξέργειας και η βαθμοί καταστροφής (y_L και y_D) είναι ισοδύναμες με την παραγωγή εντροπίας που ισχύουν για τους κύκλους προσρόφησης. Τρεις κύκλοι προσρόφησης που αντιπροσωπεύουν τρεις οριακές περιπτώσεις εξετάζονται: απλός κύκλος, κύκλος αναγέννησης, και αντιστρέψιμος κύκλος. Ο απλός κύκλος δεν έχει καμία θερμική αναγέννηση. Ο κύκλος αναγέννησης έχει τη μέγιστη θερμική αναγέννηση μεταξύ των ισόθερμων προσροφητικών στρωμάτων αλλά καμία θερμική αναγέννηση αλλού στον κύκλο. Ο αντιστρέψιμος κύκλος είναι και εσωτερικά και εξωτερικά αντιστρέψιμος.



Σχήμα 14. Θερμοδυναμικό σχεδιάγραμμα ενός κύκλου προσρόφησης

2.2.2.3. Απλός κύκλος

Μια θερμοδυναμική σχηματική αναπαράσταση για τον απλό κύκλο παρουσιάζεται στο διάγραμμα 5. Κάθε διαδικασία για την ψυκτική ουσία ορίζεται από το συστατικό της, και τα συστατικά τακτοποιούνται κάθετα με βάση τη θερμοκρασία. Συστατικά με τις οριζόντιες περιέχουν ισόθερμες διαδικασίες ενώ εκείνα με τις κάθετες περιέχουν μη-ισόθερμες διαδικασίες. Ομοίως, οριζόντια η μεταφορά θερμότητας είναι ισόθερμες (και επομένως αντιστρέψιμος), ενώ κατακόρυφα η μεταφορά θερμότητας είναι μη-ισόθερμες (και επομένως αμετάκλητος). Ο ιδανικός κύκλος για το προσροφητικό παρουσιάζεται σε ένα διάγραμμα Clapeyron στο διάγραμμα 6, όπου το X είναι η ικανότητα κορεσμού του προσροφητικού (προσροφημένη μάζα/μάζα προσροφητικών),



Διάγραμμα 5 . Διάγραμμα Clapeyron για απλό κύκλο προσρόφησης

$P_{cond} = P_{sat}(T_o)$ and $P_{evap} = P_{sat}(T_{evap})$. Η θερμοκρασία του προσροφητικού (T_a) ελέγχεται με το να φέρει το στρώμα προσροφητικών διαδοχικά σε θερμική επαφή με τη ζεστή TER και περιβάλλον, ενώ η πίεση ατμού μέσα στο στρώμα (P_v) είναι ελεγχόμενη με το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων που συνδέουν το στρώμα ανάμεσα στο συμπυκνωτή και τον εξατμιστήρα. Ο απλός κύκλος αναλύεται χρησιμοποιώντας την ανάλυση ενέργειας και εξέργειας με την εφαρμογή των ακόλουθων υποθέσεων:

(1) τα μόνα συστατικά που λαμβάνουν μέρος είναι εκείνες που επιβάλλονται από τον θεμελιώδη σχεδιασμό του συστήματος και είναι αμετάβλητο όσον αφορά την

ταχύτητα της διαδικασίας (δηλ., ένα ιδανικό σύστημα)

(2) η μάζα του ατμού στο στρώμα του προσροφητικού, του συμπυκνωτή, και του εξατμιστήρα έχει αμελητέα επίδραση και

(3), οι θερμικές ικανότητες των superheaters και desuperheaters έχουν αμελητέα επίδραση.

Μια γενική εξίσωση για την ενεργειακή ισορροπία για το στρώμα προσροφητικών ανά μονάδα μάζας του προσροφητικού (m_a), έγκυρη για όλα τα στάδια πλήρους παροδικού κύκλου και ανεξάρτητη της θερμοκρασίας των στρωμάτων, είναι:

$$dq_F - dq_{bed} - dq_{sh1} - dq_{sh2} = [(R+1)c_{\alpha} + Xc_{ads}]dT + \Delta h_{ads}dX \quad (2)$$

R είναι το κλάσμα της θερμοχωρητικότητας του στρώματος υλικού και της μεταφοράς θερμότητας του υγρού μέσα στο στρώμα θερμοχωρητικότητας του απορροφητή.

$\Delta h_{ads} = (\bar{u}_{ads}/M) - h_v$ όπου η $\bar{u}_{ads} = (\partial U_{ads}/\partial n_{ads})_{T_{\alpha}, m_{\alpha}}$ είναι η τοπική μοριακή εσωτερική ενέργεια του ψυκτικού προσροφήσεως και h_v είναι η ενθαλπία του ψυκτικού ατμού. Η εξ. 2 εφαρμόζεται σε κάθε μια απο τις 4 επεξεργασίες που φαίνονται στο σχήμα 2 με τις παρακάτω απλουστεύσεις :

Για $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ $dq_{bed} = 0$, για $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$ $dq_{sh1} = dq_{sh2} = 0$ για $3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ $dq_F = 0$

Για $1 \rightarrow 2$ και $3 \rightarrow 4$ $dX = 0$ και για $2 \rightarrow 3$ και $4 \rightarrow 1$ $dX = (\partial X/\partial T_{\alpha})_{P_v} dT_{\alpha}$.

Οι εξισώσεις της μεταφοράς θερμότητας στους superheaters κατά την διαδικασία $4 \rightarrow 1$ είναι:

$$dq_{sh1,4-1} = [h_v(T_o) - h_v(T_{cold})] \left(\frac{\partial X}{\partial T_{\alpha}} \right)_{P_{evap}} dT_{\alpha} \quad (3)$$

$$dq_{sh2,4-1} = [h_v(T_{\alpha}) - h_v(T_o)] \left(\frac{\partial X}{\partial T_{\alpha}} \right)_{P_{evap}} dT_{\alpha} \quad (4)$$

Η μεταφορά θερμότητας απο τον υπερθερμαντή q_{dsh} προκύπτει μόνο στην $2 \rightarrow 3$.

Το διαφορικό ποσό που προκύπτει σε T_{dsh} για όλο τον κύκλο:

$$dq_{dsh,2-3} = [X(T_{dsh}, P_{cond}) - X_{min}] c_p dT_{dsh} \quad (5)$$

όπου ο όρος εντός των αγκυλών είναι το συνολικό ποσό του ψυκτικού ατμού σε θερμοκρασία T_{dsh} όπου περνάει μέσα του desuperheater μέσω της διαδικασίας $2 \rightarrow 3$. Απο την μεταφορά θερμότητας q_{cond} και του εξαμιστεί q_F είναι:

$$q_{\text{cond}} = [h_v(T_o) - h_l(T_o)] \Delta X_{\text{cycle}} \quad (6)$$

$$q_p = [h_v(T_{\text{cold}}) - h_l(T_o)] \Delta X_{\text{cycle}} \quad (7)$$

όπου $\Delta X_{\text{cycle}} = X_{\text{max}} - X_{\text{min}}$, οι δείκτες v και l προσδιορίζουν τον κορεσμένο ατμό και τις υγρές φάσεις.

Για την μηδενική θερμοκρασία T_o , εκδοχές τις μεταφορές εξέργειας που διασχίζουν το όριο του συστήματος μέσω της μεταφοράς θερμότητας είναι:

$$e_F = \left(1 - \frac{T_o}{T_{\text{hot}}}\right) q_F \quad (8)$$

$$de_{\text{bed}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_\alpha}\right) dq_{\text{bed}} \quad (9)$$

$$de_{\text{dsh}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{\text{dsh}}}\right) dq_{\text{dsh}} \quad (10)$$

$$e_P = \left(\frac{T_o}{T_{\text{cold}}} - 1\right) q_P \quad (11)$$

Σημειώστε ότι ενώ τα ζευγάρια μεταφοράς θερμότητας και εξέργειας q_F και e_F , και q_{dsh} και e_{dsh} και q_{bed} και e_{bed} εμφανίζονται στην ίδια κατεύθυνση, ενώ το ζευγάρι q_P και e_P εμφανίζονται στις αντίθετες κατευθύνσεις. Επίσης, δεν μεταφέρεται καθόλου εξέργεια με τη μεταφορά θερμότητας q_{cond} . Η εξέργεια που εκλύεται από το στρώμα μέσω της μεταφοράς θερμότητας και συνδέεται με τους superheaters 1 και 2 είναι:

$$de_{\text{sh1}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_\alpha}\right) dq_{\text{sh1}} \quad (12)$$

$$de_{\text{sh2}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_\alpha}\right) dq_{\text{sh2}} \quad (13)$$

Οι μόνες πηγές καταστροφής εξέργειας είναι οι μη-ισόθερμες μεταφορές θερμότητας και η διαδικασία στραγγαλισμού. Οι εσωτερικοί όροι της εξέργειας είναι:

$$de_{D,F} = T_o \left(\frac{1}{T_{hot}} - \frac{1}{T_\alpha} \right) dq_F \quad (14)$$

$$e_{D,sh1} = e_{sh1} - [\psi(T_o, P_{evap}) - \psi_v(T_{cold})] \Delta X_{cycle} \quad (15)$$

$$de_{D,sh2} = de_{sh2} - [\psi_v(T_\alpha, P_{evap}) - \psi_v(T_o, P_{evap})] \left(\frac{\partial X}{\partial T_\alpha} \right) dT_\alpha \quad (16)$$

$$e_{D,td} = (\psi_{td,in} - \psi_{td,out}) \Delta X_{cycle} \quad (17)$$

Όπου ψ είναι η ροή της εξέργειας και ο δείκτης td προσδιορίζει τον στραγγαλισμό. Οι συνολικές απώλειες και χρήσεις εξέργειας είναι:

$$e_L = e_{bed} + e_{dsh} \quad (18)$$

$$e_{D,tot} = e_{D,F} + e_{D,sh1} + e_{D,sh2} + e_{D,td} \quad (19)$$

$$\varepsilon = 1 - (y_{L,bed} + y_{L,dsh}) - (y_{D,F} + y_{D,sh1} + y_{D,sh2} + y_{D,td}) \quad (20)$$

2.2.2.4. Κύκλος προσρόφησης με αναγέννηση

Η θερμοδυναμική απόδοση του απλού κύκλου μπορεί να βελτιωθεί με την ένωση των μεταφορών θερμότητας q_F και q_{bed} μέσα σε μια θερμική διαδικασία αναγέννησης. Η μέγιστη θερμική αναγέννηση μπορεί να επιτευχθεί με τη διαίρεση ομοιόμορφα του προσροφητικού εξίσου μεταξύ ενός άπειρου αριθμού στρωμάτων διανεμημένων σε όλο τον κύκλο, και έπειτα επιτρέποντας σε αυτά τα στρώματα να αλληλεπιδράσουν θερμικά με έναν τρόπο που ελαχιστοποιεί τη μεταφορά θερμότητας των καυσίμων q_F . Στην παρούσα κατάσταση, μόνο θερμική αναγέννηση για να αντικατασταθεί το q_F εξετάζεται,

ενώ οποιαδήποτε άλλη πιθανή θερμική αναγέννηση με τις άλλες μεταφορές θερμότητας (q_{dsh} , q_{sh1} , q_{sh2} , και q_{cond}) αποκλείεται ρητά.

Στον κύκλο με αναγέννηση κάθε στρώμα υποβάλλεται ίδια στις τέσσερις διαδικασίες όπως στον απλό κύκλο. Με βάση το σημείο της επιφάνειας στον κύκλο, αυτό μπορεί να ταξινομηθεί ως θερμαινόμενη ($dT_{htd} > 0$) ή ψυχόμενη ($dT_{cld} < 0$). Σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μεταξύ των $T_o - T_{hot}$, βρίσκεται πάντα μια θερμαινόμενη και ένα ψυχόμενη επιφάνεια, οι οποίες αναφέρονται ως ζευγάρι επιφανειών. Μια θερμοκρασία ζευγαριού T_{pair} ορίζεται ως $T_{pair} = T_{htd} = T_{cld}$ και $dT_{pair} = dT_{htd} = dT_{cld}$. Το ζευγάρι κρεβατιών είναι ισόθερμο, υποβάλλεται μόνο στις αντιστρέψιμες διαδικασίες και αντιμετωπίζεται ως ενιαίο θερμοδυναμικό συστατικό. Μια θερμοδυναμική σχηματική αναπαράσταση ενός ζευγαριού επιφανειών παρουσιάζεται στο [Σχέδιο 3](#), με ισόθερμες και μη-ισόθερμες μεταφορές θερμότητας που υποδεικνύονται όπως στο [Σχέδιο 1](#). Ένα θερμικό ενεργειακό έλλειμμα για ένα ζευγάρι κρεβατιών ορίζεται ως:

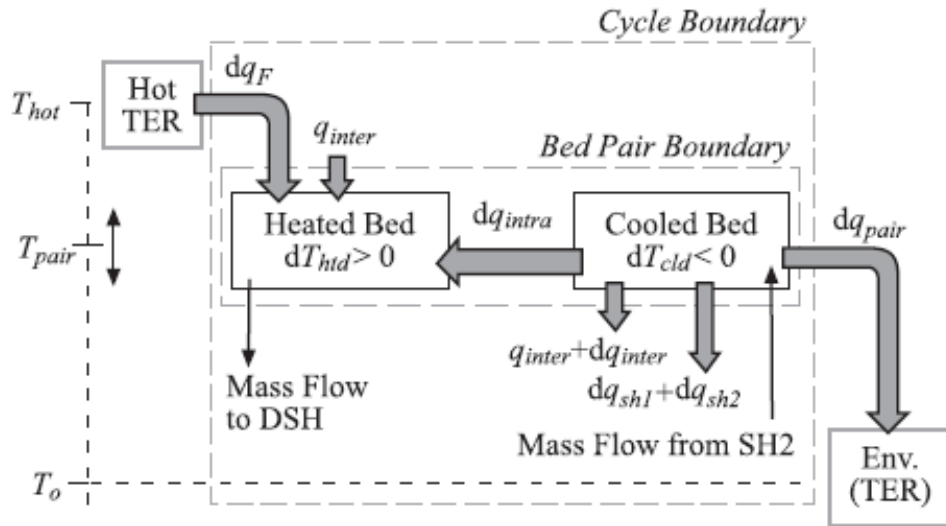
$$dq_{deficit} = dq_F - dq_{pair}$$

όπου dq_{pair} είναι ισοδύναμος με μεταφορά θερμότητας του απλού κύκλου. Αυτό το θερμικό ενεργειακό έλλειμμα υπολογίζεται με την εξ. (2) σε κάθε μια από τις επιφάνειες και προκύπτει:

$$dq_{deficit} = c_{ads}(X_{htd} - X_{cld})dT_{pair} + \Delta h_{ads} d(X_{htd} + X_{cld}) + dq_{sh1} + dq_{sh2} \quad (21)$$

όπου dq_{sh1} και dq_{sh2} ορίζονται από τις (3) & (4) για $T_o \leq T_{pair} \leq T_{a,4}$ και είναι 0 παντού αλλού, και η συγκεκριμένη θερμότητα του προσροφητικού στην προσροφημένη φάση (c_{ads}) υποτίθεται ότι ήταν αυστηρά μια λειτουργία της θερμοκρασίας. Με βάση το $dq_{deficit}$, τα ζευγάρια επιφανειών είναι ταξινομημένα όπως όντας ζευγάρια ελλείμματος ($dq_{deficit} > 0$) ή πλεονάσματος ζευγάρια ($dq_{deficit} < 0$). Δύο τύποι θερμικών αναγεννήσεων διακρίνονται: *intrapair* και *inter-pair*. Η θερμική αναγέννηση *intrapair* περιλαμβάνει μεταφορά

θερμότητας από ψυχόμενη σε θερμαινόμενη επιφάνεια μέσα ένα ζευγάρι επιφανειών, είναι αντιστρέψιμο, και δίνεται στην εξ.(21). Interpair αναγέννηση ζευγαριού (q_{inter}) περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμότητας από ένα καυτότερο ζευγάρι πλεονάσματος σε ένα πιο δροσερό ζευγάρι ελλείμματος και είναι αμετάκλητο.



Σχήμα 15 . Θερμοδυναμικό σχήμα ζεύγους επιφανειών

Για να ικανοποιήσουμε $q_{inter}(T_{pair}) \geq 0$ απαιτείται $q_{inter}^{reqd} \geq 0$ and $q_{inter}^{avail} \geq 0$ οπότε

$$q_{inter}^{avail}(T_{pair}) = \int_{T_{pair}}^{T_{hot}} \delta_1(T) dq_{deficit}(T) \quad (23)$$

$$q_{inter}^{reqd}(T_{pair}) = \int_{T_o}^{T_{pair}} \delta_2(T) dq_{deficit}(T) \quad (24)$$

όπου $\delta_1(T)$ και $\delta_2(T)$ είναι 1 για όλες τις T εκτός αν αυτό προκαλεί τις (23) ή (24) όταν αξιολογείται ότι το T γίνεται λιγότερο από μηδέν, στο οποίο περίπτωση που η αξία είναι 0.

Η θερμοδυναμική επεξεργασία του desuperheater, του συμπυκνωτή, της στραγγαλιστικής συσκευής, του εξατμιστήρα, και superheaters για τον κύκλο αναγέννησης είναι ίδια με αυτήν για τον απλό κύκλο. Η έκφραση μεταφοράς θερμότητας καυσίμων γίνεται

$$dq_F(T_{\text{pair}}) = \begin{cases} dq_{\text{deficit}} + dq_{\text{inter}} & \text{if } dq_{\text{deficit}} > 0 \\ 0 & \text{if } dq_{\text{deficit}} \leq 0 \end{cases} \quad (25)$$

Η μεταφορά θερμότητας του ζεύγους q_{pair} είναι

$$dq_{\text{pair}}(T_{\text{pair}}) = \begin{cases} -dq_{\text{deficit}} - dq_{\text{inter}} & \text{if } dq_{\text{deficit}} < 0 \\ 0 & \text{if } dq_{\text{deficit}} \geq 0 \end{cases} \quad (26)$$

Η ανάλυση της εξέργειας όπως για την απλή περίπτωση κύκλων με εξαίρεση τους όρους κρεβατιών που αντικαθίστανται με τον όρο s ζευγαριού και την προσθήκη ενός όρου για να αποτελέσει exergy που καταστρέφεται λόγω της μεταφοράς θερμότητας διά-ζευγαριού

$$de_{D,\text{inter}} = q_{\text{inter}} \frac{T_o}{T_{\text{pair}}^2} dT_{\text{pair}} \quad (27)$$

2.2.2.5. Αντιστρεπτός κύκλος

Ο κύκλος αναγέννησης περιέχει ακόμα τις υπόλοιπες αναστρεψιμότητες λόγω των μεταφορών θερμότητας στις πεπερασμένες διαφορές θερμοκρασίας και στραγγαλισμού. Αποβολή αυτών των αποτελεσμάτων αναστρεψιμοτήτων μέσα ένας αντιστρέψιμος κύκλος προσρόφησης ισοδύναμος με αυτόν ενός Carnot μηχανής θερμότητας που λειτουργεί μεταξύ T_{hot} και T_o που οδηγεί ένα Carnot ψυγείο να λειτουργεί μεταξύ T_{cold} και T_o . Ο COP για αυτό τον κύκλο είναι:

$$\text{COP}_{\text{rev}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{\text{hot}}}\right) \left(\frac{T_o}{T_{\text{cold}}} - 1\right)^{-1} \quad (28)$$

Αφού καθόλου εξέργεια δεν χάνεται ή καταναλώνεται απο εξ. (1) ο αντιστρεπτος κύκλος επιτυγχάνει μέγιστη εξεργειακή απόδοση περισσότερη απο 1.

2.2.2.6. Συμπεράσματα

Τα πρότυπα ενέργειας και εξέργειας που αναπτύσσονται επιτρέπουν τάσεις στα όρια για την αύξηση του COP χρησιμοποιώντας τη θερμική αναγέννηση στους κύκλους προσρόφησης με το ισόθερμο στρώμα και χωρίς καμία μαζική αποκατάσταση.

Η δυνατότητα να ενισχυθεί ο COP που χρησιμοποιεί τη θερμική αναγέννηση είναι μεγαλύτερη για τα σχέδια με τις μεγάλες λογικές έως λανθάνουσες αναλογίες φορτίων (e.g., σχέδια με μεγάλες τιμες R), και σχέδια με ένα μεγάλο ταξινομημένο κατά ζεύγος καθεστώς προσρόφησης στο οποίο τα λανθάνοντα φορτία αντιστοιχούν. Αυτοί οι λόγοι οδηγούν στη θερμική αναγέννηση που έχει μια σημαντικά μεγαλύτερη δυνατότητα για αύξηση του COP με zeolite–νερό αντί για silica gel–νερό για τις δεδομένες συνθήκες. Και για το silica-gel και για το zeolite, η μέγιστη θερμική αναγέννηση παράγει αποδοτικότητες εξέργειας κύκλων ~0.50, δείχνοντας τις σημαντικές υπόλοιπες αναστρεψιμότητες και τις απώλειες.

Το silica-gel βρέθηκε να έχει υψηλότερο COP για κύκλους χωρίς θερμική αναγέννηση οι οποίοι υποκινούνται απο έναν χαμηλής θερμοκρασίας θερμικής ενεργειακής πηγής (<100°C). Το ζευγάρι zeolite NaX-νερού βρέθηκε να έχει υψηλότερους COP για κύκλους με θερμική αναγέννηση και υψηλής θερμοκρασίας θερμικής ενεργειακής πηγής (>150°C).

Έρευνες έχει δείξει ότι η αποκατάσταση μάζας μπορεί να αυξηθεί η ευκαιρία για τη θερμική αναγέννηση με να επεκταθεί ταξινομημένο κατά ζεύγος καθεστώς προσρόφησης. Η προκαταρκτική διαμόρφωση προτείνει ένα ιδανικό θερμικός κύκλος κυμάτων για zeolite NaX έχει υψηλότερο COP από το άπειρο ισόθερμο σύστημα επιφανειών με θερμική αναγέννηση.Επομένως τα αποτελέσματα εδώ μόνο εμφανίζονται να αντιπροσωπεύουν τα όρια για τις αυξήσεις COP μέσω της θερμικής αναγέννησης για τα συστήματα με τις ισόθερμες επιφάνειες, χωρίς αποκατάσταση μάζας και ακολουθώντας ένα συμβατικό κύκλο προσρόφησης.

2.2.3. Παραδείγματα εγκαταστάσεων απορρόφησης και προσρόφησης

1. Ott & Spiess Langenau

ΧΩΡΑ Γερμανία

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ Langenau ,Ομοσπονδιακή Πολιτεία BadenWurttemberg

ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ Γραφεία

ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 60kWc

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ψύκτης απορρόφησης

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ Κενού, Άμεσης ροής

ΕΜΒΑΔΟΝΣΥΛΛΕΚΤΩΝ 45m

ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ 1997



Περιγραφή

Στο νέο κτίριο της επιχείρησης Ott&Spiess, μια έκταση γραφείων 415 m² ψύχεται από ψυχρές οροφές και από εξαερισμό απόρριψης με παροχή αέρα 2.600 m³/h. Τα γραφεία βρίσκονται στην κυκλικά διαμορφωμένη νότια/νοτιοδυτική πρόσοψη του κτιρίου, ώστε να υπάρχει παθητικό ηλιακό κέρδος κατά την περίοδο που απαιτείται θέρμανση. Το ψυχρό νερό παρέχεται από ψύκτη απορρόφησης. Το θερμικό ηλιακό σύστημα ψύξης/θέρμανσης βρίσκεται σε μια εν μέρει γυάλινη επιφάνεια για επιδεικτικούς λόγους. Το σύστημα θερμικών ηλιακών συλλεκτών, εξοπλισμένο με μια μονάδα προσωρινής αποθήκευσης ζεστού νερού 2 m³, παρέχει τη θερμότητα στον ψύκτη απορρόφησης. Η πρόσθετη θερμότητα σε περίπτωση χαμηλών ηλιακών κερδών ή χαμηλής θερμοκρασίας αποθήκευσης λαμβάνεται από μια μονάδα συμπαραγωγής (CHP) θερμότητας / ηλεκτρισμού (19,5 kWth, 8 kWe). Αν η απαίτηση θερμότητας υπερβαίνει την ικανότητα του ηλιακού συστήματος ή της μονάδας CHP, ένας καυστήρας φυσικού αερίου ισχύος 50 kWth τίθεται σε λειτουργία. Το ψυχρό νερό από τον κοινό ψύκτη απορρόφησης νερού/βρωμιδίου του λιθίου αποθηκεύεται σε μονάδα προσωρινής αποθήκευσης 1 m³. Λόγω της εφαρμογής των ψυχρών οροφών και του συστήματος εξαερισμού, το ψυχρό νερό τροφοδοτείται με θερμοκρασία 13°C. Ένας πύργος ψύξης υγρού τύπου επαναψύχει το νερό που χρησιμοποιείται στον ψυκτικό κύκλο στο συμπυκνωτή και στον απορροφητή του ψύκτη. Το 1999, ο ετήσιος Συντελεστής Απόδοσης COP του ψύκτη ήταν 0,56. Περίπου 9% της ολικής εισαγόμενης θερμότητας για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου εξασφαλίστηκε από το ηλιακό σύστημα.

Κόστος επένδυσης και οικονομικά δεδομένα

Συνολικό κόστος: 285.000 €

Κόστος χωρίς τις ψυχρές οροφές και τα θερμαινόμενα πατώματα: 176.000 €. Το πρόγραμμα επιχορηγήθηκε από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας.

Ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα

Λόγω της περιορισμένη ισχύος της μονάδας CHP, η θερμική ενέργεια αυτής της μονάδας δεν έρχεται σε αντίθεση με τα κέρδη από το ηλιακό σύστημα. Με αυτό το σχεδιασμό του συστήματος, επιτυγχάνεται υψηλή χρήση του θερμικού ηλιακού συστήματος καθώς επίσης και της μονάδας CHP, αποφεύγοντας την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αιχμής κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης. Αναμένεται επίσης κέρδος σε πρωτογενή ενέργεια και σε σχετικές εκπομπές CO.

2. Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Freiburg

ΧΩΡΑ Γερμανία

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ Freiburg, Ομοσπονδιακή Πολιτεία Baden Wurttemberg

ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ Εργαστήρια

ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 70 kWc

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ψύκτες προσρόφησης

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ Κενού, Άμεσης ροής

ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ 230m²

ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ 1999



Περιγραφή

Στο πανεπιστημιακό νοσοκομείο του Freiburg, "KlinikumFreiburg", λειτουργούν διάφορες εργαστηριακές εγκαταστάσεις. Ένα μεμονωμένο κτίριο εργαστηρίων είναι εξοπλισμένο με σύστημα ηλιακού κλιματισμού. Η συνολική επιφάνεια του κτιρίου που ψύχεται είναι περίπου 550 m. Δύο συστήματα εξαερισμού με μεταβλητούς ρυθμούς παροχής (10.550 m³/h και 6.350 m³/h ονομαστικά) χρησιμοποιούνται, με εναλλάκτες θερμότητας αντιροής για διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στην περίοδο θέρμανσης. Κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, ο νωπός αέρας ψύχεται με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας ψυχρού νερού, τροφοδοτούμενοι από ψύκτη προσρόφησης. Η θερμοκρασία του αέρα προσαγωγής ορίζεται στους 18°C. Η θερμότητα που παρέχεται από τους θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες χρησιμοποιείται το καλοκαίρι από τον ψύκτη προσρόφησης, καθώς επίσης και για να θερμάνει τον αέρα αερισμού το χειμώνα.

Μια μονάδα αποθήκευσης ζεστού νερού 6 m³ καθώς και μια μονάδα αποθήκευσης κρύου νερού 2 m³ είναι ενσωματωμένες στην εγκατάσταση. Σε περίπτωση ανεπάρκειας ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλών θερμοκρασιών αποθήκευσης ζεστού νερού, χρησιμοποιείται πρόσθετη θερμότητα από τηλεθέρμανση (δίκτυο ατμού του νοσοκομείου). Ένας κλειστός πύργος ψύξης υγρού τύπου επαναψύχει το νερό που χρησιμοποιείται στους ψυκτικούς κύκλους του συμπυκνωτή και κατά τη διάρκεια της φάσης προσρόφησης.

Μετά από τις ρυθμίσεις του ψύκτη λόγω της συγκεκριμένης λειτουργίας του, η αξιολόγηση των καταγεγραμμένων στοιχείων από το 2002 αποκαλύπτει ημερήσιες τιμές του θερμικού συντελεστή απόδοσης COP για αρκετές ημέρες στην περίοδο ψύξης γύρω από την αναμενόμενη τιμή 0,60. Επιτεύχθηκε ετήσια απόδοση συλλεκτών 32%.

Κόστος επένδυσης και οικονομικά δεδομένα

Συνολικό πάγιο κόστος του συστήματος: 352.000 € (χωρίς κόστος παρακολούθησης). Η εγκατάσταση επιχορηγήθηκε από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Οικονομίας και Εργασίας και από την εταιρία Sulzer Infra. Η

συνολική υποστήριξη ήταν 262.000 € .Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περίπου 12.000 € .

Ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα

Με αυτού του τύπου τα συστήματα η σταθερή υποστήριξη του υπάρχοντος δικτύου ατμού υποβοηθείται, αποφεύγοντας έτσι φορτία αιχμής, τόσο λόγω κατανάλωσης ατμού όσο και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλών ψυκτικών φορτίων οι οποίες συμπίπτουν με αυτές των υψηλών ηλιακών κερδών. Αναμένεται εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και συνεπώς αποφυγή εκπομπών CO₂. Στον ψύκτη προσρόφησης χρησιμοποιούνται (αποκλειστικά) υλικά που είναι φιλικά προς το περιβάλλον

3. Γρ. Σαράντης Α.Ε.-Βοιωτία

ΧΩΡΑ Ελλάδα

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ Οινόφυτα, Βοιωτία

ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ Αποθήκη καλλυντικών Εταιρίας Γρ. Σαράντη Α.Ε.

ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 700 kWc

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Προσρόφηση

ΤΥΠΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ Επίπεδοι Επιλεκτικοί

ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ 2.700 τετρ.μέτρα

ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ 1999



Περιγραφή

Το έργο λέγεται "ΦΩΤΟΝΙΟ" και αφορά στην εγκατάσταση κεντρικού συστήματος κλιματισμού κάνοντας χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή την ψύξη των νέων κτιρίων και αποθηκών καλλυντικών της επιχείρησης Σαράντης Α.Ε.

Ο κλιματιζόμενος χώρος είναι 22.000 m² (130.000 m³). Το πεδίο ηλιακών επιλεκτικών συλλεκτών συνολικής έκτασης 2.700 m² κατασκευάστηκε εξολοκλήρου στην Ελλάδα από τη SOLE Α.Ε

Κόστος επένδυσης και οικονομικά δεδομένα

Συνολικό κόστος επένδυσης: 1.305.943 €, από το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ) (του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης). Στο έργο έχει απονεμηθεί το βραβείο "Energy Globe Award 2001" σαν η τρίτη καλύτερη επένδυση για τη βιώσιμη ενέργεια στον κόσμο, στο έτος 2001 και έχει βραβευθεί από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) ως η καλύτερη επένδυση για εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 1999.

Ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα

Οι συνολικές ανάγκες ψύξης του κτιρίου είναι περίπου 2.700.000 kWh ετησίως. Οι ηλιακοί συλλέκτες παρέχουν ζεστό νερό θερμοκρασίας 70-75 °C σε δύο ψύκτες προσρόφησης και λειτουργούν με συντελεστή απόδοσης 60%. Οι δύο ψύκτες προσρόφησης χρησιμοποιούν το ζεστό νερό ως πηγή ενέργειας και παράγουν ψυχρό νερό θερμοκρασίας 8-10 °C. προσρόφησης δεν Οι ψύκτες χρειάζονται κινούμενα εξαρτήματα και χρησιμοποιούν ελάχιστη ηλεκτρική αντλιών των ενέργεια για τη λειτουργία κενού (1.5kW). Η χρήσιμη ψυκτική ισχύς είναι 350kW για κάθε έναν και 700kW για το σύνολο. Για την κάλυψη του φορτίου αιχμής, έχουν εγκατασταθεί τρεις συμβατικοί ηλεκτρικοί ψύκτες 350kW ο καθένας. Της διάρκειας Κατά τη χειμερινής περιόδου οι ηλιακοί συλλέκτες συχνά παράγουν ζεστό νερό 55°C, το στις άμεσα οποίο κυκλοφορεί τοπικές κλιματιστικές μονάδες (σπείρες ανεμιστήρων) του κτιρίου.

Οι συμβατικοί λέβητες επικουρούν τον τομέα συλλεκτών σε περίπτωση συννεφιάς. Το ψυχρό νερό (κατά τη θερινή περίοδο) και το ζεστό νερό (κατά τη χειμερινή περίοδο) κατευθύνονται στην τοπική μονάδα κλιματισμού όπου ψύχουν ή θερμαίνουν τον αέρα περιβάλλοντος αντίστοιχα.

Τεχνικά αποτελέσματα:

Περίοδος αναφοράς: 12 μήνες

Παραγωγή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα: 1.719MWh,

Ψύξη: 1.090 MWh, Θέρμανση: 629MWh,

Συνολικό Ενεργειακό Φορτίο: 614 MWh,

Ηλιακή κάλυψη: 66%, CO₂ Μείωση: 5.125 tn/έτος

4. “Rethimno Village” Hotel Κρήτη

ΧΩΡΑ Ελλάδα

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ Κρήτη, Ρέθυμνο

ΚΤΗΡΙΟ Ξενοδοχείο

ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΨΥΞΗΣ 105 kWc

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Απορρόφηση

ΤΥΠΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες εκλεκτικής επιφάνειας

ΕΜΒΑΔΟ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ 448 m²

ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ 2000

Περιγραφή

Το Rethimno Village Hotel βρίσκεται στο Ρέθυμνο της Κρήτης, στη νότια Ελλάδα. Είναι τουριστικό συγκρότημα χωρητικότητας κλινών και έχει

πληρότητα 100% το καλοκαίρι και 45% το χειμώνα. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί επίπεδους συλλέκτες (επιλεκτικής επιφάνειας, 448 m²) για τον κεντρικό κλιματισμό (ψύξη και θέρμανση) και επίσης συλλέκτες πολυπροπυλενίου 199 m² που τροφοδοτούν ζεστό νερό για τη θέρμανση της πισίνας. Ο σχεδιασμός, η προμήθεια και η εγκατάσταση αυτού του συστήματος έγιναν από τη SOLE A.E. Συνολική κλιματιζόμενη επιφάνεια: 3.000 m²

Κόστος επένδυσης και οικονομικά δεδομένα

Συνολικό πάγιο κόστος: 264.123 .Το έργο επιχορηγήθηκε 50% από το Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα για την Ενέργεια (ΕΠΕ) (του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης).Στο πρόγραμμα έχει απονεμηθεί από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) βραβείο ως η καλύτερη επένδυση εξοικονόμησης ενέργειας για το έτος 2000.

Ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα

Οι ηλιακοί συλλέκτες τροφοδοτούν ένα ψύκτη απορρόφησης με ζεστό νερό θερμοκρασίας 70-75 °C που λειτουργεί με συντελεστή απόδοσης 60%. Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί το ζεστό νερό ως πηγή ενέργειας και παράγει ψυχρό νερό θερμοκρασίας 8-10°C. Το μέσο ψύξης είναι επίσης νερό (αντί του φρέοντος ή της αμμωνίας). Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας κενού (0,5 kW). Η ισχύς του είναι 105 kW. Ένας λέβητας (φυσικού αερίου) 600 kW αντικαθιστά τους συλλέκτες όταν υπάρχει συννεφιά ή όποτε υπάρχει ανάγκη για κλιματισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν ζεστό νερό 55°C, το οποίο κυκλοφορεί άμεσα στις τοπικές κλιματιστικές μονάδες. Ο ίδιος λέβητας αντικαθιστά τους συλλέκτες σε περίπτωση συννεφιάς. Το ψυχρό νερό (κατά τη θερινή περίοδο) και το ζεστό νερό (κατά τη χειμερινή περίοδο) κατευθύνεται στην τοπική μονάδα κλιματισμού όπου ψύχουν ή θερμαίνουν τον αέρα περιβάλλοντος.

Τεχνικά αποτελέσματα:

Περίοδος αναφοράς: 12 μήνες

Παραγωγή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα: 651 MWh,

Συνολικό ενεργειακό φορτίο: 1.498 MWh,

Ηλιακή κάλυψη: 43%

Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: 651 MWh.

Μείωση της παραγωγής CO₂: 1.095 kg.

3. DESICCANT COOLING

3.1. Γενικά

Η desiccant τεχνολογία ψύξης παρέχει ένα εργαλείο για την ρύθμιση των επιπέδων υγρασίας στους κλιματιζόμενους χώρους . Τα desiccant συστήματα λειτουργούν από κοινού με συμβατικά συστήματα κλιματισμού για την αφύγρανση του αέρα. Τα desiccant υλικά είναι εκείνα που προσελκύουν την υγρασία λόγω των διαφορών στην πίεση ατμού. Οι περισσότεροι άνθρωποι είναι εξοικειωμένοι με desiccants όπως οι συσκευασίες silica gel που συμπεριλαμβάνονται με νέα ηλεκτρονικά ή υφαντικά προϊόντα . Τα desiccants μπορούν να είναι υπό μορφή στερεού ή υγρού. Έχουν προσδιοριστεί οι τύποι των desiccants που είναι κατάλληλοι ως συστατικό των εμπορικών συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Αυτά τα desiccants έχουν επιλεχτεί βάσει της δυνατότητά τους να κρατήσουν τις μεγάλες ποσότητες ύδατος, η δυνατότητά τους να επανενεργοποιούνται, και του κόστους.

Προκειμένου να είναι αποτελεσματικό, desiccant πρέπει να είναι ικανό να διατηρεί το λανθάνον ψύκτικό φορτίο σε μια συνεχή διαδικασία. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, τα εμπορικά desiccant συστήματα αποτελούνται από ένα ρεύμα αέρα επεξεργασίας και ένα ρεύμα αέρα επανενεργοποίησης. Το desiccant υλικό που είναι στον ρεύμα αέρα διαδικασίας έχει προετοιμαστεί για να έχει μια χαμηλότερη πίεση ατμού από τον αέρα που περνά πάνω από αυτό. Κατά συνέπεια, η υγρασία του αέρα μεταφέρεται επάνω στο desiccant υλικό. Ενώ η desiccant πίεση ατμού αυξάνεται λόγω της παρουσίας της υγρασίας που έχει προσελκύσει, το desiccant υλικό μεταφέρεται σε μια διαδικασία επανενεργοποίησης. Κατά τη διαδικασία επανενεργοποίησης, καυτός αέρας περνά πάνω από το desiccant. Η πίεση ατμού του καυτού αέρα είναι χαμηλότερος από τη desiccant επιφάνεια που αναγκάζει την υγρασία να μεταφερθεί από τη desiccant επιφάνεια στο ρεύμα του καυτού αέρα. Ο υγρός καυτός αέρας απάγεται από το σύστημα στον υπαίθριο αέρα. Το desiccant υλικό που του έχει αφαιρεθεί η παγιδευμένη υγρασία προετοιμάζεται πάλι για να εγκλωβίσει την υγρασία καθώς μεταφέρεται πίσω στο ρεύμα αέρα. Ο ξηρός αέρας που αφήνει το desiccant περνάει

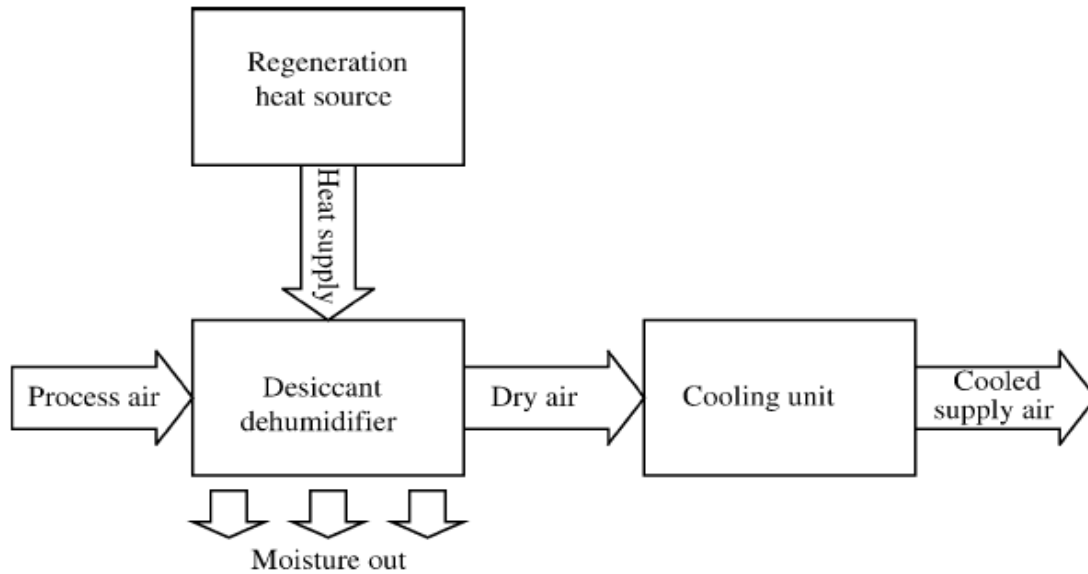
έπειτα από μια συμβατική σπείρα ψύξης που οδηγεί τη λογική εργασία δροσίσμου που απαιτείται για να ανταποκριθεί στην προδιαγραφή του αέρα για τον κλιματιζόμενο χώρο.

i. Αρχές της desiccant ψύξης

Η desiccant ψύξη συνίσταται στην αφύγρανση του εισερχόμενου ρεύματος αέρα με το να το οδηγεί διαμέσου ενός desiccant υλικού και μετά ξηραίνει τον αέρα στην επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία. Για την συνεχή και καλή λειτουργία του συστήματος, πρέπει οι υδρατμοί που απορροφούνται/προσροφούνται να οδηγούνται έξω από το desiccant υλικό έτσι ώστε να στεγνώνει αρκετά για να απορροφήσει τους υδρατμούς στον επόμενο κύκλο. Αυτό επιτυγχάνεται με την θέρμανση του υλικού desiccant στην θερμοκρασία αναγέννησης του η οποία εξαρτάται από την φύση του υλικού που χρησιμοποιείται. Επομένως ένα σύστημα desiccant ψύξης περιλαμβάνει τρία βασικά συστατικά, ονομαστικά ο αναγεννητής της θερμικής πηγής, ο αφυγραντής (desiccant υλικό) και η ψυκτική μονάδα. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται ισχυρά από τον βαθμό αισθητής θερμότητας (SHR). Ο SHR ορίζεται ως ο λόγος της αισθητής θερμότητας προς το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας του χώρου που κλιματίζεται. Η μικρή τιμή αυτού σημαίνει ότι το ολικό ψυκτικό φορτίο είναι κυρίως το λανθάνων φορτίο, στην οποία κατάσταση η ψύξη desiccant φαίνεται να είναι αποδοτική και οικονομική. Οι πιθανοί χειρισμοί της σύνθεσης ενός ή όλων των 3 συντελεστών μπορούν να ποικίλουν πολύ ανάλογα με τη φύση του desiccant που χρησιμοποιείται.

ii. Ο desiccant αφυγραντής

Στην περίπτωση που το desiccant είναι σε στερεή μορφή, το αφυγραντικό είναι γενικά ένας αργά περιστρεφόμενος τροχός ή ένα στρώμα περιοδικής αναγέννησης.



Σχήμα 1 . Αρχή της desiccant ψύξης

Όταν χρησιμοποιείται το υγρό desiccant, ο αποξηραντής (απορροφητής) είναι ο εξοπλισμός μέσα στον οποίο υγρό desiccant έρχεται σε επαφή με το ρεύμα αέρα. Οι πιθανές διαμορφώσεις της περιλαμβάνουν την πτερυγωτή επιφάνεια σωλήνων, τον σπειροειδή απορροφητή, τον πύργο ψεκασμού, και τον πύργο συμπίεσης. Ο αποξηραντής (απορροφητής) και ο αναγεννητής αναφέρονται γενικά ως επαφείς. Ο τρόπος συμπίεσης των πύργων μπορεί να είναι κανονικός (δομημένος) ή τυχαίος (ανώμαλος).

iii. Η ψυκτική μονάδα

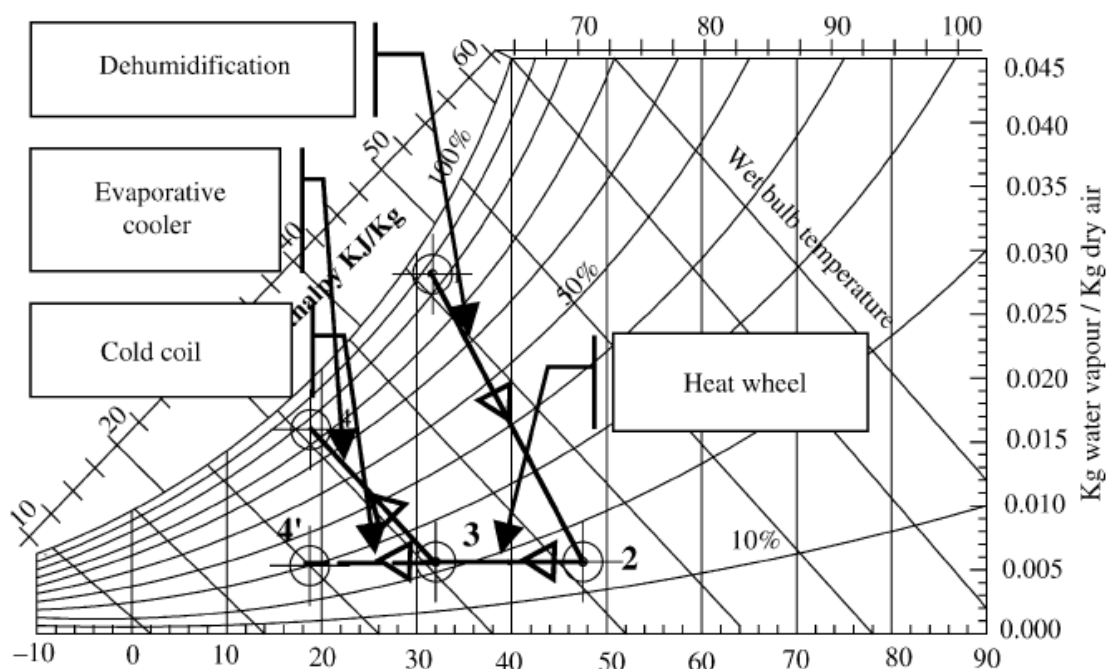
Η ψυκτική μονάδα μπορεί να είναι ο εξατμιστήρας ενός παραδοσιακού κλιματιστικού μηχανήματος, ο εξατμιστικός ψύκτης ή μια ψυχρή σπείρα. Ο ρόλος της ψυκτικής μονάδας είναι ο χειρισμός του αισθητού φορτίου ενώ το desiccant αφαιρεί το λανθάνον φορτίο. Όταν ένα desiccant σύστημα τροχών εφαρμόζεται, ένας εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται σε σειρά με αυτό, γενικά για να δροσίσει προκαταρκτικά το ξηρό και θερμό ρεύμα αέρα πριν από την περαιτέρω ψύξη του από ένα εξατμιστικό δοχείο ψύξης ή την κρύα σπείρα. Σε αυτήν την περίπτωση, ο εναλλάκτης θερμότητας μαζί με το δοχείο ψύξης εξατμιστήρων ή η κρύα σπείρα αποτελεί την ψυκτική μονάδα. Το διάγραμμα 1 παρουσιάζει υπό μορφή ψυχομετρικής αντιπροσώπευσης, τη χρήση ενός εξατμιστικού δοχείου ψύξης (φάση 3 – φάση 4) και της ψυκτικής

σπείρας (φάση 3 – φάση 40) σε σειρά με ένα δοχείο ψύξης εναλλακτών θερμότητας (φάση 2 – φάση 3).

iv. Ο αναγεννητής θερμότητας

Η πηγή θερμότητας αναγέννησης παρέχει τη θερμική ενέργεια απαραίτητη για την εκδίωξη της υγρασίας που το desiccant είχε λάβει κατά τη διάρκεια της φάσης προσρόφησης. Επειδή η θερμική πηγή ενέργειας απαιτείται, ποικίλες πιθανές πηγές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Περιλαμβάνονται η ηλιακή ενέργεια, η θερμότητα των αποβλήτων, και η θέρμανση φυσικού αερίου, και η δυνατότητα της ενεργειακής ανάκτησης μέσα στο σύστημα.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ψύξη με υγρό desiccant, η θερμότητα της αναγέννησης εφοδιάζεται στο desiccant διάλυμα μέσα στη δομή ενός αναγεννητή όπου ένα ρεύμα αέρα καθαρισμού φυσίεται ταυτόχρονα για να μεταφέρει την υγρασία που εκροφάται από τη θέρμανση. Ο αέρας καθαρισμού μπορεί επίσης να είναι ένα ρεύμα καυτού αέρα που παρουσιάζεται στην επαφή με το αραιό desiccant διάλυμα μέσα στον αναγεννητή με αυτόν τον τρόπο θερμαίνοντας το που εξάγει μακριά την υγρασία του.



Διάγραμμα 1 . Ψυχομετρικός χάρτης που δείχνει την διαδικασία της desiccant ψύξης

v. *Πλεονεκτήματα αφύγρανσης με desiccants*

Αυξανόμενη άνεση

Ανεξάρτητος έλεγχος της υγρασίας και της θερμοκρασίας

- Έλεγχος υγρασίας απο την desiccant μονάδα
- Έλεγχος Θερμοκρασίας απο συμβατικό σύστημα ψύξης

Χαμηλότερες λειτουργικές δαπάνες

- Χρήση χαμηλότερου κόστους φυσικού αεριού για αναγέννηση
- Το συμβατικό σύστημα ψύξης λειτουργεί σε μια υψηλότερη αποδοτικότητα λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών αναρρόφησης

Χαμηλότερη μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση

Αλλαγή από λανθάνουσα ψύξη σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας

- Φυσικό αέριο
- Ατμός
- Αναθέρμανση

Επιλογές διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας

Πηγές διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας

- Ψύκτες με υποστήριξη μηχανών
- Συμπαγωγή
- Θερμότητα συμπυκνωτών
- Συμπύκνωμα ατμού

Συστήματα ξηρών αγωγών

Υψηλή υγρασία αέρα και σκόνης με αποτέλεσμα

- Αύξηση μυκήτων
- Αύξηση βακτηριδίων

Μειωμένη ποιότητα του εσωτερικού αέρα

ASHRAE 62-89

Οι τυποποιημένες διευθύνσεις αύξησαν τα επίπεδα υπαίθριου αέρος

- Αύξησης συνολικό ψυκτικού φορτίου
- Αύξηση λανθάνοντος φορτίου

Τα desiccant συστήματα μπορούν άμεσα να εξετάσουν αυτό το πρόβλημα

Χωρίς χρήση CFC

Τα desiccant συστήματα δεν χρησιμοποιούν τα CFC για την αφαίρεση υγρασίας

Βελτιωμένη ποιότητα εσωτερικού αέρα

- Κατάλληλα επίπεδα φρέσκου αέρα
- Μειωμένα επίπεδα εναέριων βακτηριδίων
- Χημικά επεξεργασίας αέρα με υγρά desiccants

Μειωμένη συντήρηση κτιρίου

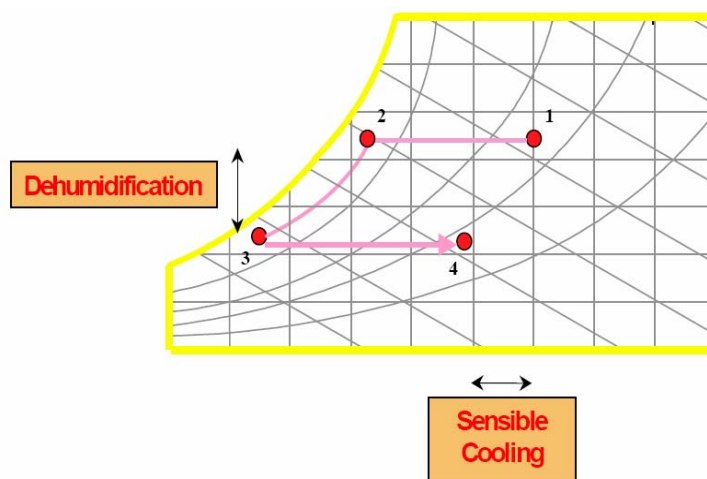
Μειωμένες δραστηριότητες συντήρησης κτιρίου που συνδέονται με τα υψηλά επίπεδα υγρασίας

- Αντιμετώπιση μούχλας
- Διάβρωση
- Αντικατάσταση των καλυμμάτων τοίχων
- Αντικατάσταση των καλυμμάτων παραθύρων
- Αντικατάσταση του τάπητα

vi. Εναλλακτικές λύσεις desiccant αφύγρανσης

Ένα συμβατικό σύστημα ψύξης χαμηλώνει τη θερμοκρασία του ρεύματος αέρα περνώντας ο αέρας από μια σπείρα ψύξης. Η ενέργεια αφαιρείται από τον αέρα υπό μορφή αισθητής και λανθάνουσας ψύξης. Η αισθητή ψύξη είναι απλά η μείωση της θερμοκρασίας ξηρού βολβού του αέρα. Η λανθάνουσα ψύξη είναι η αφαίρεση της υγρασίας από τον αέρα ή ξήρανση. Η λανθάνουσα ψύξη πραγματοποιείται όταν ψύχεται ο αέρας κάτω από το σημείο δρόσου. Η ψύξη κάτω από το σημείο δρόσου προκαλεί την συμπύκνωση της υγρασίας

και φεύγει απο το ρεύμα αέρα. Ο αέρας που αφήνει τη σπείρα ψύξης κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι κοντά στον κορεσμό. Ο αέρας αναμιγνύεται έπειτα ή θερμαίνεται εκ νέου στην επιθυμητή θερμοκρασία αέρα ανεφοδιασμού. Αυτή η διαδικασία είναι διευκρινισμένη στο ψυχομετρικό διάγραμμα στη συνέχεια.



Σχήμα 2 . Διεργασία desiccant

1-2: Ο αέρας ψύχεται στο σημείο του κορεσμού

2-3: Περαιτέρω ψύξη προκαλεί συμπύκνωση της υγρασία από τον αέρα ενώ η θερμοκρασία του αέρα συνεχίζει να μειώνεται

3-4: Ο αέρας αναμιγνύεται ή περνά μέσω αναθέρμανσης εκ νέου στον αέρα ανεφοδιασμο στην επιθυμητή θερμοκρασία

3.2. Ανοικτοί κύκλοι –desiccant συστήματα ψύξης

Ενώ οι θερμικά κινούμενοι ψύκτες παράγουν κρύο νερό, το οποίο μπορεί να παρασχεθεί σε οποιοδήποτε τύπου εξοπλισμό κλιματισμού, οι ανοικτοί ψυκτικοί κύκλοι παράγουν άμεσα ρυθμιζόμενο αέρα. Οποιοσδήποτε τύπος θερμικά οδηγούμενου ανοικτού ψυκτικού κύκλου βασίζεται σε έναν συνδυασμό εξατμιστικής ψύξης με αφυδάτωση αέρα από desiccant, δηλ., ένα υγροσκοπικό υλικό. Πάλι, είτε τα υγρά είτε στερεά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόν το λόγο. Ο τυποποιημένος κύκλος που εφαρμόζεται συνήθως σήμερα χρησιμοποιεί τις περιστρεφόμενες desiccant

ρόδες, που εξοπλίζονται είτε με το silica-gel είτε το λίθιο-χλωρίδιο ως υλικό προσρόφησης. Όλα τα απαραίτητα συστατικά είναι τυποποιημένα συστατικά και έχουν χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές κλιματισμού για τα κτήρια ή τα εργοστάσια από πολλά έτη. Ο τυποποιημένος κύκλος που χρησιμοποιεί ένας desiccant τροχός και οι αντίστοιχες καταστάσεις του αέρα στον κύκλο παρουσιάζονται στο σχήμα 3. Τα συστήματα σύμφωνα με αυτό το σχέδιο κυρίως εφαρμόζονται στα εύκρατα κλίματα. Ο αέρας ακολουθεί τις ακόλουθες διαδικασίες κατά τη διάρκεια του συστήματος:

1→2 απορροφητική αφύγρανση του αέρα εισαγωγής, η διαδικασία είναι σχεδόν αδιαβατική και ο αέρας θερμαίνεται από τη θερμότητα προσρόφησης και την καυτή μήτρα της ρόδας που προέρχεται από την πλευρά αναγέννησης

2→3 πρόψυξη του αέρα ανεφοδιασμού σε αντίθετη φορά από τον αέρα που επιστρέφει από το κτίριο

3→4 εξατμιστική ψύξη του αέρα ανεφοδιασμού στην επιθυμητή υγρασία με τη βοήθεια ενός υγραντή

4→5 η σπείρα θέρμανσης χρησιμοποιείται μόνο στην εποχή που χρειάζεται θέρμανση, για την προθέρμανση του αέρα

5→6 μια μικρή αύξηση θερμοκρασίας προκαλείται από τον ανεμιστήρα

6→7 η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα αυξάνονται με τη βοήθεια των εσωτερικών φορτίων

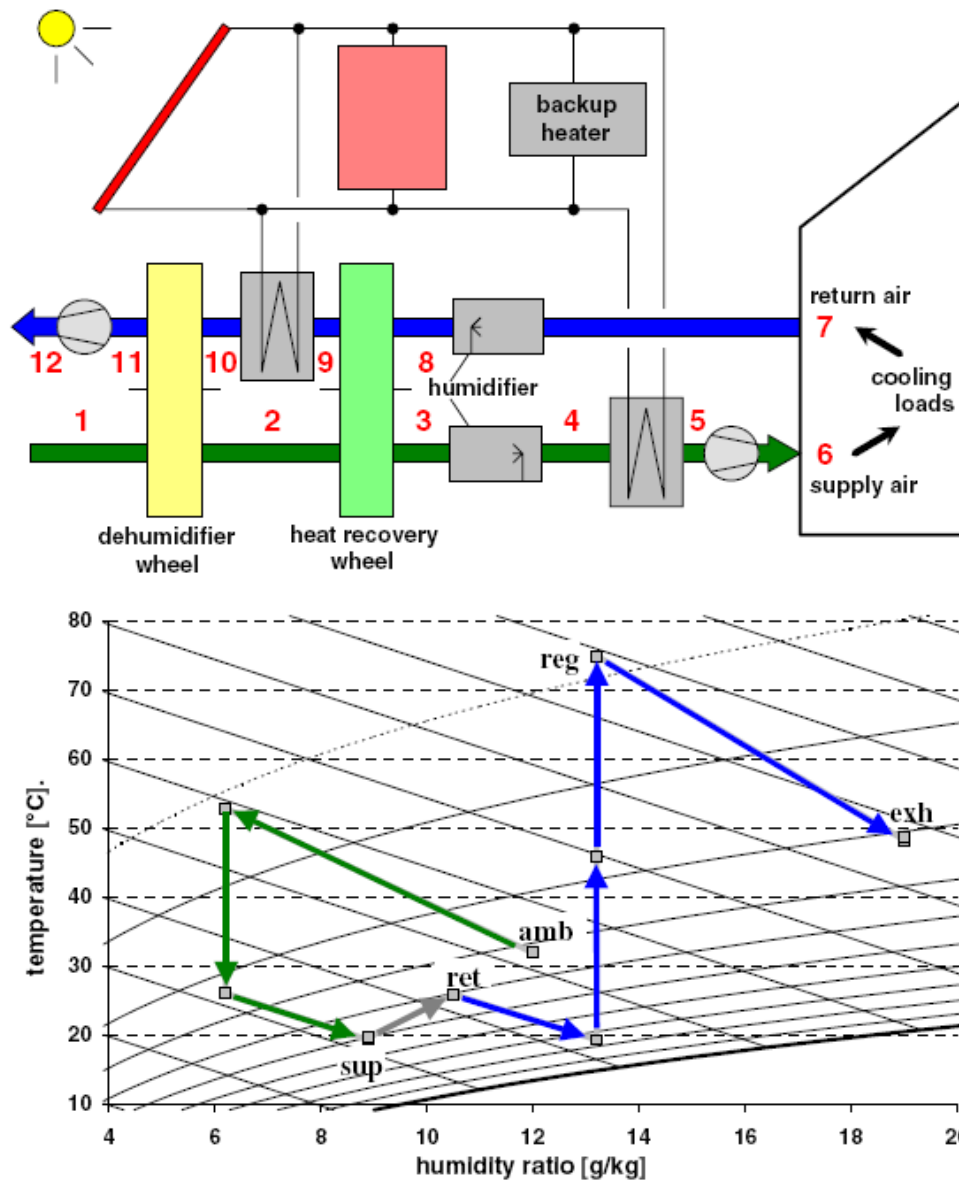
7→8 ο αέρας επιστροφής από την κατασκευή δροσίζεται χρησιμοποιώντας την εξατμιστική ψύξη κοντά στη γραμμή κορεσμού

8→9 ο αέρας επιστροφής προ-θερμαίνεται σε αντίθετη ροή από τον αέρα ανεφοδιασμού με τη βοήθεια ενός υψηλής απόδοσης αέρος-αέρος εναλλάκτη θερμότητας, π.χ., μια ρόδα διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας

9→10 η αναγέννηση θερμότητας παρέχεται με τη βοήθεια ενός ηλιακού θερμικού συστήματος συλλεκτών

10→11 το νερό που μπαίνει στους πόρους του desiccant υλικού της ρόδας αφύγρανσης εκροφάται με τη βοήθεια του καυτού αέρα

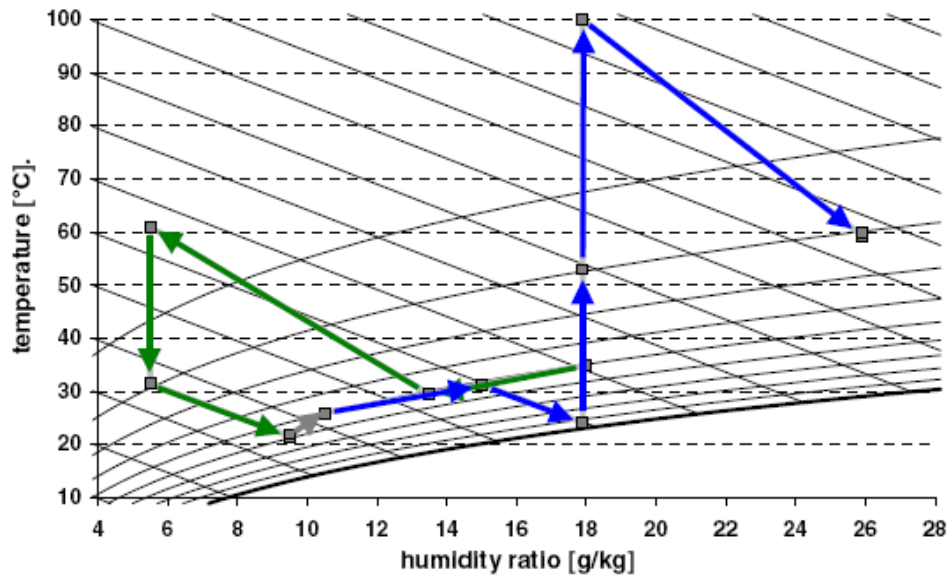
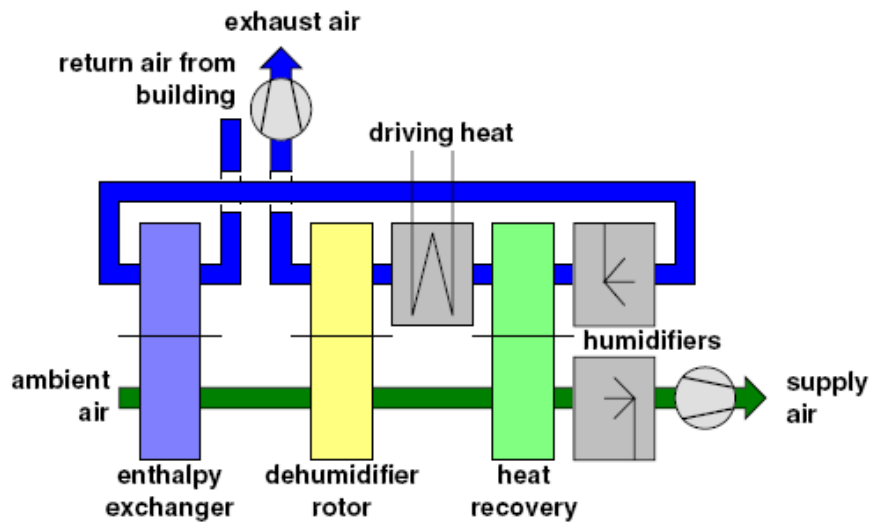
11→12 ο απορριπτόμενος αέρας φυσιέται στο περιβάλλον με τη βοήθεια του ανεμιστήρα επιστροφής αέρα.



Σχήμα 3. Σχεδιάγραμμα απλού κύκλου ψύξης desiccant που χρησιμοποιεί τροχό αφύγρυνσης και οι καταστάσεις αέρα της διαδικασίας σε διάγραμμα T-x

Η εφαρμογή του κύκλου που περιγράφεται ανωτέρω περιορίζεται στα εύκρατα κλίματα, δεδομένου ότι η πιθανή αφύγρυνση δεν είναι αρκετά υψηλή για να επιτρέψει την εξατμιστική ψύξη του αέρα σε συνθήκες με αρκετά υψηλότερες τιμές της υγρασίας από του περιβαλλοντικού αέρα. Για τα κλίματα όπως στις μεσογειακές χώρες πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλες διαμορφώσεις των desiccant διαδικασιών. Δύο πιθανές διαμορφώσεις

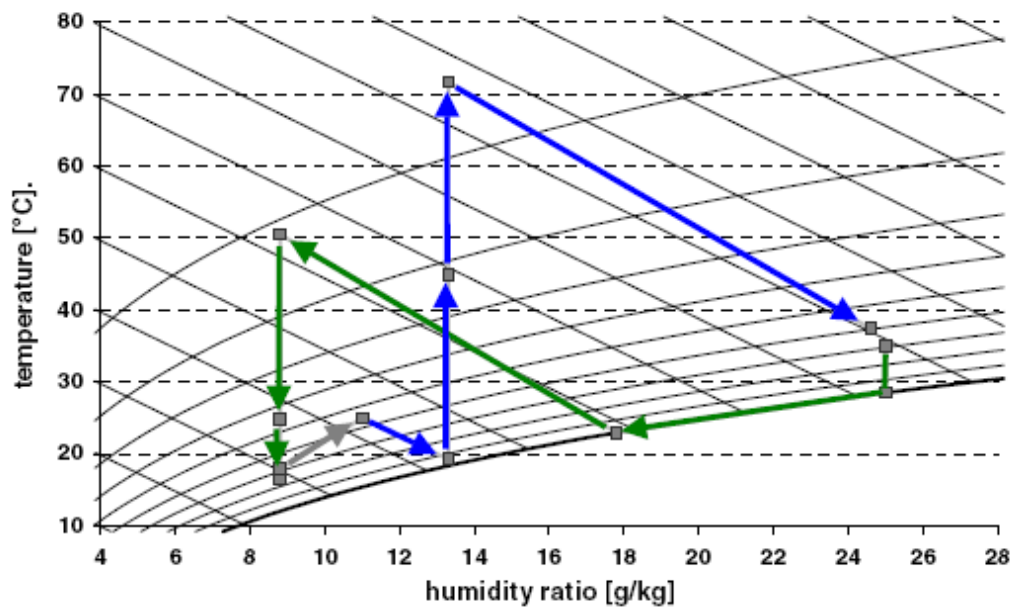
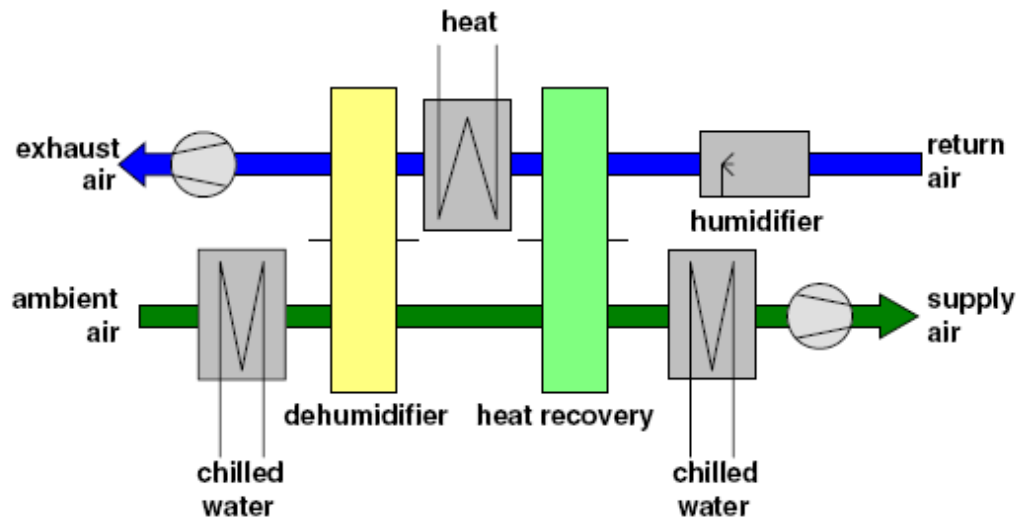
παρουσιάζονται στο σχήμα 4 και το σχήμα 5. Εκτός από τα συστατικά που παρουσιάζονται στο σχήμα 3 η διαμόρφωση στο σχήμα 4 χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη ενθαλπίας, έναν στροφέα που επιτρέπει τη συνολική ανταλλαγή θερμότητας, δηλ., ανταλλαγή της λογικής θερμότητας και της υγρασίας. Η χρησιμοποίηση αυτού του συστατικού περιβαλλοντικού αέρα ψύχεται εκ των προτέρων και προ-αφυδατώνεται χρησιμοποιώντας τον αέρα επιστροφής από το κτήριο. Πίσω από τον εναλλάκτη ενθαλπίας ο αέρας δηλώνει τον αέρα έτσι ώστε ο συμβατικός desiccant κύκλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εντούτοις, οι υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης είναι απαραίτητες προκειμένου να επιτραπεί η ικανοποιητική αναγέννηση από την desiccant ρόδα. Η διαμόρφωση στο σχέδιο 3 παρουσιάζει ένα σύστημα που αποτελείται από έναν desiccant κύκλο που συνδυάζεται με δύο σπείρες ψύξης στο ρεύμα επιστροφής αέρα που παρέχεται το κρύο νερό, π.χ., από ένα συμβατικό ψυγείο ή άλλες κρύες πηγές όπως ένα πηγάδι ή έναν ποταμό ανάλογα με την περίπτωση.



Σχήμα 4. Κύκλος ψύξης desiccant για κλιματολογικές καταστάσεις με υψηλές τιμές υγρασίας αέρα ένας εναλλάκτης ενθαλπίας προψύχει και προ-αφυδατώνει τον αέρα προτού να εισαχθεί στον απλό κύκλο ψύξης desiccant

Το πλεονέκτημα αυτού του συνδυασμού ρόδας ρόφησης και ψυκτικών σπειρών είναι ότι σχετικά οι υψηλού ανεφοδιασμού θερμοκρασίες του ψυχρού νερού στις σπείρες είναι ικανοποιητικές. Ο περιβαλλοντικός αέρας προψύχεται και προ-αφυδατώνεται προτού να εισαχθεί στη desiccant ρόδα. Δεδομένου ότι η προ-αφυδάτωση πραγματοποιείται για ένα υψηλό επίπεδο υγρασίας, οι υψηλές θερμοκρασίες κρύου νερού είναι επαρκείς για να ψύξουν τον αέρα κάτω από το σημείο δρόσου. Η ροφητική αφύγρανση λαμβάνει μέρος για να ρυθμίσει την παροχή αέρα στην επιθυμητή υγρασία αέρα. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα πίσω από τη μονάδα διατήρησης θερμοκρασίας θα είναι ακόμα αρκετά υψηλή για να εισαχθεί στο δωμάτιο άμεσα μια άλλη ψυκτική σπείρα υιοθετείται που πρέπει να δροσίζει τον αέρα. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται στο σχήμα 4 ο αέρας πρέπει να δροσιστεί από περίπου 25 °C σε περίπου 18,5 °C επομένως πάλι μια σχετικά υψηλή θερμοκρασία του κρύου νερού είναι ικανοποιητική. Εάν ένα ψυγείο συμπίεσης χρησιμοποιείται για την παροχή του κρύου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις υψηλές θερμοκρασίες εξάτμισης και με αυτόν τον τρόπο και με υψηλό COP.

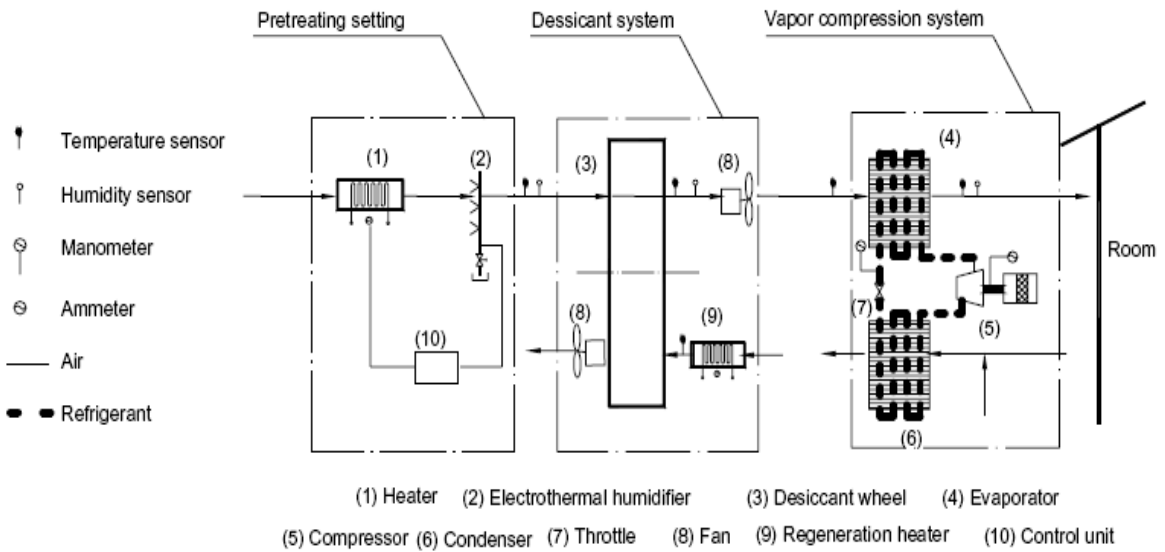
Συστήματα που χρησιμοποιούν τα υγρά υλικά προσρόφησης που έχουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως υψηλότερη αφύγρανση αέρα στην ίδια θερμοκρασία και η δυνατότητα της υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης με τη βοήθεια των συγκεντρωμένων υγροσκοπικών λύσεων δεν είναι διαθέσιμες στην αγορά αλλά είναι κοντά στην εισαγωγή τους στην αγοράς. Διάφορα προγράμματα επίδειξης εκτελούνται προκειμένου να εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας για τον ηλιακό βοηθητικό κλιματισμό. Γενικά, τα desiccant συστήματα ψύξης είναι μια ενδιαφέρουσα επιλογή εάν τα συγκεντρωμένα συστήματα εξαερισμού χρησιμοποιούνται και οι τρέχουσες εξελίξεις στους προηγμένους κύκλους υπόσχονται να αυξήσουν τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε συνδυασμό με την ηλιακή θερμική ενέργεια.



Σχήμα 5. Desiccant ψυκτικός κύκλος με ψυκτικές σπείρες που τροφοδοτούνται από το ψυχρό νερό για κλιματολογικές συνθήκες με πολύ υψηλά επίπεδα υγρασίας αέρα, η πρωτόψυκτη σπείρα προψύχει και προ-αφυδατώνει τον αέρα και η δεύτερη ψυκτική-σπείρα ρυθμίζει τη θερμοκρασία αέρα ανεφοδιασμού σύμφωνα με την επιθυμητή τιμή .

3.3. Υβριδικό σύστημα κλιματισμού με desiccant

Το σχήμα 6 παρουσιάζει σχηματικό διάγραμμα υβριδικό desiccant σύστημα κλιματισμού. Οι αντίστοιχες πραγματικές φωτογραφίες παρουσιάζονται στην εικ 1. Η πειραματική συσκευή περιλαμβάνει ένα τμήμα προεπεξεργασίας (1,2), ένα desiccant σύστημα τροχών (3,8,9), και ένα σύστημα συμπίεσης ατμού (4,5,6,7).



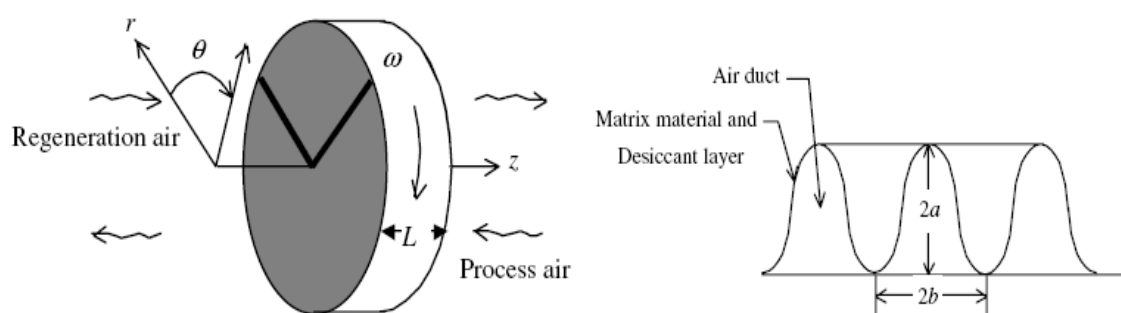
Σχήμα 6. Σχηματική αναπαράσταση του υβριδικού desiccant συστήματος κλιματισμού τροχών.



Εικόνα 1. Η φωτογραφία του υβριδικού desiccant συστήματος.

Το τμήμα προεπεξεργασίας αέρα περιλαμβάνει μια ηλεκτρική θερμάστρα (1) και έναν ηλεκτρο-θερμικό υγραντή (2). Ο αέρας διαδικασίας μπορεί να θερμαθεί με τις ηλεκτρικές θερμάστρες στην επιθυμητή θερμοκρασία, και να υγραθεί έπειτα, όπως απαιτείται, με το ηλεκτρο-θερμικό υγραντή. Η desiccant ρόδα αφαιρεί την υγρασία από το ζεστό και υγρό ρεύμα αέρα διαδικασίας και το αναπαραγωγικό ρεύμα θερμαίνεται στην απαραίτητη θερμοκρασία πριν από την είσοδό του στη desiccant ρόδα. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα που απελευθερώνεται στο συμπυκνωτή για μια μερική αναγέννηση

της desiccant ρόδας. Έκτοτε, ο αέρας διαδικασίας φυσίζεται στον εξατμιστήρα του συστήματος συμπίεσης και ψύχεται στην ιδανική θερμοκρασία. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η ηλεκτρική θερμάστρα αναγέννησης μπορεί να αντικατασταθεί με χαμηλού-βαθμού πηγή θερμότητας, όπως η ηλιακή ενέργεια και θερμότητα από απόβλητα υπό συγκεκριμένους όρους. Η desiccant ρόδα που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πειραματικό σύστημα κατασκευάστηκε από την Wuxi Desert Dehumidification Co., Jiangsu Province, China.



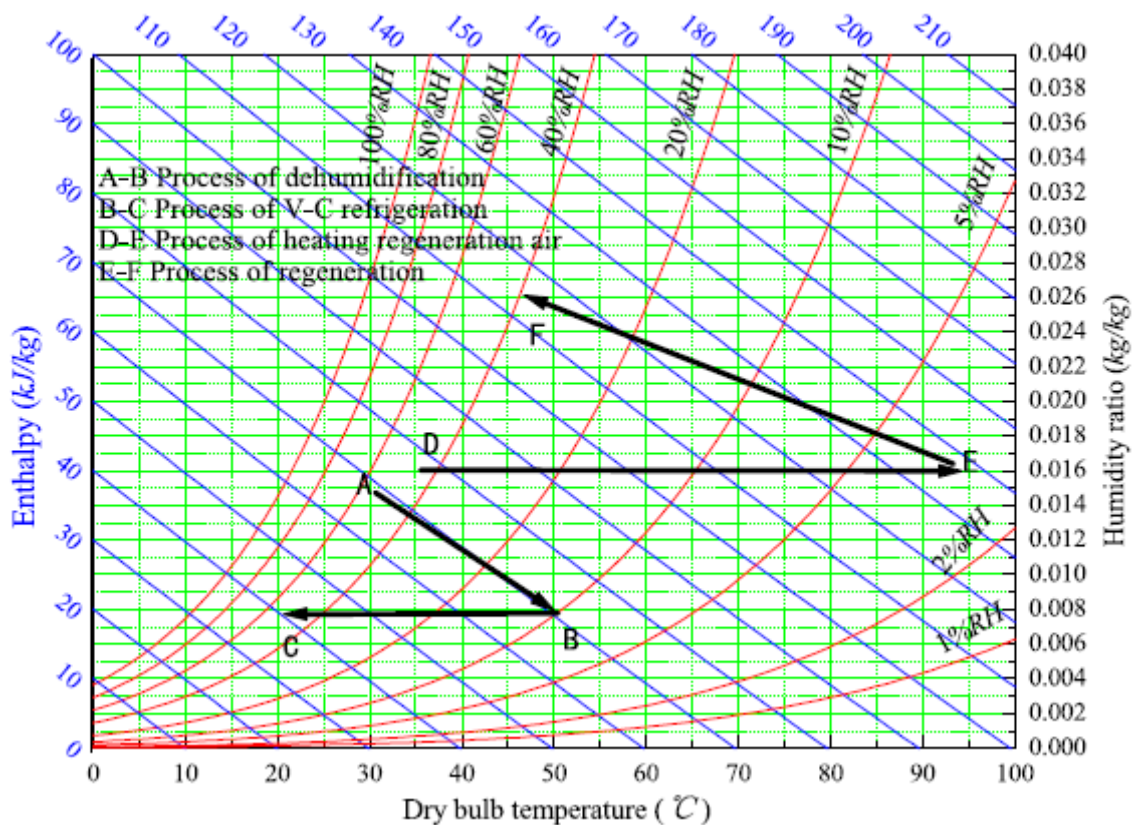
Σχήμα 7. Η σχηματική εικόνα της desiccant ρόδας και του αυλακωτού αεραγωγού.

Πίνακας 1. Παράμετροι διαμόρφωσης και λειτουργίας του πειραματικού desiccant στρόφα.

	Παράμετροι διαμόρφωσης και λειτουργίας	
Μισό πλάτος	b (m)	0.003
Μισό ύψος του καναλιού	a (m)	0.003
Ακτίνα του ρότορα	r (m)	0.23
Πάχος του ρότορα	L (m)	0.2
Υλικό	ω (rph)	Lithium chloride
Ταχύτητα περιστροφής		7

Το λεπτομερές σχέδιο και οι παράμετροι λειτουργίας παρατίθενται στον πίνακα 1, και η σχηματική εικόνα desiccant παρουσιάζεται στο σχήμα 7. Το πειραματικό σύστημα ψύξης συμπίεσης ατμού αποτελείται κυρίως από έναν εξατμιστήρα, έναν συμπυκνωτή, έναν συμπιεστή και μια βαλβίδα επέκτασης. Το λειτουργών ρευστό είναι η ψυκτική ουσία R-22. Ο εξατμιστής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας τύπου πτερυγωτών σωλήνων που αποτελείται από

εννέα κυκλώματα σε τέσσερις σειρές. Η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα χαλκού είναι 10 χιλ. με ένα πάχος τοίχων 0,5 χιλ. μεταξύ των σωλήνων είναι 25 χιλ., και η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων είναι 2,0 χιλ. Οι ψυχομετρικές διαδικασίες που περιλαμβάνονται στη λειτουργία ενός υβριδικού desiccant συστήματος παρουσιάζονται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8. Ψυχομετρική διαδικασία του υβριδικού desiccant συστήματος.

Όπως απεικονίζεται στο ψυχομετρικό διάγραμμα του σχήματος 8, η γραμμή διαδικασίας A –B, που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία αφαίρεσης υγρασίας, ακολουθεί μια πορεία που αποκλίνει ελαφρά από μια σταθερή ενθαλπία. Η δαπάνη της επίτευξης του όρου που αντιπροσωπεύεται στο σημείο B με την αφαίρεση της υγρασίας είναι μια αύξηση θερμοκρασίας. Η διαδικασία αέρα στο σημείο B προς το σημείο C περιλαμβάνει μόνο τη λογική ψύξη, τα φορτία λογικής θερμότητας μπορούν να εξεταστούν από τη δροσίζοντας σπείρα (γραμμή διαδικασίας B –C). Το υβριδικό σύστημα μπορεί να ποικίλει στη διαμόρφωση ή μπορεί να υιοθετήσει τους διαφορετικούς

λογικούς δροσίζοντας εξοπλισμούς σύμφωνα με τους πραγματικούς όρους. Η διαδικασία αναγέννησης παρουσιάζεται στη γραμμή διαδικασίας D –E –F.

3.3.1. Μαθηματικό μοντέλο

Τροχός desiccant με στερεό υλικό

Η απόδοση του desiccant ρότορα έχει καθοριστεί με τη χρησιμοποίηση του προτύπου που αναφέρεται από Zhang. Οι συντάκτες έχουν το πρότυπο κάτω από μια σειρά όρων λειτουργίας και βρήκαν μια ικανοποιητική συμφωνία. Το πρότυπο υιοθετείται για να υπολογίσει την αναλογία υγρασίας εξόδου και τη θερμοκρασία του αέρα διαδικασίας.

Σύστημα συμπίεσης ατμού

Δίνεται έμφαση στις συνθήκες λειτουργίας του εξαμιστήρα όταν ο desiccant τροχός λειτουργεί σε μερικά ή ολόκληρα λανθάνοντα φορτία θερμότητας. Οι WANG και Touber [15] εισήγαγαν ένα διανεμημένο πρότυπο που εξετάζει τη θερμοκρασία εξάτμισης ως σταθερή, και η πτώση πίεσης συμβαίνει μόνο στο τέλος της περιοχής διφασικής ροής. Οι Jia X και tso CP καθιέρωσαν ένα διανεμημένο πρότυπο για να υπολογίσουν τη σταθερή και δυναμική απόδοση του ξηρού εξαμιστήρα. Εντούτοις η διφασική ροή απλοποιήθηκε ως ομοιογενής ροή. Εδώ, ένα λεπτομερές μαθηματικό πρότυπο του εξαμιστήρα καθιερώνεται. Το πρότυπο λαμβάνει υπόψη τις ανομοιογενείς ροές και την πτώση πίεσης της περιοχής διφασικής ροής. Οι υποθέσεις που γίνονται στο πρότυπο παρατίθενται ως εξής:

1. Η ροή του ψυκτικού εντός του σωλήνα απλοποιείται ως μιας διάστασης ροή.
2. Ο αέρας και το ψυκτικό είναι ασυμπίεστα και καθόλου μάζα και ενέργεια δεν συσσωρεύεται.
3. Το κλάσμα της δύναμης ανάμεσα στο ψυκτικού ατμού και υγρού, υγρού και τοίχου αγνοούνται.

4. Η εξίσωση της ορμής αγνοεί τη χρονική μεταβλητή λόγω της γρήγορης διαδικασίας ισορροπίας της ορμής.
5. Η αξονική θερμική αγωγιμότητα του σωλήνα αγνοείται.

Εξίσωσης διατήρησης διφασικής περιοχής στην πλευρά του ψυκτικού :

➤ εξίσωση συνέχειας

$$\frac{\partial}{\partial t} [\bar{\alpha} \rho_V + (1 - \bar{\alpha}) \rho_L] + \frac{\partial}{\partial z} [\bar{\alpha} \rho_V u_V + (1 - \bar{\alpha}) \rho_L u_L] = 0 \quad (1)$$

➤ εξίσωση ενέργειας

$$\frac{\partial}{\partial t} [\bar{\alpha} \rho_V i_V + (1 - \bar{\alpha}) \rho_L i_L] + \frac{\partial}{\partial z} [\bar{\alpha} \rho_V u_V i_V + (1 - \bar{\alpha}) \rho_L u_L i_L] = \frac{4}{D_i} \dot{q}_w \quad (2)$$

➤ εξίσωση ορμής

$$\frac{\partial}{\partial z} [\bar{\alpha} \rho_V u_V^2 + (1 - \bar{\alpha}) \rho_L u_L^2] = -\frac{\partial p}{\partial z} - F_{w,L} \quad (3)$$

Όπου

$$\dot{q}_w = \alpha_{tp} (t_w - t_L) \quad (4)$$

Όπου L-M τροποποιούνται αναλυτικά χρησιμοποιούνται να υπολογίσουν τον λόγο του κενού.

$$\begin{cases} \bar{\alpha} = (1 + X_H^{0.8})^{-0.378}, & X_H \leq 10 \\ \bar{\alpha} = 0.823 - 0.157 \ln X_H, & X_H > 10 \end{cases} \quad (5)$$

$$X_H = \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.9} \left(\frac{\mu_L}{\mu_V} \right)^{0.1} \left(\frac{\rho_V}{\rho_L} \right)^{0.5} \quad (6)$$

➤ διατήρηση ενέργειας στο τείχος του σωλήνα:

$$c_{p,w} M_w \frac{\partial t_w}{\partial t} = \dot{Q}_a - \dot{Q}_r \quad (7)$$

➤ διατήρηση μάζας του αέρα:

$$\frac{d(\dot{m}_a d_a)}{dz} = \pi D_o \dot{w}_a \quad (8)$$

➤ διατήρηση ενέργειας του αέρα:

$$\frac{d(\dot{m}_a i_a)}{dz} = \pi D_o \dot{q}_{at} \quad (9)$$

όπου

$$\dot{q}_{at} = \frac{(A_o + \eta_f A_f)}{\pi D_o \Delta z} \alpha_{at} (i_a - i_w) \quad (10)$$

$$\alpha_{at} = \frac{\dot{m}_a j}{A_{\min} Sc_a^{2/3}} \quad (11)$$

$$\dot{w}_a = (\dot{q}_{at} - \dot{q}_{as}) / \gamma \quad (12)$$

$$\dot{q}_{as} = \frac{(A_o + \eta_f A_f)}{\pi D_o \Delta z} \alpha_{as} (t_a - t_w) \quad (13)$$

Οι επικρατούσες εξισώσεις έχουν έξι άγνωστες μεταβλητές (x, u, t_L, t_w, t_a, v_a) για διφασική περιοχή και τέσσερις άγνωστες αμετάβλητες (t_L, t_w, t_a, v_a) για την περιοχή της υπερθέρμανσης. Η ακόλουθη συζήτηση ενδιαφέρεται για μόνο το σταθερό κράτος, οι χρονικοί παράγωγοι όροι στις ανωτέρω εξισώσεις είναι επομένως τίθενται μηδέν. Προκειμένου να λυθούν αυτές οι εξισώσεις, που υποθέτουν την αρχική κατάσταση αέρα, λύνουμε για τις μεταβλητές στην

πλευρά τοίχων ψυκτικών ουσιών και σωλήνων, και υπολογίζουμε έπειτα τη διόρθωση για τη θερμοκρασία αέρα και την υγρασία.

3.3.2. Επιβεβαίωση του μαθηματικού μοντέλου

Για να επικυρωθεί το μαθηματικό πρότυπο, υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας, έγινε μια σύγκριση έχει μεταξύ των πειραματικών στοιχείων και των υπολογιστικών αποτελεσμάτων που αποκτιούνται από το ανωτέρω πρότυπο, όπως φαίνεται στον πίνακα 2. Η διαφορά μεταξύ της υπολογισμένης θερμοκρασίας εξόδου και της μετρημένης τιμής κυμαίνεται από 3,8% ως 4,5%, και η διαφορά μεταξύ των υπολογισμένων και μετρημένων τιμών της αναλογίας της υγρασίας εξόδου βρίσκεται να είναι 4,0%. Συγκρινόμενη με τις συνθήκες εξόδου του συστήματος συμπίεσης ατμού (VC), ο λόγος υγρασίας εξόδου του υβριδικού desiccant – υποβοηθούμενου συστήματος είναι χαμηλότερο κατά 11% από αυτό του VC συστήματος μόνο και της θερμοκρασίας εξόδου είναι ελαφρώς υψηλότερος κατά 17,9% συγκρινόμενος με αυτό του VC συστήματος. Προ πάντων, το υβριδικό desiccant υποβοηθούμενο σύστημα μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ισχύος. Όταν η θερμοκρασία αέρα και η σχετική υγρασία είναι 30 °C, 55% αντίστοιχα, το υβριδικό desiccant σύστημα εξοικονομεί της ηλεκτρικής ενέργεια μέχρι 37.5%.

Πίνακας 2. Σύγκριση μεταξύ πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων

	Experimental results		Simulation results	
	Vapor compression	VC + desiccant	Vapor compression	VC + desiccant
Inlet temperature	30.11 °C	30.05 °C	30 °C	30 °C
Inlet relative humidity	54.6%	54.1%	55%	55%
Outlet temperature of desiccant rotor		42.7 °C		40 °C
Outlet relative humidity of desiccant rotor		16.05%		19.59%
Outlet temperature of evaporator	16.8 °C	19.8 °C	16.15 °C	18.9 °C
Outlet relative humidity of evaporator	84%	59.6%	86%	64%
Regeneration temperature (°C)		100		100
Evaporation temperature (°C)	7	12	8	13
Power consume (W)	1800	1125	1796	1066
Q_L (W)	6182	5424	6548	5384
Q_{SL} (W)	3199	5424	3347	5115
Q_{LL} (W)	2983	0	3201	269
VCOP	3.43	4.82	3.66	5.05

Συζήτηση και ανάλυση

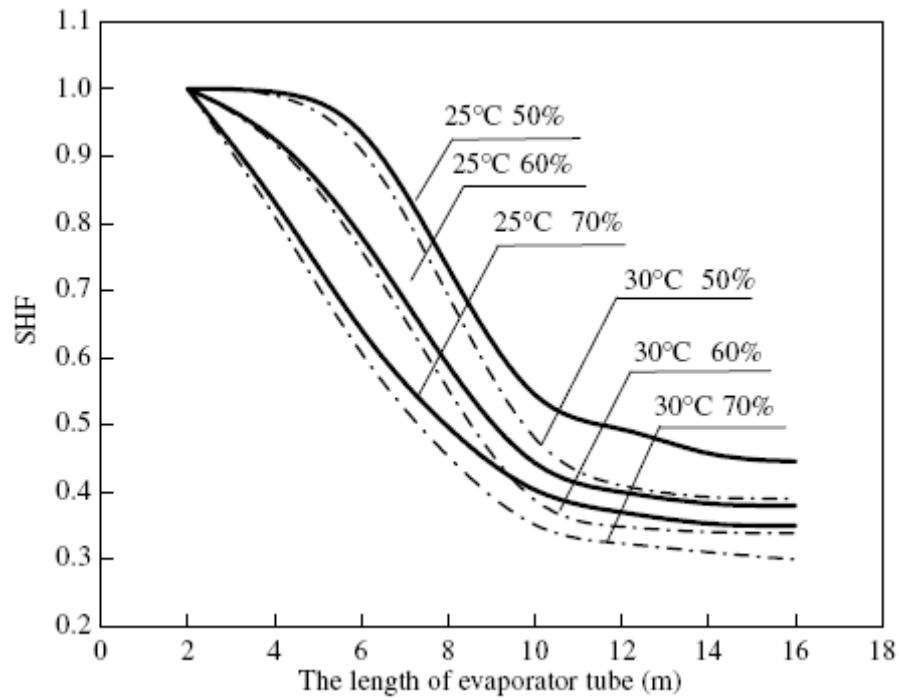
Ο λόγος για τον οποίο το υβριδικό desiccant υποβοηθημένο σύστημα είναι ανώτερο από το VC σύστημα βρίσκεται κυρίως στο γεγονός ότι εξετάζει τα φορτία λογικής θερμότητας και τα λανθάνοντα φορτία θερμότητας χωριστά. Η απόδοση του εξαμιστήρα μπορεί να βελτιωθεί λόγω της χωριστής επεξεργασίας του φορτίου θέρμανσης. Δύο δείκτες που αξιολογούν τις αποδόσεις των εξαμιστήρων του συστήματος συμπίεσης ατμού και του υβριδικού desiccant συστήματος καθορίζονται ως εξής:

$$SHF = \frac{\dot{q}_{as}}{\dot{q}_{at}} \quad (14)$$

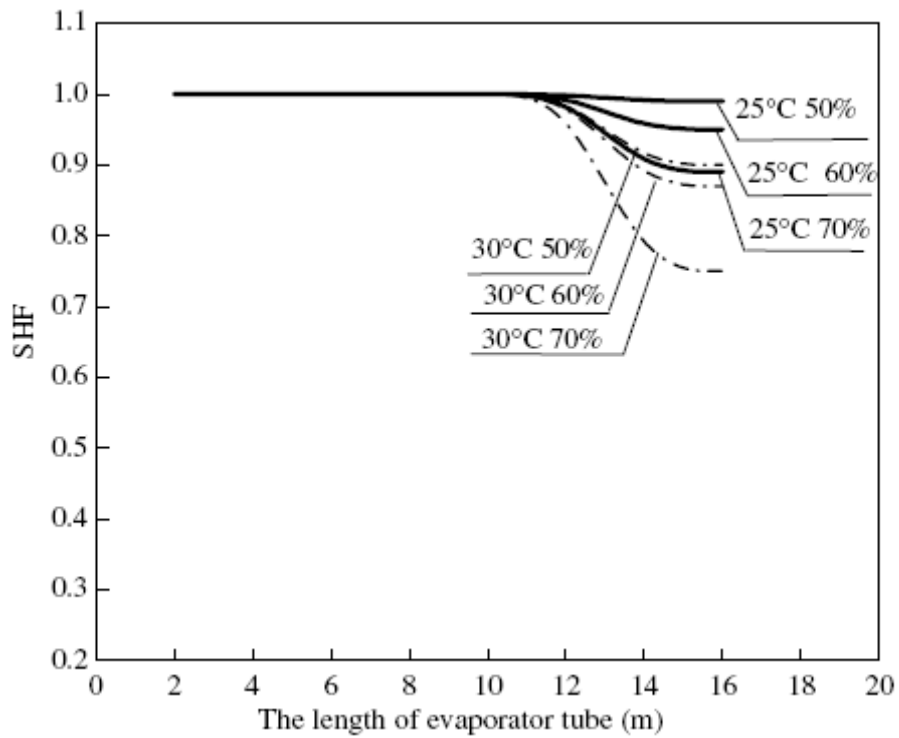
όπου, SHF είναι ο παράγοντας αισθητής θερμότητας του εξαμιστήρα, αξίζει να τονιστεί ότι τα φορτία θερμότητας \dot{q}_{at} εκφράζουν μόνο τα φορτία θερμότητας που αντιμετωπίζονται από τον εξαμιστήρα, όχι τα συνολικά φορτία ολόκληρου του υβριδικού desiccant κλιματισμού.

$$\zeta = \frac{\dot{W}_t - \dot{W}_h}{\dot{W}_t} \quad (15)$$

Εδώ το ζ αντιπροσωπεύει το ποσοστό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Το \dot{W}_t και \dot{W}_h είναι η ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος του παραδοσιακού συστήματος συμπίεσης ατμού και του υβριδικού desiccant συστήματος αντίστοιχα.



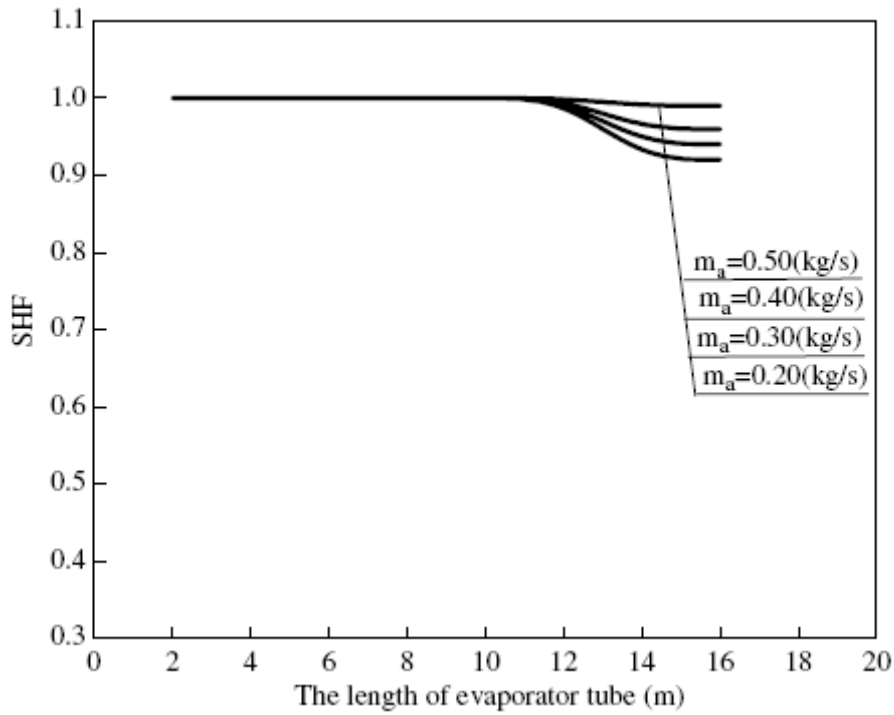
Διάγραμμα 1 .Επίδραση της εσωτερικής κατάστασης στον SHF για τα VC συστήματα



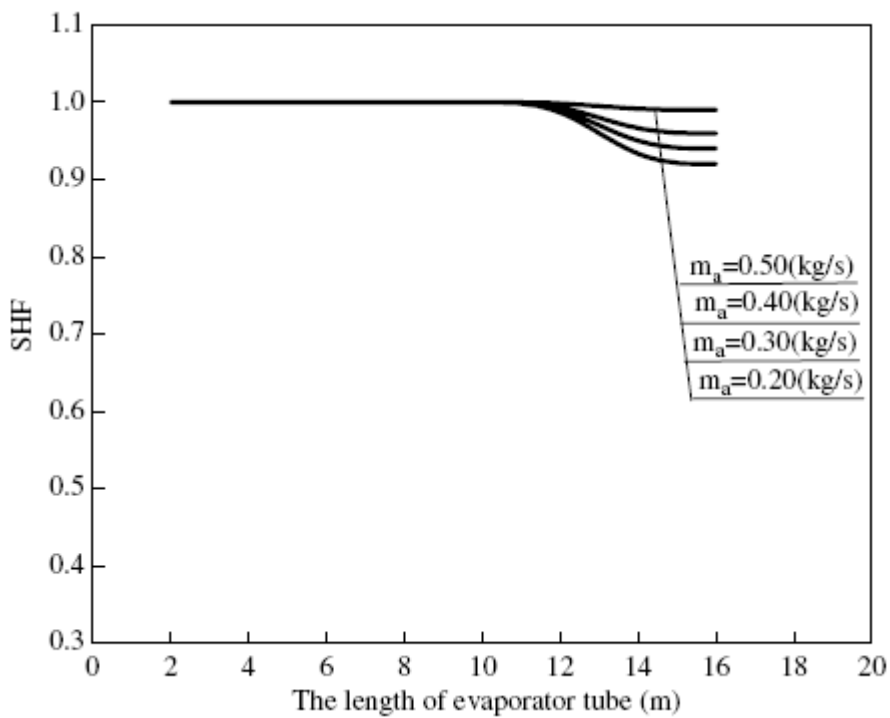
Διάγραμμα 2.Επίδραση της εσωτερικής κατάστασης στον SHF για τα υβριδικά desiccant συστήματα

Στα διαγράμματα 1 και 2 φαίνονται οι επιδράσεις του λόγου εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας του SHF του εξατμιστήρα για το παραδοσιακό σύστημα συμπίεσης ατμού και το υβριδικό desiccant σύστημα αντίστοιχα. Επειδή ο αέρας και η ψυκτική ουσία τακτοποιούνται ως counter-flow διαμόρφωση, τα φύλλα ψυκτικών ουσιών ο εξατμιστήρας όπως υπερθερμαίνει ή διαπτόσει τον ατμό, η δυνατότητα ψύξης του είναι αδύναμη. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία σημείου δρόσου του αέρα είναι υψηλότερη από αυτή του τοίχου σωλήνων, ή μετά βίας να είναι οποιοδήποτε περιστατικό της συμπύκνωσης του υδρατμού όταν εισέρχεται ο αέρας στον εξατμιστήρα. Στο διάγραμμα 1, ο SHF κατεβαίνει κατά μήκος των εξατμιστήρων για το παραδοσιακό σύστημα συμπίεσης ατμού. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία σημείου δρόσου του αέρα είναι υψηλότερη από αυτή του τοίχου σωλήνων, δε θα είναι ή μετά βίας να είναι οποιοδήποτε περιστατικό συμπύκνωσης του υδρατμού όταν ο αέρας εισέρχεται στον εξατμιστήρα. Ο συντελεστής αισθητής θερμότητας είναι υψηλός :περίπου 1,0,

Στο διάγραμμα 2, ο SHF των περισσότερων τμημάτων σωλήνων εξατμιστήρων είναι ίσο με 1,0, Περίπου 25% των τμημάτων σωλήνων εξατμιστήρων λειτουργούν κάτω από υγρές συνθήκες. Συγκρίνοντας το υβριδικό desiccant σύστημα με το παραδοσιακό σύστημα κλιματισμού συμπίεσης ατμού, διαπιστώνεται ότι η αύξηση του παράγοντα αισθητής θερμότητας θα είναι μεγαλύτερη όταν η θερμοκρασία εισαγωγής και η σχετική υγρασία είναι υψηλότερες.



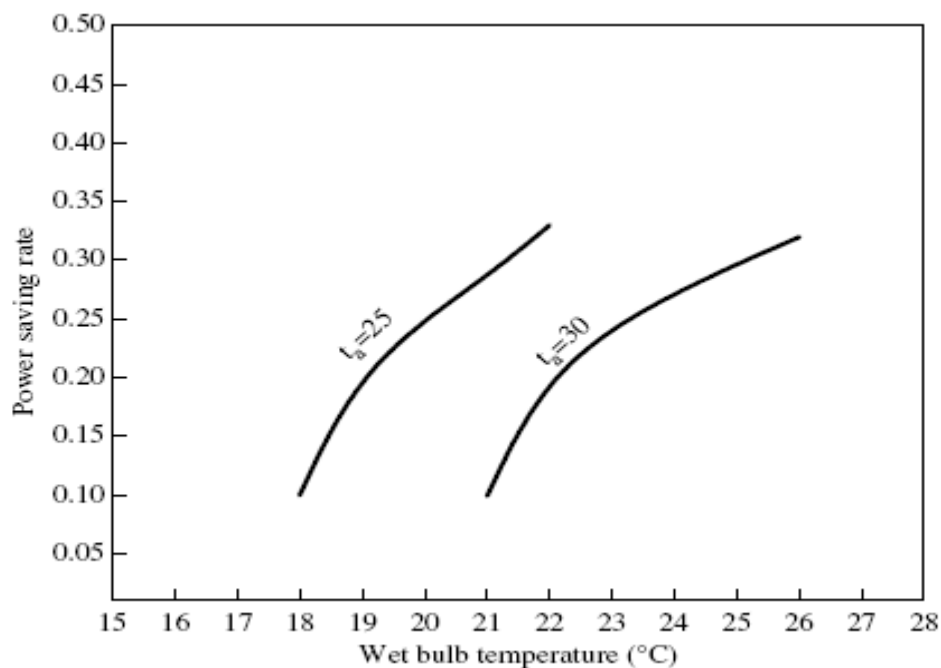
Διάγραμμα 3. Επίδραση της ροής μάζας στον SHF για τα VC συστήματα



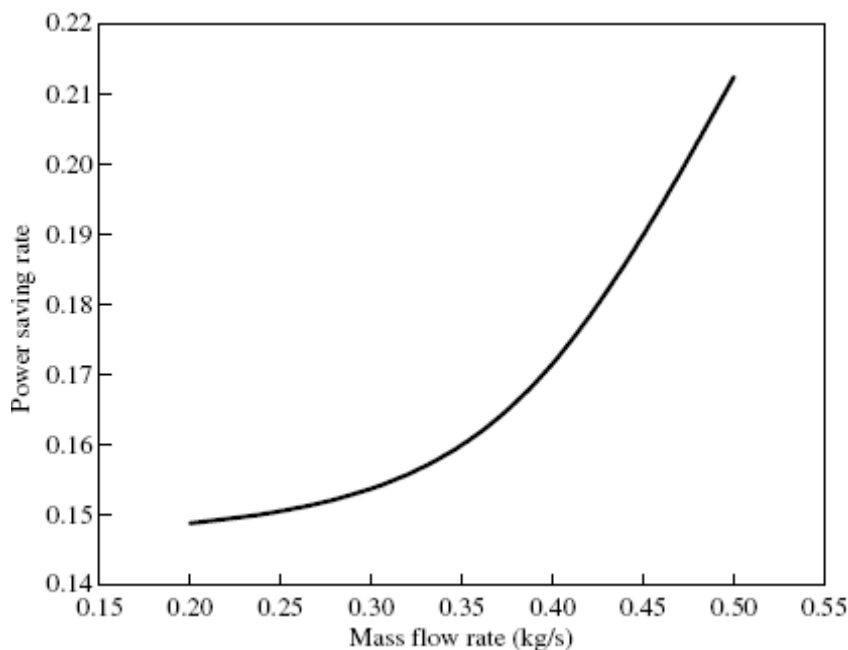
Διάγραμμα 4 .Επίδραση της ροής μάζας στον SHF για τα υβριδικά desiccant συστήματα

Στο διάγραμμα 3 ο SHF του εξατμιστήρα αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού ροής μάζας αέρα. Εξ αιτίας του γεγονότος ότι η θερμοκρασία του τοιχώματος των σωλήνων αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού ροής μάζας, η χωρητικότητα αφύγρανσης του εξατμιστή μειώνεται, και έτσι ο SHF ενισχύεται.

Στο διάγραμμα 4, λόγω της desiccant αφύγρανσης, ο SHF για τον εξατμιστήρα αυξάνεται υπό τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Το διάγραμμα 5 παρουσιάζει την απόκλιση του ποσοστού αποταμίευσης ηλεκτρικής ενέργειας που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα εισαγωγής. Το ποσοστό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας υγρού βολβού.

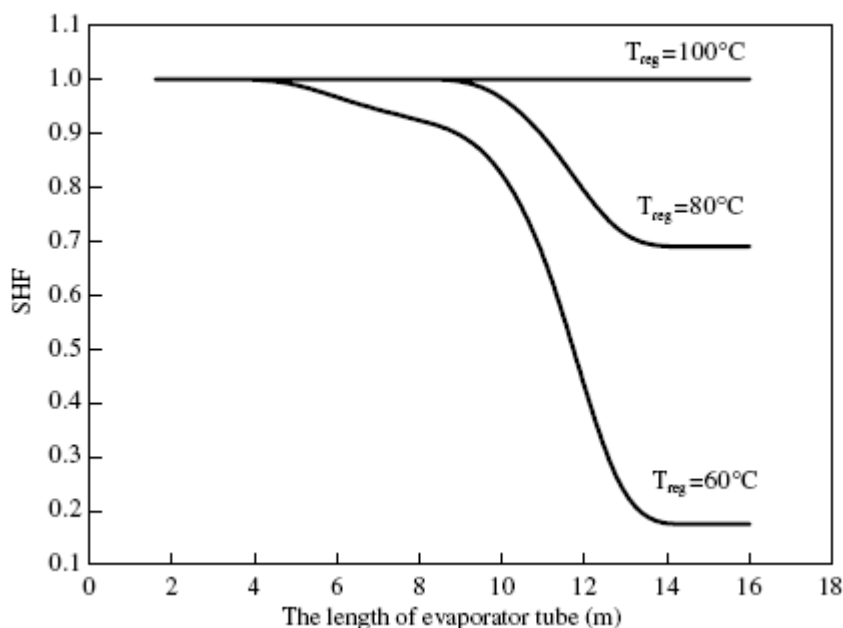


Διάγραμμα 5. Επίδραση της θερμοκρασίας ξηρού και υγρού βολβού στο βαθμό αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας



Διάγραμμα 6. Επίδραση του βαθμού ροής μάζας στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

Το διάγραμμα 6 δείχνει τον βαθμό απόκλιση της αποθήκευσης ηλ. ενέργειας σε αντίθεση με τον βαθμό ροής μάζας του αέρα. Διευκρινίζεται ότι όσο ψηλότερος είναι ο βαθμός ροής μάζας τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός αποθήκευσης. Στο υβριδικό desiccant σύστημα ψύξης με την αύξηση του ποσοστού ροής μάζας τα ποσοστά αφύγρανσης του desiccant τροχού μειώνονται. Σημαίνει ότι όταν το ποσοστό της ροής μάζας είναι μεγαλύτερη, η υγρασία στο σημείο εισαγωγής του εξατμιστήρα είναι υψηλότερη. Για τον εξατμιστή, όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία εισαγωγής τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης. Άρα η εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλότερο βαθμό ροής μάζας είναι μεγαλύτερη



Διάγραμμα 7. επίδραση της θερμοκρασίας αναγέννησης στον SHF για υβριδικό desiccant σύστημα.

Στο διάγραμμα 7, όταν θερμοκρασίας αναγέννησης αυξάνεται από $60^{\circ}C$ σε $100^{\circ}C$, ο μέσος SHF ποικίλλει από 0,7 έως 1,0.

3.3.3. Συμπέρασμα

Τα πειραματικά αποτελέσματα διευκρινίζουν ότι λόγω της υψηλής θερμοκρασίας εξατμίσης η μεγαλύτερη επιφάνεια εξατμιστήρων του υβριδικού desiccant συστήματος είναι ξηρά κατά τη διάρκεια της περιόδου λειτουργίας . Βάσει του σωστού μαθηματικού προτύπου που επικυρώνεται από το πειραματικό αποτέλεσμα, η βελτιωμένη απόδοση του εξατμιστήρα αναλύεται θεωρητικά. Διαπιστώνεται ότι ο SHF του εξατμιστήρα αυξάνεται σημαντικά, και περίπου το 75% του σωλήνα εξατμιστήρων θα λειτουργήσει υπό ξηρές συνθήκες, και η ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος του υβριδικού desiccant συστήματος μειώνεται. Το υβριδικό desiccant σύστημα κλιματισμού, που θα μπορούσε στο χρόνο να ελέγξει τη θερμοκρασία και την υγρασία και να σώσει την αρίστης ποιότητας ηλεκτρική ενέργεια, είναι ένα πολύ καλό πιθανό σύστημα κλιματισμού .

3.4. Στερεά desiccant υλικά

3.4.1. Οι τεχνικές προκλήσεις για την ψύξη με στερεό desiccant υλικό

i. Συνοπτική ιστορία της desiccant ψύξης

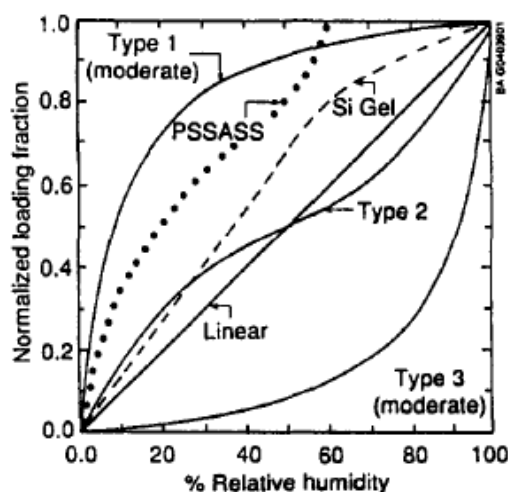
Τα απλά συστήματα ψύξης εξάτμισης χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια σε μέρη του κόσμου που είναι ζεστά και ξηρά και υπάρχει επάρκεια νερού. Αυτοί οι περιορισμοί στο κλίμα εξαιρούν πολλές περιοχές του πλανήτη από μελλοντική χρήση. Η ενσωμάτωση της ξήρανσης του αέρα με την ψύξη εξάτμισης οδήγησε στην δυνατότητα της επέκτασης του κλιματικού εύρους όπου η εξατμιστική ψύξη μπορεί να είναι αποδοτική.

Τα σημαντικότερα συστατικά ενός τυπικού desiccant συστήματος είναι ο αφυγραντής, ένας εναλλάκτης θερμότητας αέρα-αέρα, ένας θερμαντής αέρα καθώς επίσης και τα κοινά τμήματα χειρισμού και διακίνησης αέρα. Αν και όλα τα τμήματα παίζουν σημαντικό ρόλο το σημαντικότερο όλων είναι ο αφυγραντής. Συνεπώς αυτό το συστατικό είναι το πιο έντονα ανεπτυγμένο στην έρευνα. Η έρευνα στα desiccant συστήματα μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες. Αυτές είναι οι εξής: (1) ανάπτυξη νέων desiccant υλικών και γεωμετρία συστατικών (2) απόδοση και βελτίωση του κόστους στον ισολογισμό των συστατικών του συστήματος (3) ταυτοποίηση και σχεδιασμός νέων συστημάτων.

ii. Ανεπτυγμένα desiccant υλικά

Τα περισσότερα συστήματα desiccant βασίζονται στη χρήση των silica gel και του χλωριδίου του λιθίου. Το silica gel το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε μικρά πακετάκια στον βιομηχανικό τομέα στοιβάζεται σε υποστρώματα χαμηλής απώλειας πίεσης σε παράλληλες ή κυψελωτές γεωμετρίες. Ομοίως το διάλυμα του χλωριδίου του λιθίου που δεν ταιριάζουν στον σχηματισμό στερεού desiccant μετατρέπονται σε γεωμετρία πορώδους κυψέλης οι οποίες δρουν ως στερεά desiccant. Αναλυτικές έρευνες του GRI (GAS RESEARCH INSTITUTE) υπέδειξαν τις επιθυμητές συνθήκες για ένα desiccant σύστημα

με υψηλή θερμοκρασία αναγέννησης. Αυτές οι συνθήκες προσδιορίζονται από το διάγραμμα ισοθερμών Brunauer Type 1M όπως φαίνεται στο σχέδιο 1.



Σχήμα 9. Brunauer type 1M καθορίζεται από έναν παράγοντα διαχωρισμού στο εύρος 0.1-0.3. Για σύγκριση παρουσιάζονται, οι Brunauer types 2 and 3M. Αυτές οι θεωρητικές ισόθερμοι συγκρίνονται με το πήκτωμα πυριτίου και ένα πολυμερές υδροφιλικό σώμα (PSSASS).

Η έρευνα δείχνει ότι αυτό το σχήμα παράγει την μεγαλύτερη συγκέντρωση μετώπου κύματος και για τα δύο ,αφυδάτωση και αναγέννηση εντός των ορίων της γεωμετρίας του αφυγραντή και των θερμοκρασιών λειτουργίας. Από αυτά τα συμπεράσματα δημιουργήθηκαν desiccant υλικά με αυτή τη μορφή ισόθερμης διατηρώντας άλλες σημαντικές φυσικές ιδιότητες .

Μια άλλη οδός για την έρευνα στα προηγμένα desiccant υλικά εκπροσωπείται από τα υδρόφιλα πολυμερή. Αυτά τα υλικά που βρίσκουν εφαρμογές στην επεξεργασία νερού προσφέρουν ενδεχόμενα πλεονεκτήματα για να καλύψουν την ανάγκη της μορφής της ισόθερμης , της χωρητικότητας υγρασίας και της θερμότητας απορρόφησης. Στα πολυμερή μπορούν να δοθούν διάφορα σχήματα που μπορούν να εξυπηρετήσουν την εφαρμογή τους στον κλιματισμό μπορούν να είναι φθηνά και μπορούν να ενεργοποιηθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Κάποια υλικά από αυτή την κατηγορία είναι:

- Διάφορα άλατα πολυστυρενεσουλφονικού οξέος (PSSA)
- Διάφορα είδη AMPS (2-ακρυλοαμυδο-2-μεθυλ-1-προπύλιο-σουλφονικό οξύ)

- Πολυβινυλοβενζολτριμεθυλ αμμώνιο του χλωριδίου(PVBTAC)

Μια τρίτη κατεύθυνση της έρευνας για τα υλικά έχει να κάνει με μεθόδους εφαρμογής των παραδοσιακών υλικών με οικονομικό τρόπο σε διαμόρφωση χρήσιμη για τον κλιματισμό. Οι παραδοσιακές μέθοδοι μπορούν να αντικατασταθούν με εναλλακτικές χαμηλής απώλειας πίεσης δομές σε προϊόντα ανεπτυγμένα ή υπό έρευνα. Σε όλες τις περιπτώσεις αυτά τα επιτεύγματα διατηρούν τις περιστροφικές αντιθέτου ρεύματος διαμορφώσεις αναγέννησης για τα περισσότερα διαθέσιμα συστήματα.

iii. Ισολογισμός του συστήματος –μείωση κόστους

Αν και ο αφυγραντής είναι το σημαντικότερο συστατικό δεν είναι πάντα αυτό που προσδίδει το μεγαλύτερο κόστος και τα άλλα κομμάτια προσδίδουν επίσης μεγάλα ποσά στο συνολικό κόστος. Το πρόβλημα ισορροπίας του κόστους επιδιώκεται σε δύο κυρίως μέτωπα. Η πιο αποτελεσματική προσέγγιση είναι η μείωση της παροχής του αέρα και τις απαιτήσεις για την αποτελεσματικότητα της εξισορρόπησης του συστήματος. Το σχήμα 2 δείχνει πως μειώνεται το μέγεθος (και το κόστος) ενός εναλλακτη θερμότητας αέρα-αέρα ανάλογα με την αποδοτικότητα του.

Ο πιο προφανής δρόμος για την ισορροπία της μείωσης του κόστους του συστήματος είναι η μείωση του κόστους των συστατικών και των οικονομικών που σχετίζονται με την μαζική παραγωγή των συστημάτων. Η ανάπτυξη θα επιφέρει παραγωγή χαμηλότερου κόστους αποτελεσματικούς πλαστικούς έμμεσης εξάτμισης ψύκτες .

Μια τρίτη προσέγγιση είναι οι νέες τεχνολογίες των συστημάτων κλιματισμού. Τέτοιες προσπάθειες θα μειώσουν τις απαιτήσεις των κυριότερων τμημάτων ή ακόμη θα εξαλείψουν την ανάγκη μερικών.

iv. Καινοτόμα συστήματα

Η πιο απλή πρόταση για την χρήση του desiccant αφυγραντή είναι η απαίτηση του συστήματος ψύξης εξατμίσεως για ένα περιστρεφόμενο desiccant τροχό μπροστά απο την εξατμιστή στον κύκλο αερισμού. Η επανενεργοποίηση του τροχού γίνεται με άμεση θέρμανση ή από έμμεση θέρμανση αέρα με τη βοήθεια φυσικού αερίου ή ηλιακής θερμότητας . Ο COP φτάνει ως και 0,8 σε αυτά τα πειράματα. Δύο άλλα σχέδια συστημάτων προσελκύουν μεγαλύτερη προσοχή τελευταία. Είναι (i) η υβριδική ψύξη ή συστήματα συμπαραγωγής και (ii) θέρμανση με χαμηλής θερμοκρασίας απόβλητα ή ηλιακή ενέργεια.

A) Desiccant υβριδικά συστήματα

- Supermarkets με ανοιχτά ψυγεία δημιουργούν ένα σημαντικό ποσό αισθητής ψύξης εκτός των προσθηκών και τα τρόφιμα κινδυνεύουν από υπερβολική ψύξη αν η υγρασία είναι υψηλή
- Βιβλιοθήκες ,μουσεία και αίθουσες υπολογιστών είναι ευαίσθητα στην υγρασία
- Ινστιτούτα υγείας ,νοσοκομεία ,θέατρα.

B) Θερμότητα απο χαμηλής θερμοκρασίας αποβλήτων ή ηλιακά συστήματα

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4 αυτό το air-condition συνδυάζει συμπύεση ατμού και desiccant αφύγρανση για να παράγει κρύο και ξηρό αέρα στο κτίριο μειώνοντας το μέγεθος του κόστους των σωληνώσεων.

v. Υπόλοιπα τεχνικά θέματα

Οι ανάγκες των τεχνικών προδιαγραφών που μένουν να διευθετηθούν έτσι ώστε να αναπτυχθεί πλήρως . Η συγκεκριμένη τεχνολογία περιγράφεται σε τρεις κατηγορίες:

A) μείωση πρωτογενών εξόδων στο hardware

Ο εξοπλισμός που διατίθεται σήμερα είναι αρκετά μεγάλος σε μέγεθος και ακριβότερα από πολλά συστήματα που αντικαθιστά. Μια δεύτερη ανάγκη για την μείωση του κόστους των συστημάτων είναι αυτή για μεγαλύτερη απόδοση και μικρότερο κόστος συστατικών. Αφυγραντές, εναλλάκτες θερμότητας και ψύκτες εξάτμισης είναι ακόμα ακριβοί στην κατασκευή. Χρειάζονται λιγότερο ακριβά συστατικά.

B) πρόοδος στην ενεργειακή αποδοτικότητα

Ο αφυγραντής παραμένει το κλειδί στην καλύτερη απόδοση. Η έρευνα έχει ανάγκη να βρει υλικά desiccant που έχουν επιθυμητές ισόθερμες υγρασίας, όγκου και διαχυτικότητα και ταυτόχρονα να είναι ανθεκτικά, φθηνά και ευκολόπλαστα σε οποιαδήποτε φόρμα χρειάζεται για τον αφυγραντή.

Γ) αύξηση της αποδοχής της αγοράς για τα desiccant υλικά

Η ανάπτυξη της αποδοχής της αγοράς για τα desiccant υλικά για τα συστήματα κλιματισμού και αφυδάτωσης θα είναι μακροχρόνια διαδικασία. Οι ηλεκτρικές συσκευές είναι υπό ασφυκτική πίεση για να αυξήσουν το φορτίο τους. Ένα desiccant κλιματιστικό από ηλιακή ή ενέργεια αποβλήτων είναι ένας βασικός παράγοντας που θα το πετύχει.

vi. Μελλοντικά σχέδια

Τα μελλοντικά σχέδια της βιομηχανίας για να είναι βιώσιμη βασίζονται σε desiccant υλικά και είναι αρκετά υπόσχομενα. Δεν ξέρουμε πως θα εξελιχθούν τα συστήματα σε λίγα χρόνια οι ελπίδες για αλλαγές υπάρχουν και έχουν αρχίσει να διαφαίνονται. Αν δείξουμε το περιβαλλοντικά απαραίτητα ενδιαφέρον για την μείωση των CFC και των τιμών εκπομπών ρύπων τότε ίσως λόγω του ενδιαφέροντος για την ποιότητα του εσωτερικού αέρα των

κτιρίων θα είναι η κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη και την προώθηση των desiccant συστημάτων.

3.4.2. Παραμετρική μελέτη ενός αδιαβατικού συστήματος ψύξης ανοιχτού κύκλου με στερεό desiccant

Ολοκληρωμένα ψυκτικά συστήματα desiccant που χρησιμοποιούν αδιαβατικούς αφυγραντές έχουν αναπτυχθεί από την εταιρεία AirResearch. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί κομμάτια sil gel πακεταρισμένο σε μικρά τύμπανα. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα εργαζόμενο σε κατάσταση επανακυκλοφορίας έχει COP περίπου 0,5 ο οποίος είναι αρκετά μικρότερος από τις αναλυτικές μελέτες. Ερευνητές στην εταιρεία American Solar King χρησιμοποίησαν το σχέδιο του EXXON αφυγραντή και ανέπτυξαν ένα desiccant σύστημα το οποίο λειτουργών σε κατάσταση αερισμού φτάνει COP~1.0

Το desiccant ψυκτικό σύστημα το οποίο σχηματίζεται με αδιαβατική λειτουργία αφυγραντή σε αερισμό φαίνεται στο σχήμα 1. Για την διαδικασία προσρόφησης ο εξωτερικός αέρας περνά διαμέσου του αφυγραντή όπου η υγρασία προσροφάται από το desiccant και ο αέρας ξηραίνεται. Κατά τη διάρκεια προσρόφησης η θερμότητα παράγεται από το desiccant. Οπότε η θερμοκρασία του des υλικού αυξάνεται και η θερμοκρασία του αέρος που έρχεται σε επαφή με αυτό επίσης αυξάνεται. Ο ξηρός ζεστός αέρας που βγαίνει από τον αφυγραντή ψύχεται αισθητά από ένα εναλλάκτη θερμότητας αναγέννησης. Τελικά περνά μέσα από ένα ψύκτη απορρόφησης πριν εισέλθει στον κλιματιζόμενο χώρο.

Η απόδοση του ψυκτικού συστήματος χαρακτηρίζεται από την ανά μονάδα βάρους des ,απορροφούμενη υγρασία (MC) και την ψυκτική χωρητικότητα (CC) η οποία είναι η διαφορά μέσης ενθαλπίας αέρα μεταξύ αέρα εισόδου και εξόδου. Ο COP είναι ένα μέτρο για την απαιτούμενη ενέργεια να καλύψει το ψυκτικό φορτίο.

$$MC = \dot{m}_1 t_{AF} (\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2) / (f m_w), \quad (1)$$

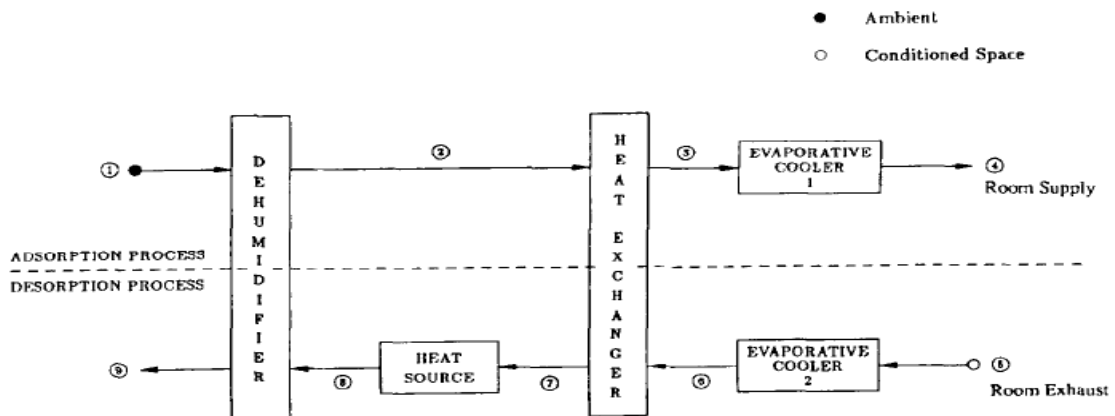
$$CC = H_5 - H_3, \quad (2)$$

$$COP = (H_5 - H_3)/(H_8 - H_7), \quad (3)$$

$$T_6 = T_5 + \epsilon_{EV}(T_{5,wb} - T_5), \quad (4)$$

$$T_7 = T_6 + \epsilon_{HX}(T_2 - T_6), \quad (5)$$

$$T_3 = T_2 + T_6 - T_7, \quad (6)$$



Σχήμα 10. Διαμόρφωση ενός αδιαβατικού συστήματος ψύξης αποξηραντών στον τρόπο εξαερισμού.

Μαθηματική διατύπωση

Μοντέλο της διαδικασίας ρόφησης

Το σημαντικότερο τμήμα του συστήματος είναι ο αφυγραντής. Περιέχει κανάλια που χωρίζονται από μη – υγροσκοπικά τείχη που ευθυγραμίζονται με μορφή πεπιεσμένου υφάσματος από μαλλί στα δύο τειχώματα. Η παραγωγή υποθέτει επίσης ότι η μεταφορά θερμότητας και μάζας από το αέριο ρεύμα στο desiccant ελέγχεται από την παράπλευρη αντίσταση από το στρώμα αερίου και δεν υπάρχει καμία πτώση θερμοκρασίας μέσα στο πάχος του desiccant. (σχ. 2)

Διατήρηση υγρασίας στον αέρα και στα τοιχώματα

$$\rho_1 a_1 (\partial Y / \partial t_A) + f \rho_w a_w (\partial W / \partial t_A) + (\dot{m}_1 / n y_{AF}) \partial Y / \partial x_A = 0. \quad (7)$$

Διατήρηση υγρασίας μεταξύ του ρεύματος επεξεργασίας και του τοιχώματος

$$(f m_w / n x_{AF} y_{AF}) \partial W / \partial t_A = 2 K_y (Y - Y_w). \quad (8)$$

Διατήρηση ενέργειας στα τοιχώματα και το ρεύμα αέρα

$$\frac{\dot{m}_1}{y_{AF}} \left[\frac{1}{u_1} \frac{\partial H_1}{\partial t_A} + \frac{\partial H_1}{\partial x_A} \right] + \frac{m_w}{x_{AF} y_{AF}} \frac{\partial H_w}{\partial t_A} = 0. \quad (9)$$

Ο λόγος της μεταφοράς ενέργειας μεταξύ ρεύματος και τοιχώματος

$$\frac{\dot{m}}{ny_{AF}} \left[\frac{1}{u_1} \frac{\partial H_1}{\partial t_A} + \frac{\partial H_1}{\partial x_A} \right] = 2K_y(Y_w - Y) \frac{\partial H_1}{\partial Y} + 2h_1(T_w - T_1). \quad (10)$$

Μια νέα μεταβλητή

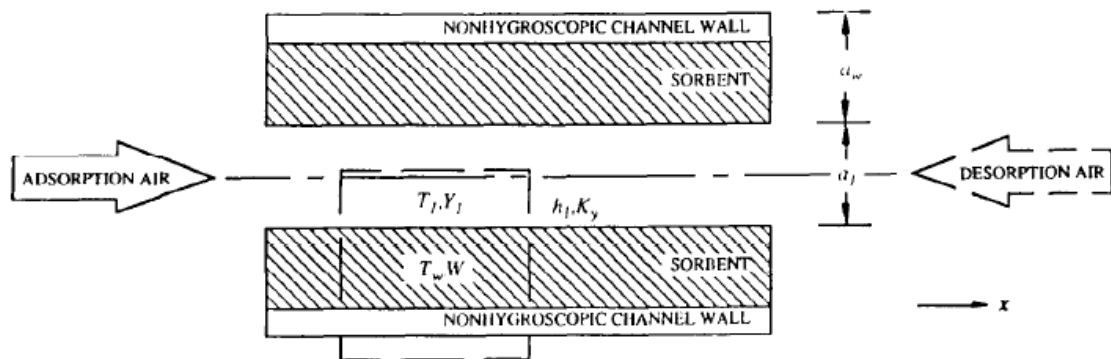
$$t_B = t_A - (x_A/u_1). \quad (11)$$

Απο τις (7), (8) και (11) προκύπτει

$$\partial Y/\partial x = \lambda_3(Y_w - Y). \quad (12)$$

Η (8) απλοποιείται και γίνεται

$$\partial W/\partial t = \lambda_2(Y - Y_w). \quad (13)$$



Σχήμα 11. Μοντέλο αφυγραντή διαφορικού στοιχείου

Αντικαθιστώντας τις 11 και 12 στην 10 έχουμε

$$(\dot{m}_1/ny_{AF})\partial H_1/\partial x_A = (\dot{m}_1/ny_{AF})(\partial Y/\partial x_A)(\partial H_1/\partial Y) + 2h_1(T_w - T_1). \quad (14)$$

Γενικά η διαδικασία ενθαλπίας αέρα H_1 είναι μια συνάρτηση του T_1 του Y

$$\partial H_1/\partial x_A = (\partial H_1/\partial T_1)(\partial T_1/\partial x_A) + (\partial H_1/\partial Y)(\partial Y/\partial x_A). \quad (15)$$

Οπότε απο 14 προκύπτει

$$\partial T_1/\partial x = T_w - T_1. \quad (16)$$

$$\partial H_w / \partial t_A = (\partial H_w / \partial T_w)(\partial T_w / \partial t_A) + (\partial H_w / \partial W)(\partial W / \partial t_A). \quad (17)$$

$$\frac{m_w}{2nh_1x_{AF}y_{AF}} \frac{\partial H_w}{\partial T_w} \frac{\partial T_w}{\partial t_A} = (T_1 - T_w) + \frac{K_y}{h_1} (Y - Y_w)Q, \quad (18)$$

Η απορρόφηση θερμότητας δίνεται

$$Q = (\partial H_1 / \partial Y) - (1/f)(\partial H_w / \partial W) \quad (19)$$

όπου $\partial H_w / \partial W$ είναι η διαφορική θερμότητα της ύγρανσης

$$\lambda_4(\partial T_w / \partial t) = (T_1 - T_w) + \lambda_1(Y - Y_w). \quad (20)$$

Διατήρηση μάζας

$$\partial Y / \partial x = \lambda_3(Y_w - Y). \quad (21)$$

Μεταφορά μάζας (απο αέρα στο desiccant)

$$\partial W / \partial t = \lambda_2(Y - Y_w). \quad (22)$$

Διατήρηση ενέργειας

$$\lambda_4(\partial T_w / \partial t) = (T_1 - T_w) + \lambda_1(Y - Y_w). \quad (23)$$

Μεταφορά ενέργειας

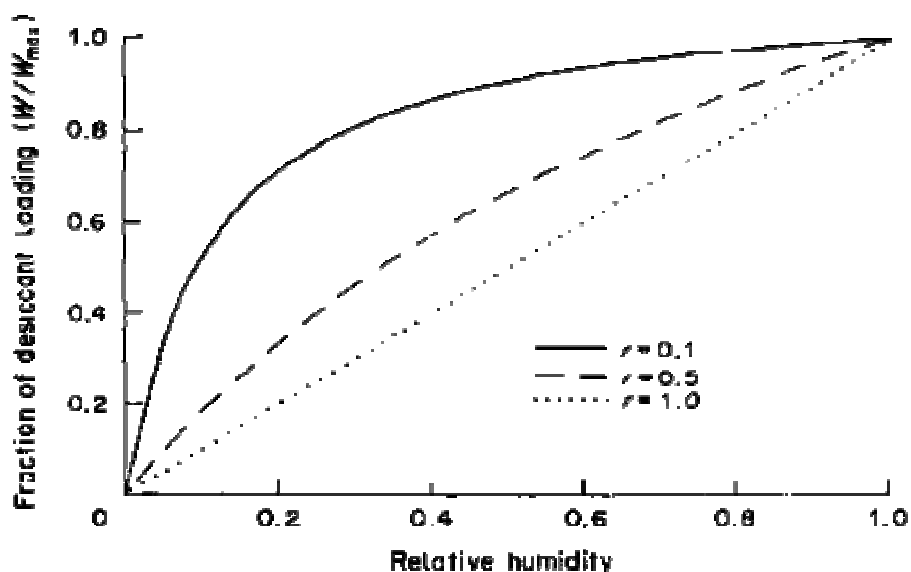
$$\partial T_1 / \partial x = T_w - T_1. \quad (24)$$

Φυσικές και θερμοδυναμικές ιδιότητες των υλικών

Μια υποθετική ισόθερμη χρησιμοποιείται και εκφράζεται ως

$$W / W_{\max} = \phi / [r + (1 - r)\phi], \quad (25)$$

όπου W_{max} είναι το περιεχόμενο υγρασίας στο desiccant όταν $\phi=1$. αυτό φαίνεται στο σχήμα 3



Διάγραμμα 8. Ισόθερες ισορροπίας

Για ένα δεδομένο desiccant η θερμότητα προσρόφησης Q είναι μια λειτουργία της περιεκτικότητας σε υγρασία και θερμοκρασίας desiccant. Η απόκλιση της θερμότητας της προσρόφησης δεν έχει επιπτώσεις σημαντικά στην απόδοση των συστημάτων. Επομένως η θερμοκρασία απορρόφησης θεωρείται σταθερή και μια μέση τιμή $2700 \text{ k J/kg H}_2\text{O}$ χρησιμοποιείται.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στη μελέτη της απόδοσης των desiccant συστημάτων ψύξης ανοιχτού κύκλου συνοψίζονται στον πίνακα 1. Αυτές οι συνθήκες λειτουργίας έχουν επιλεγεί ως χαρακτηριστικές συνθήκες για τα προηγούμενα, θερμικά-ενεργοποιημένα συστήματα ψύξης.

Πίνακας 1. παράμετροι των συνθηκών λειτουργίας σε ένα υποθετικό σύστημα ψύξης

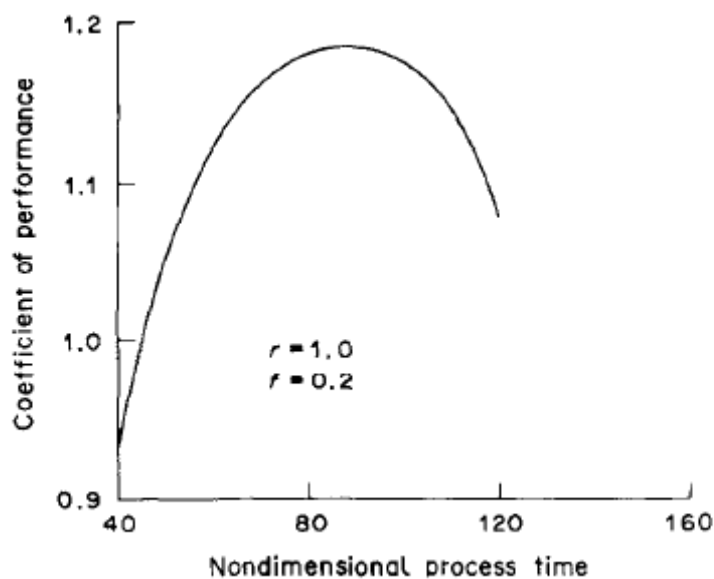
Parameter	Approach or Numerical Value
Cooling system mode	Ventilation
Dehumidifier operational mode	Adiabatic
Heat exchanger effectiveness	0.95
Evaporative cooler effectiveness	0.95
Equilibrium relation	$W/W_{max} = r/(r+(1-r))$, $W_{max} = 0.35$
Heat of sorption	2700 kJ/kg H ₂ O
Lewis number	1.0
Conditioned space temperature†	26.7°C
Conditioned space humidity ratio†	0.0111 kg H ₂ O/kg dry air
Inlet adsorption temperature†	35°C
Inlet adsorption humidity ratio†	0.0142 kg H ₂ O/kg dry air
Inlet desorption temperature	85°C
Inlet desorption humidity ratio	0.0142 kg H ₂ O/kg dry air

Απόδοση συστήματος ψύξης desiccant

Οι εξισώσεις λύνονται αριθμητικά με τη χρήση μιας πεπερασμένης-διαφοράς αναμφίβολης μεθόδου. Έχει μελετηθεί η εξάρτηση της απόδοσης των συστημάτων από τρεις παραμέτρους οι οποίες είναι:

- (i) το κομμάτι της μάζας του desiccant στον αποξηραντή
- (ii) ο τύπος του desiccant ο οποίος προσδιορίζεται από το σχήμα των ισοθέρμων
- (iii) το μη διαστασιολογίσιμο μήκος των καναλιών το οποίο είναι ανάλογο με τον αποξηραντή NTU.

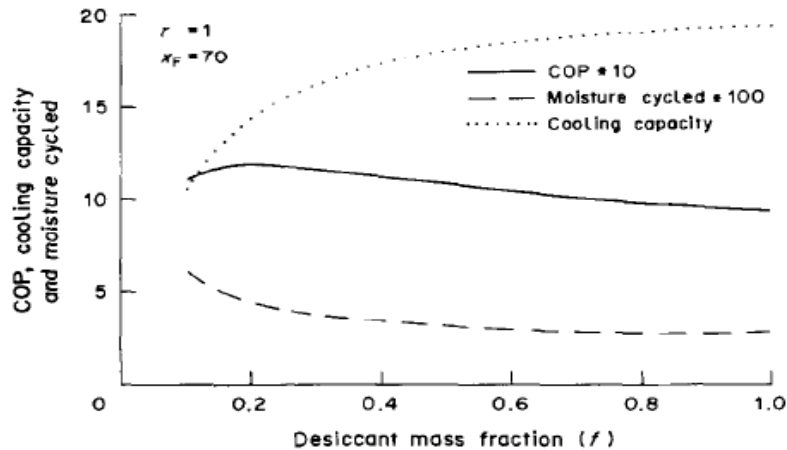
Έχει καθοριστεί ότι για συγκεκριμένους όρους σχεδίου και συνθηκών συστήματος αποξηραντή υπάρχει ένας χρόνος διαδικασίας που θα βελτιστοποιήσει τον θερμικό συντελεστή της απόδοσης του συστήματος. Αυτό δίνεται στο σχήμα 4 όπου ο COP παρουσιάζεται σε αντίθεση με την μη διαστασιολογίσιμη διαδικασία εκρόφησης .



Διάγραμμα 9. Επίδειξη του βέλτιστου χρόνου διαδικασίας

Επίδραση του λόγου μάζας στον αποξηραντή desiccant

Ένα μέρος του αποξηραντή είναι υποστηρικτικό το οποίο είναι μη υγροσκοπικό (αδρανές). Η επιρροή του ποσού του αδρανούς υλικού ($1-f$) είναι διευκρινισμένη στο σχήμα 5 για μια γραμμική ισόθερμη ($r=1.0$) και ένα μη διαστατικό κανάλι (x_f) 70. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η βέλτιστη τιμή του δείκτη μάζας desiccant (f) για βέλτιστο COP είναι περίπου 0,2 το οποίο δείχνει ότι ο βέλτιστος δείκτης μάζας είναι σχετικά χαμηλός και συνεπάγεται την σημαντικότητα των διαδικασιών μεταφοράς θερμότητας στον αφυγραντή. Παρουσιάζεται επίσης (σχ. 5) ότι βελτιώνοντας (αυξάνοντας) την υγρασία που απορροφάται από το desiccant ή την ικανότητα ψύξης, δεν βελτιστοποιεί τον COP.

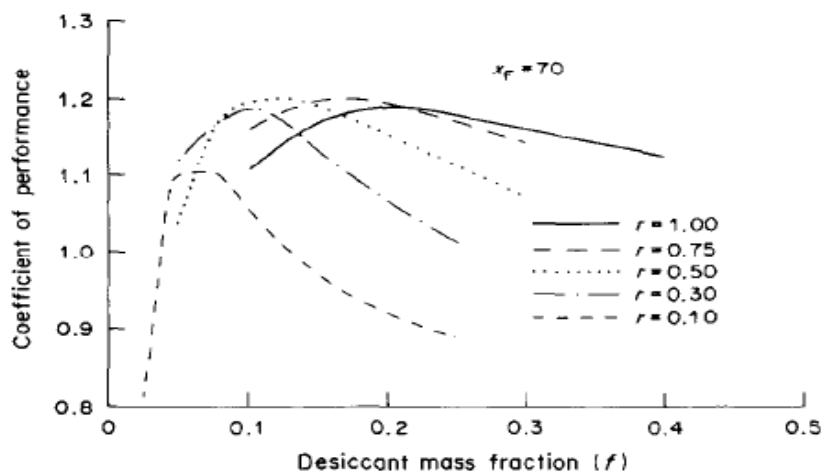


Διάγραμμα 10. επίδραση του λόγου μάζας desiccant

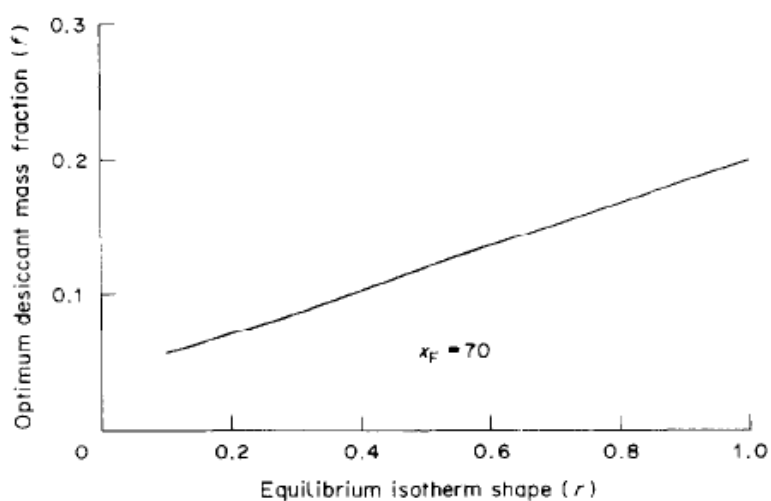
Επίδραση των σχημάτων ισοθέρμων ισότητας

Όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως ένας βέλτιστος δείκτης μάζας υπάρχει για την περίπτωση ενός ροφητήρα με γραμμική ισόθερμη. Μια παρόμοια τάση εμφανίζεται για τις διαφορετικές μορφές ισοθέρμου. Το σχήμα των ισοθέρμων του ροφητήρα ποικίλουν απο μια γραμμική σχέση ως μια δυνατή προσροφητική ισόθερμη Type 1. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 6 δείχνουν ότι οι ισόθερμες γίνονται πιο κοίλες, ο βέλτιστος desiccant δείκτης μάζας μειώνεται απο 0,2 σε 0,075 . ήταν επίσης καθοριστικό ότι ο βέλτιστος βαθμός μάζας desiccant ποικίλει κοντά και γραμμικά με την παράμετρο r που καθορίζει την συνεκτικότητα της ισόθερμης.

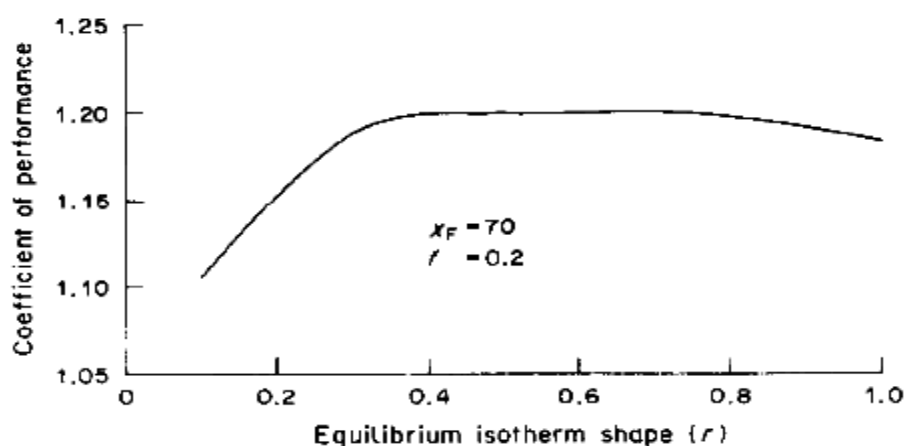
Μελετήθηκε η επίδραση της μορφής της ισοθέρμου σε έναν αποξηραντή σταθερού σχεδίου. Τα αποτελέσματα δίνονται στο σχήμα 8 και έχουμε βέλτιστη ισόθερμη όταν $r=0.5$.



Διάγραμμα 11. Επίδραση διαφορετικών ισοθέμων στην απόδοση του συστήματος



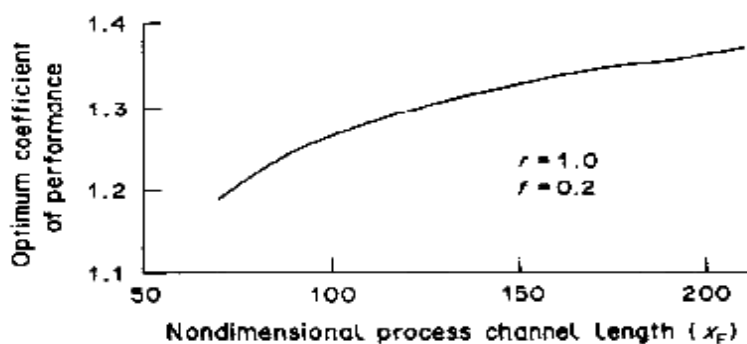
Διάγραμμα 12. Βέλτιστος λόγος μάζας desiccant για διαφορετικές ισοθερμες



Διάγραμμα 13. επίδραση της μορφής των ισοθέμων σε βέλτιστο COP.

Επίδραση μη διαστασιολογισμού μήκους αγωγού

Όπως έχει παρουσιαστεί η ψυκτική ικανότητα αυξάνει μονοτονικά με τον δείκτη μάζας desiccant. Επομένως η ικανότητα ψύξης ενός αποξηραντή στο βέλτιστο f είναι μικρότερο από αυτό ενός ίδιου αποξηραντή χωρίς αδρανές υλικό ($f=1$). Προκειμένου να αυξηθεί η ικανότητα, τα μη διαστατικά κανάλια αυξάνονται για να δώσουν έναν αφυγραντή με ευηλότερο NTU. Όσο ο x_f αυξάνει η ολική ψυκτική ικανότητα και ο COP αυξάνονται. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 9. Δεδομένου ότι στο συνολικό ποσό desiccant αυξάνεται για το μεγαλύτερο x_f το βέλτιστο t_f επίσης αναμένεται να αυξηθεί. Τα x_f και t_f συνδέονται γραμμικά.



Διάγραμμα 14. Επίδραση του αδιάστατου αγωγού στην απόδοση του συτήματος

Συμπεράσματα

Η απόδοση ενός desiccant συστήματος ψύξης ανοιχτού-κύκλου έχει δαιμορφωθεί θεωρητικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει ένας βέλτιστος δείκτης μάζας και μια μορφή desiccant ισόθερμης που μας δίνει βέλτιστο COP. Επιπλέον ένα σύστημα desiccant ψύξης μπορεί να δώσει στον αερισμό COP~1,4. Αυτό χρησιμοποιεί έναν αδιαβατικό αφυγραντή έναν εναλλάκτη θερμότητας αναγέννησης ($\epsilon_{HX}=0.95$) και 2 άμμεσα.

3.4.3. Μελέτη απόδοσης ενός νέου προσροφητικού για την ψύξη με στερεά desiccant

Στην desiccant διαδικασία ψύξης, ο φρέσκος αέρας αφυγραίνεται και ύστερα ψύχεται σε αισθητή θερμοκρασία και εξατμίζεται πριν σταλεί στον κλιματιζόμενο χώρο. Δεδομένου ότι αυτή η τεχνική λειτουργεί χωρίς συμβατικές ψυκτικές ουσίες όπως τα φλουροκαρβονικά και επιτρέπει τη χρήση χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητας για να κινήσει τον ψυκτικό κύκλο.

Οι μελέτες της ψύξης με στερεά desiccant, επικεντρώνονται στη δομή και τον τύπο του αφυγραντή και τον τρέχων τρόπο λειτουργίας του συστήματος.

Τα πιο κοινά desiccant υλικά είναι το silica gel και το χλωρίδιο του λιθίου. Το silica gel είναι ένα desiccant με υψηλή απόδοση, αλλά μπορεί να καταστραφεί μετά από έντονη προσρόφηση μεγάλου ποσού νερού και δεν είναι ανθεκτικό στη θερμότητα, υλικό. Το χλωρίδιο του λιθίου μπορεί να προσροφήσει πολύ νερό αλλά η χημειορόφηση θα μειώσει την ψυκτική ικανότητα και το Li-Cl είναι διαβρωτικό για τον εξοπλισμό όταν φτάνει στον κορεσμό.

I. Πείραμα

Αρχή desiccant ψύξης

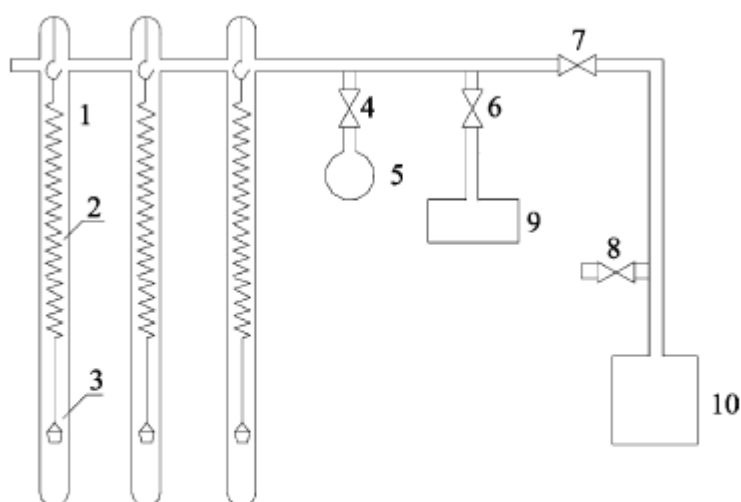
Στο desiccant σύστημα, η υγρασία του αέρα προσροφάται από το desiccant. Αρχικά, ο αέρας αφυδατώνεται και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Ύστερα, ο εναλλάκτης θερμότητας δροσίζει τον αέρα και η αδιαβατική εξάτμιση εμφανίζεται στον εξατμιστήρα.

Μετά από αυτό ο αέρας στέλνεται στο σύστημα, το οποίο χρειάζεται την κατάσταση χαμηλής θερμοκρασίας και την μέτρια υγρασία. Έτσι η διαδικασία ψύξης ολοκληρώνεται. Ο αέρας που αποβάλλεται από το σύστημα ψύχεται από την εξάτμιση. Στέλνεται στον εναλλάκτη θερμότητας για να ανταλλάξει θερμότητα με ξηρό αέρα στην έξοδο του προσροφητή. Ύστερα το desiccant επανενεργοποιείται μέσα στον προσροφητή.

Μηχανισμός των ισοθέρμων προσρόφησης

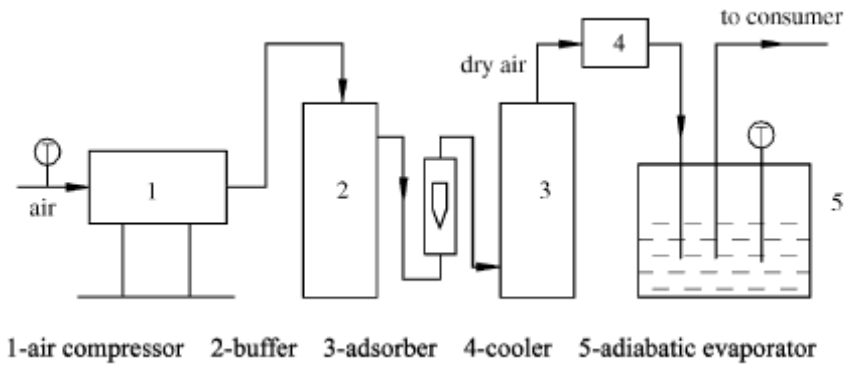
Οι ισοθερμες προσρόφησης των προσροφητικών DH-5, DH-7, 13x πήκτωμα και silica gel καθορίζονται από τη χρήση της υψηλού κενού βαρυμετρικής μεθόδου.

Κατ' αρχάς το δείγμα των προσροφητικών ενεργοποιείται στους 450°C για 2 ώρες σε φούρνο Maffe. Ύστερα το προσροφητικό τοποθετείται μέσα σε καλάθι και ολόκληρη η συσκευή εκκενώνεται. Η πίεση και η θερμοκρασία διατηρούνται στα 0,1 Pa και 300°C αντίστοιχα για 3 ώρες. Μερικό από το δείγμα ατμοποιείται και η διαφορά μήκους του χαλαζία πριν και μετά την προσρόφηση μετρείται με καθετηριόμετρο. Η ακρίβεια των καθετηριομέτρων είναι 0,02 mm και η ευαισθησία του χαλαζία είναι 37-40 cm/g.



1- adsorption tube 2-quartz spring 3-sample basket
4, 6, 7, 8-valve 5-reagent bottle 9-thin-film vacuum
manometer 10-vacuum system

Σχήμα 12. Συσκευή μέτρησης ισοθέρμων προσρόφησης



Σχήμα 13. Πειραματική συσκευή desiccant ψύξης

Πειραματική συσκευή της desiccant ψύξης

Προκειμένου να καθαριστεί το desiccant κατασκευάστηκε πειραματική συσκευή. Ο αέρας από τον συμπιεστή στέλνεται στον απομονωτή. Αφού μετρηθεί από το περιστροφικό ροόμετρο πηγαίνει στον προσροφητή και τον ψύκτη όπου η υγρασία προσροφάται. Η θερμοκρασία πέφτει και η υγρασία ανεβαίνει ταυτόχρονα σε αδιαβατικό εξατμιστή. Ύστερα ο υγρός αέρας στέλνεται στην κατανάλωση.

Η θερμοκρασία του αέρα μετριέται από υγρού και ξηρού βολβού θερμομέτρα. Η θερμοκρασία του νερού στον αδιαβατικό εξατμιστή μετριέται από ακριβές θερμόμετρο. Ένα συγκεκριμένο ποσό του desiccant ζυγίζεται και μπαίνει στον φούρνο. Ενεργοποιείται σε μια ορισμένη θερμοκρασία για 2-4 ώρες και σφραγίζονται σε θερμική φάση για αναμονή. Η συνολική δυναμική ικανότητα προσρόφησης μετριέται με ζύγιση. Ο όγκος εξάτμισης στη διαδικασία ψύξης λαμβάνεται με την μέτρηση του όγκου νερού που ανανεώνεται στον εξατμιστήρα.

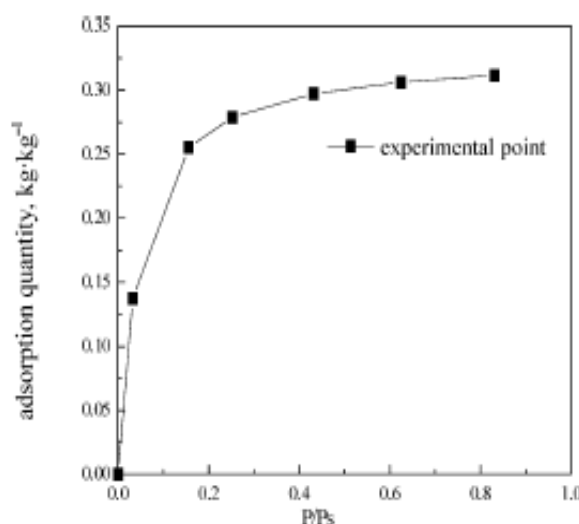
II. Αποτελέσματα και συζήτηση

Ισόθερμη προσρόφησης

Στα διαγράμματα 3-6 φαίνεται η ικανότητα προσρόφησης των DH-5, DH-7, 13x και silica gel που αυξάνεται με την άνοδο της πίεσης του υδρατμού. Η μέγιστη ικανότητα προσρόφησης του DH-5 και DH-7 μπορεί να φτάσει 0,72

και 0,73 kg/kg αντίστοιχα ο οποίος είναι πολύ μεγαλύτερος απο την ικανότητα προσρόφησης των συνήθως χρησιμοποιημένων προσροφητικών. Ακόμη και κάτω από τη χαμηλή πίεση υδρατμού($P/P_s=0.1$) DH-5 και DH-7 μπορούν ακόμα να έχουν μεγάλη ικανότητα προσρόφησης ($q>0.1$ kg/kg) η οποία μπορεί να είναι μεγαλύτερη απο αυτή του silica gel. Κατα συνέπεια DH-5 και DH-7 έχουν καλές δυνατότητες στην προσρόφηση του νερού. Η ικανότητα αφυδάτωσης αυτών είναι καλύτερη απο αυτή του μοριακού διαχωριστή που χρησιμοποιείται στην διαδικασία αποξήρανσης σχετικά χαμηλότερης σχετικής υγρασίας και η ικανότητα αφυδάτωσης είναι υψηλότερη απο αυτή του 13x σε σχετικά υψηλότερη υγρασία.

Τέτοια προσροφητικά βελτιώνουν θεαματικά την ικανότητα αφύγρανσης του προσροφητή και αυξάνει την ικανότητα ψύξης του συστήματος κλιματισμού.



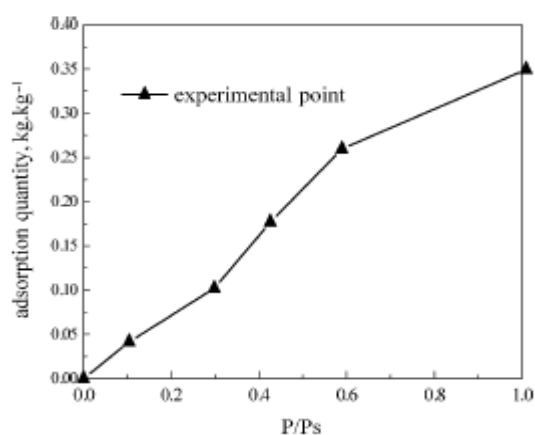
Διάγραμμα 15. Ισόθερμη προσρόφησης του 13x απορροφητικού- H_2O (25°C).

Επίδραση της θερμοκρασίας αναγέννησης στην ικανότητα ψύξης

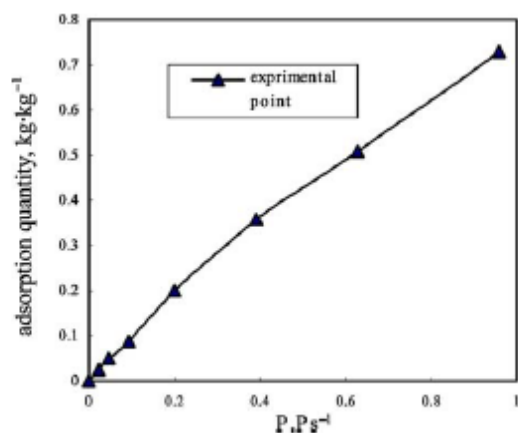
Προκειμένου να βρεθεί desiccant υλικό για την καλή λειτουργία της desiccant ψύξης, η απόδοση των ψυκτικών συστημάτων με DH-5 και 13x δοκιμάστηκε σε διαφορετικές θερμοκρασίες αναγέννησης και σχετικής υγρασίας αέρα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 1.

Ο πίνακας 1 δείχνει ότι η ικανότητα ψύξης του DH-5 ανα μάζα desiccant δεν βελτιώνεται ευδιάκριτα με την αύξηση της θερμοκρασίας αναγέννησης ενώ αυτή αυξάνεται στο 13x το οποίο μας δείχνει ότι το DH-5 χρειάζεται

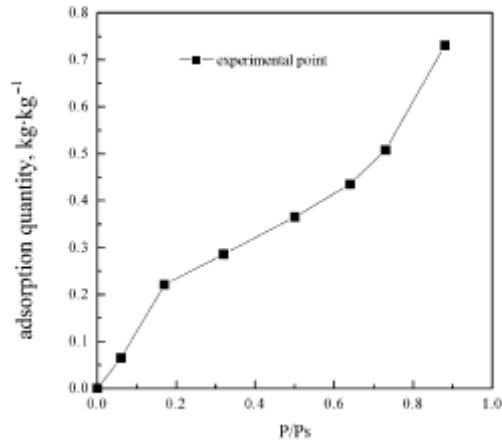
100°C για την desiccant ψύξη. Η αύξηση της θερμοκρασίας αναγέννησης δεν έχει καμία επίδραση στην απόδοση της desiccant ψύξης του DH-5. Έτσι το DH-5 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ευρεία γκάμα θερμοκρασιών όπως το desiccant σύστημα ψύξης χρησιμοποιώντας τα εκλυόμενα αέρια από τα αυτοκίνητα (300-500°C). Από τον πίνακα 1 μπορούμε επίσης να καταλάβουμε ότι η ψυκτική ικανότητα του συστήματος επηρεάζεται από την σχετική υγρασία του αέρα.



Διάγραμμα 16. Ισόθερμη προσρόφησης του silica gel προσροφητικού-H₂O (25 °C).



Διάγραμμα 17. Ισόθερμη προσρόφησης του DH-5 προσροφητικού-H₂O (25 °C).



Διάγραμμα 18. Ισόθερμη προσρόφησης του DH-7 adsorbent-H₂O (25 °C).

Επίδραση της σχετικής υγρασίας του αέρα στην ψυκτική ικανότητα

Το πείραμα δείχνει ότι η απόδοση ψύξης είναι λογική σε συνθήκες λειτουργίας στο περιβάλλον. Προκειμένου να εξαλειφθεί η επίδραση της σχετικής υγρασίας του αέρα τεστάρονται όλα τα προσροφητικά σε διαφορετικές συνθήκες σχετικής υγρασίας. Στο σχέδιο 7 φαίνεται η σχέση μεταξύ ψυκτικής ικανότητας και σχετικής υγρασίας αέρα τα οποία είναι αντιστρόφως αναλογα.

Η ποσότητα του νερού που προσροφάται μειώνεται με την μείωση στη σχετική υγρασία ο χρόνος κορεσμού των desiccant αυξάνει και θα προκληθεί η αύξηση της ψυκτικής ικανότητας της desiccant ψύξης ανα μάζα desiccant. Φαίνεται ότι τα DH-5 και DH-7 είναι υλικά με καλή απόδοση για την χρήση τους σε ψύξη. Έχουν γενικά πολυ καλές προοπτικές για την εφαρμογή τους.

Πίνακας 3

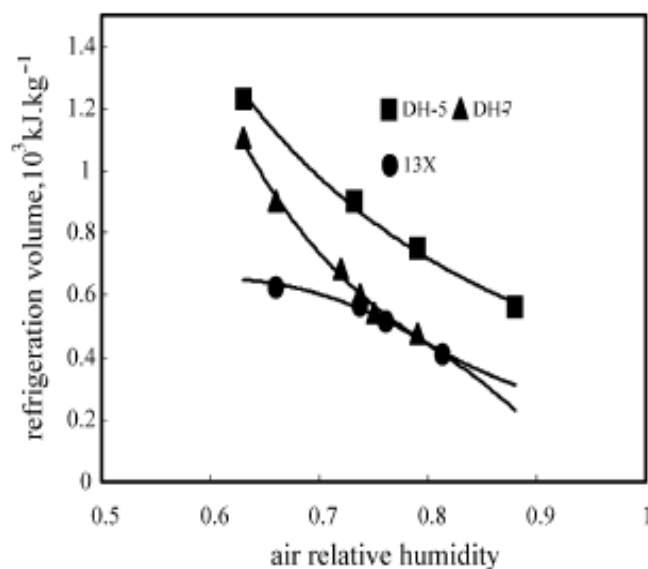
Desiccant refrigeration capacity of DH-5 and 13x at different regeneration temperatures

Regeneration temperature (°C)	Air relative humidity (%)	Refrigeration capacity of DH-5 (kJ/kg)	Refrigeration capacity of 13x (kJ/kg)
300	75	542	516
250	72	682	459
200	88	511	411
150	79	478	
100	63	1107	

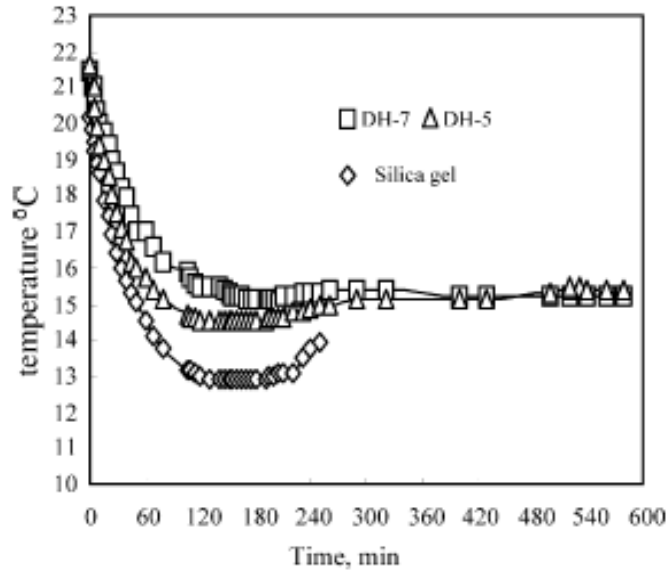
Δυναμική θερμοκρασία για την desiccant ψύξη

Η επίδραση της αισθητής θερμότητας που ανταλλάσσεται μεταξύ νερού και αέρα στον εξατμιστήρα παραβλέπεται για την ευκολία της ανάλυσης. Οι όγκοι ψύξης της διαδικασίας υπολογίζονται από τους όγκους εξατμίσεως στον εξατμιστή και από την λανθάνουσα θερμότητα του νερού στην αντίστοιχη θερμοκρασία. Η επίδραση της desiccant ψύξης μετριέται από τον όγκο ψύξης διαφόρων desiccant.

Από το διάγραμμα 8 όλο το silica gel και DH-5 και DH-7 μπορεί να προκαλέσει την πτώση της θερμοκρασίας του νερού κατά 7-8⁰ C. Για τα DH-5 και DH-7 είναι περίπου 7-8 ώρες ενώ για το silica gel περίπου 3,5 ώρες. Αυτό δείχνει ότι τα παραπάνω έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα αφύγρανσης.(DH-7=2 silica gel). Αυτά τα desiccant (DH-7,DH-5) είναι κατάλληλα για χρήση σε ηλιακά συστήματα.



Διάγραμμα 19. Σχέση της ικανότητας ψύξης και της σχετικής υγρασίας αέρα



Διάγραμμα 20. Καμπύλη θερμοκρασίας του εξατμιστήρα

III. Συμπεράσματα

1. Τα προτεινόμενα DH-7 και DH-5 έχουν καλές ικανότητες αφύγρανσης και η χωρητικότητα προσροφήσεως του είναι 0,7 kg/kg.
2. Ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών της πηγής θερμότητας μπορεί να διατεθεί στο desiccant ψυκτικό σύστημα λειτουργώντας με DH-5. Η απόδοση του DH-5 είναι ανώτερη από αυτή του silica gel με σχετικά χαμηλότερη θερμοκρασία επανενεργοποίησης (100⁰C) και η desiccant ψυκτική ικανότητα είναι μεγαλύτερη αυτής του 13x μοριακού διαχωριστή σε σχετικά μεγάλη θερμοκρασίας επανενεργοποίησης (200-300⁰C).
3. Η χωρητικότητα desiccant ψύξης του DH-7 είναι 2 φορές αυτής του silica gel
4. Κάτω από χαμηλή σχετική υγρασία τα DH-7 και DH-5 ακόμη έχουν καλή ικανότητα αφύγρανσης. Έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών και πολύ καλές προοπτικές.

3.5. Υγρά desiccant υλικά

3.5.1. Διαμόρφωση και ανάλυση της απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη-αναγεννητή προ-επεξεργασίας αέρα, που χρησιμοποιεί υγρό desiccant

Οι παραδοσιακοί κύκλοι ψύξης κινούνται από την ηλεκτρική ενέργεια ή τη θερμότητα, οι οποίοι αυξάνουν έντονα την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ορυκτού πλούτου. Το διεθνές ίδρυμα ψύξης στο Παρίσι (IIF/\$I*IIR) έχει υπολογίσει ότι περίπου 15% όλης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε ολόκληρο τον κόσμο δεσμεύεται για τις διαδικασίες ψύξης και κλιματισμού των διάφορων ειδών, και η κατανάλωση ενέργειας για τα συστήματα κλιματισμού έχει υπολογιστεί πρόσφατα σε 45% ολόκληρων των νοικοκυριών και των εμπορικών κτιρίων.

Επιπλέον, τα παραδοσιακά εμπορικά, μη-φυσικά ψυκτικά υγρά, όπως τα chlorofluorocarbuces (CFCs), τα hydrochlorofluorocarbuces (HCFCs) και τα hydrofluorocarbuces (HFCs) οδηγούν και στη μείωση όζοντος και στην παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Κάτω από την όλο και περισσότερο αυστηρή κατάσταση των πηγών ενέργειας και των περιβαλλοντικών προβλημάτων, η ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιείται στα συστήματα ψύξης έχει μεγάλη αξία εφαρμογής. Ηλιακής ενέργειας υγρά desiccant συστήματα ψύξης (LDC) που μπορούν να μειώσουν την ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας με τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας και να αποφύγουν τη μείωση όζοντος με τη χρησιμοποίηση του φυσικών υγρών λειτουργίας (αέρας ή νερό) έχει αναπτυχθεί ως εναλλακτική λύση των συσκευών ψύξης συμπίεσης ατμού για τις εφαρμογές κλιματισμού. Οι δύο διαδικασίες της υγρής αναγέννησης και της ηλιακής συλλογής μπορούν να διατεθούν, αντίστοιχα.

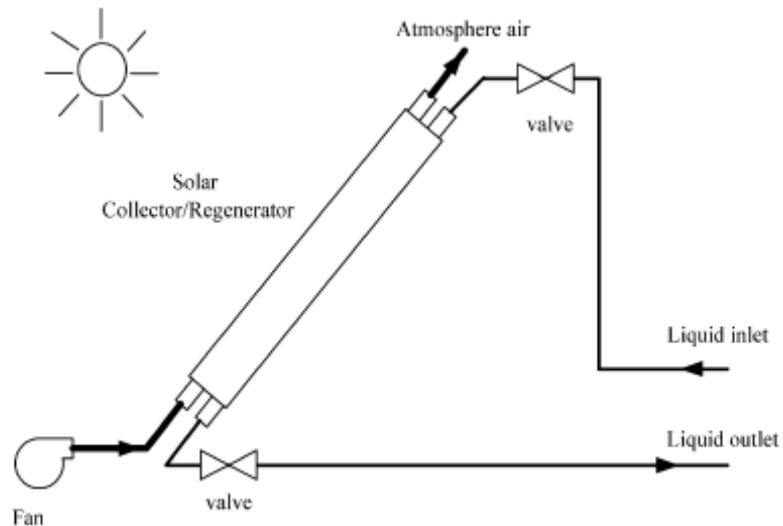
Εντούτοις, με τη χρησιμοποίηση των άμεσων ηλιακών αναγεννητών όπου το desiccant διάλυμα είναι το ίδιο το ρευστό που δεσμεύει τη θερμότητα, η διαδικασία αναγέννησης θα μπορούσε να γίνει αποτελεσματικότερη. Συνδυασμός της ηλιακής συλλογής και της αναγέννησης υγρού μαζί, μπορεί να καθιερωθεί ένας ηλιακός συσσωρευτής/έναν αναγεννητής (C/R) που έχει προσελκύσει το μεγάλο ενδιαφέρον από μερικούς μελετητές. Σύμφωνα με τη διαφορές της ώθησης της ροής, εμφανίζονται φυσικής και εξαναγκασμένης

ροής συλλέκτες/αναγεννητές (C/R). Στους φυσικής ροής C/R, η αναγέννηση της desiccant λύσης πραγματοποιείται σε μια ανοικτή επιφάνεια, ενώ στον εξαναγκασμένης C/R με την μονής (ή διπλής) τοποθέτησης υαλοπινάκων.

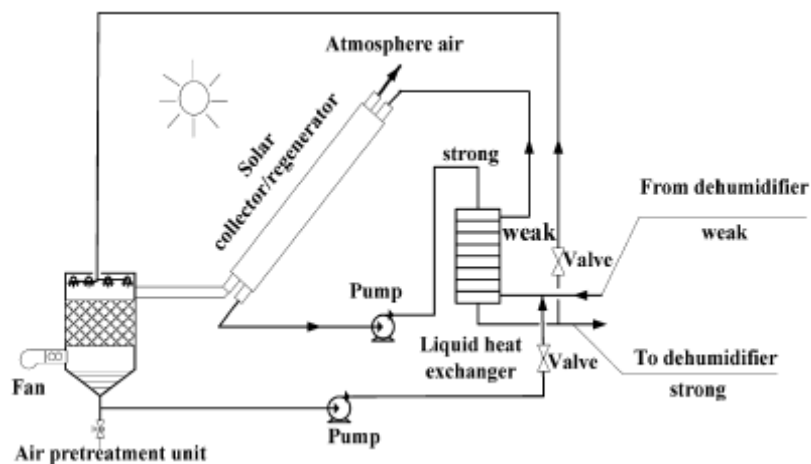
Σε μελέτη της φυσικής ροής C/R, περιγράφεται ένα ηλιακό υγρό desiccant σύστημα ψύξης στο οποίο η ηλιακή συλλογή και η αναγέννηση του διαλύματος χλωριδίου λίθιου πραγματοποιείται σε μια ανοικτή επιφάνεια. Μια αναλυτική διαδικασία για τη μάζα του ύδατος που εξατμίζεται από το φυσικό C/R έχει αναπτυχθεί. Μια από τις αποδοτικές μεθόδους άμεσης ηλιακής αναγέννησης είναι ο εξαναγκασμένης ροής συλλέκτης / αναγεννητής. Ένα υπολογιστικό πρότυπο αναπτύχθηκε στον αναγκασμένης ροής συλλέκτη/αναγεννητή για να εξομειωθεί το ποσοστό εξάτμισης του ύδατος ως μια συνάρτηση των μεταβλητών του συστήματος ποικίλει και τις κλιματολογικές συνθήκες και δημιούργησε το πρωτότυπο του συλλέκτη/αναγεννητή εξαναγκασμένης ροής για να εξετάσει την απόδοσή του. Οι RU Yang και Pai-LU WANG αξιολόγησαν την απόδοση των απλών και διπλών συλλεκτών/αναγεννητών για ένα ηλιακό σύστημα ψύξης απορρόφησης ανοικτού-κύκλου και το αποτέλεσμα δείχνει ότι ο διπλών κρυστάλλων εξαναγκασμένης μεταφοράς C/R δίνει μια καλύτερη απόδοση του συστήματος. Ο Kabeel σύγκρινε την αποδοτικότητα αναγέννησης μεταξύ του φυσικού C/R και του εξαναγκασμένου C/R και βρήκε την αύξηση της αποδοτικότητας αναγέννησης για την εξαναγκασμένη ροή έναντι της ελεύθερης ροής αναγέννησης.

Ο αναγκασμένης ροής C/R υιοθετεί μια κεκλιμένη επίπεδη μαυρισμένη επιφάνεια πάνω στην οποία το απορροφητικό διάλυμα για να είναι συγκεντρωμένο ρέει προς τα κάτω ως λεπτή υγρή ταινία. Η σχηματική αναπαράσταση του C/R φαίνεται στο σχέδιο 1. Το κάτω μέρος του C/R είναι καλά-μονωμένο και ως εκ τούτου ο οπίσθιος συντελεστής απώλειας θερμότητας μπορεί να παραμεληθεί. Προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες κορυφής και να αποβληθεί η μόλυνση του διαλύματος με τη σκόνη, το C/R καλύπτεται από απλούς ή διπλούς υαλοπίνακες. Λόγω της απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας από το πιάτο, το νερό εξατμίζεται από την υγρή επιφάνεια και αφαιρείται από ένα αναγκασμένο ρεύμα αέρα. Το ρεύμα αέρα ρέει παράλληλα ή αντίθετα προς την υγρή ταινία. Τα αποτελέσματα μελέτης δείχνουν ότι η απόδοση του ηλιακού συσσωρευτή/του αναγεννητή

επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα εισόδου. Προκειμένου να ξεπεραστεί η δυσμενής επιρροή της υψηλής αναλογίας υγρασίας του αέρα στην απόδοση αναγεννητών, ένας νέος ηλιακος υγρού συλλέκτης/αναγεννητής σχεδιάζεται.



Σχήμα 14. Σχηματικό διάγραμμα του παραδοσιακών ηλιακών συλλετών/ αναγεννητών υγρού



Σχήμα 15. Σχηματικό διάγραμμα του ηλιακού συλλέκτη/αναγεννητή προεπεξεργασίας αέρα

i. Το σύστημα του ηλιακού συλλέκτη-αναγεννητή προεπεξεργασίας αέρα

Το σύστημα του ηλιακών συλλέκτη/αναγεννητή προεπεξεργασίας αέρα που παρουσιάζεται στο σχήμα 15 αποτελείται από τον κύκλο αέρα και τον κύκλο διαλύματος. Ο κύκλος αέρα αποτελείται από τον ανεμιστήρα, τη μονάδα

προεπεξεργασίας αέρα και τον ηλιακό συσσωρευτή/αναγεννητή. Το ρεύμα αέρα που προέρχεται από το εξωτερικό αναγκάζεται από τον ανεμιστήρα να εισέλθει στη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα όπου είναι σε επαφή με ισχυρό διάλυμα χαμηλής θερμοκρασίας και πραγματοποιείται ισοενθαλπική διαδικασία αφύγρανσης και ρέει έπειτα στον ηλιακό συσσωρευτή/ αναγεννητή στον οποίο ο αέρας θερμαίνεται και υγραίνεται μέσω της μεταφοράς θερμότητας και μάζας με το αραιωμένο διάλυμα υψηλής θερμοκρασίας, τελικά εκτινάσσεται στην ατμόσφαιρα. Ο κύκλος αέρα είναι ένας ανοικτός κύκλος. Ο κύκλος διαλύματος αποτελείται από την αντλία διαλύματος antisepsis , τη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα, το συλλέκτη/αναγεννητή και τον εναλλάκτη θερμότητας υγρού.

Το αραιωμένο διάλυμα από τη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα και τον αποξηραντή εισάγεται στον εναλλάκτη θερμότητας υγρού όπου αρχικά θερμαίνεται από το ισχυρό διάλυμα που φεύγει από το συλλέκτη/αναγεννητή και έπειτα προωθείται από την αντλία διαλύματος antisepsis στον ηλιακό συσσωρευτή/τον αναγεννητή όπου το νερό του διαλύματος αφαιρείται από το ρεύμα αέρα και το διάλυμα επανενεργοποιείται, ύστερα επιστρέφει στον εναλλάκτη θερμότητας υγρού που προθερμαίνει το κρύο αραιωμένο διάλυμα, ρέει τελικά στη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα και αποξηραντή, αντίστοιχα, όπου το διάλυμα αραιώνεται απορροφώντας τον υδρατμό στο ρεύμα αέρα.

Κατ' αυτό τον τρόπο, μια στενή κυκλοφορία της διάλυσης, της αναγέννησης και ακόμα μια επιπλέον διάλυσης κατασκευάζεται. Σύμφωνα με το εάν οι κατευθύνσεις ροής του διαλύματος και του ρεύματος αέρα στο C/R είναι οι ίδιες, ή όχι, η νέα λύση C/R διαιρείται σε δύο τρόπους εργασίας παράλληλου και αντίθετου ρεύματος.

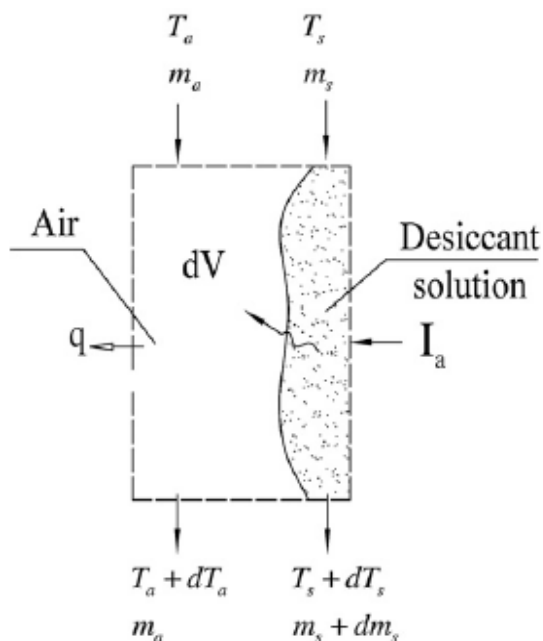
Εντούτοις, η συγκέντρωση του διαλύματος εξόδου μπορεί να αυξηθεί στο νέο C/R που συνδυάζει τη θέρμανση αναπαραγμένης θερμοκρασίας υγρού, τη μειωμένη υγρασία αέρα και την αυξανόμενη θερμοκρασία αέρα, τρία είδη παραγόντων που μαζί προωθούν την αναγέννηση υγρού: έναντι του παραδοσιακού C/R που εξαρτάται μόνο από τη θέρμανση της υγρής θερμοκρασίας, το πλεονέκτημα του νέου C/R μπορεί να κάνει το καλύτερο της πηγής θερμότητας χαμηλότερου βαθμού για να επιτύχει την καλύτερη επίδραση αναγέννησης που λειτουργεί καλά στην περιοχή κλίματος υψηλής υγρασίας.

ii. *Εδραίωση προτύπου*

Το πρότυπο συλλέκτη/αναγεννητή

Σε ένα σύστημα προεπεξεργασίας αέρα με υγρό desiccant , ένα βασικό συστατικό είναι ο ηλιακός συσσωρευτής/αναγεννητής. Προκειμένου να μελετηθεί η απόδοση του C/R, ένα μαθηματικό πρότυπο πρέπει να καθιερωθεί, πριν από το οποίο οι υποθέσεις του φυσικού προτύπου είναι στον ακόλουθο, χάριν της απλούστευσης του υπολογισμού:

- (1) Αμελητέες είναι οι απώλειες θερμότητας στο πίσω μέρος του C/R και εξετάζουμε μόνο τις απώλειες θερμότητας μέσω της κάλυψης υαλοπινάκων.
- (2) Αμελούμε την θερμική αγωγιμότητα και την διάχυση της μάζας του ρεύματος αέρα και της υγρής ταινίας κατά μήκος των κατευθύνσεων ροής τους, και εξετάζουμε μόνο την αγωγή θερμότητας και την μεταφορά μάζας.
- (3) Ο αέρας φθάνει στην ισορροπία με το υγρό στην πίεση ατμού του ύδατος και της θερμοκρασίας στη διεπαφή τους και μη λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση διάχυσης της θερμότητας και της μάζας κατά μήκος του πάχους της υγρής ταινίας.
- (4) Οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των ρευμάτων αέρα και γυαλιού και μεταξύ του ρεύματος αέρα και της υγρής ταινίας είναι ίσοι
- (5) Παραμέληση της πτώσης πίεσης επίδρασης στην απόδοση αναγέννησης του C/R.



Σχήμα 16. Όγκος μονάδων C/R.

Για την μέθοδο σχεδίου πεπερασμένου όγκου, το μήκος του C/R διαιρέθηκε σε μικρά τμήματα έτσι όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 16 σε παράλληλο τρέχοντα τρόπο και οι εξισώσεις ισορροπίας μεταφοράς μάζας και θερμότητας λύθηκαν για κάθε τμήμα από πάνω έως κάτω του C/R. Προκειμένου να απλοποιηθεί ο υπολογισμός, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στον απορροφητή θεωρήθηκε ως σταθερή ροή θερμότητας I_a από τον απορροφητή στο υγρό θερμότητας και το ρεύμα αέρα στο C/R. Οι ακόλουθες εξισώσεις ισορροπίας ενέργειας και μάζας μπορούν να γραφτούν για ένα τμήμα C/R μονάδων πλάτους και του μήκους dx

$$m_s C_{ps} dT_s + m_a dh_a + U_L (T_s - T_0) dx = I_a dx \quad (1)$$

$$m_{\text{salt}} dX + m_a d\omega_a = 0 \quad (2)$$

$$m_a C_{pa} dT_a = h_c (T_s - T_a) dx - h_z (T_a - T_w) dx \quad (3)$$

$$m_a d\omega_a = h_m (\omega_{\text{equ}} - \omega_a) dx \quad (4)$$

where

$$I_a = I_c (1 - \rho) (\tau \alpha) \quad (5)$$

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας h_z μεταξύ του ρεύματος αέρα και του περιβάλλοντος λύθηκαν από:

$$\frac{1}{h_z} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_w} \quad (6)$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας h_w προκληθείς από αέρας αξιολογήθηκε από την ακόλουθη σχέση .

$$h_w = 5.7 + 3.8v \quad (7)$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του ρεύματος αέρα και του διαλύματος έχει αξιολογηθεί για δύο βασικούς όρους, δηλαδή τυρβώδης ροή που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία και στρωτή ροή που δίνεται από το ακόλουθο.

$$Nu = \frac{h_c d_h}{\lambda_a} = 8.23 \quad (8)$$

Ο συντελεστής μαζικής μεταφοράς καθορίστηκε με τη χρήση της αναλογίας.

$$h_m = \frac{h_c}{C_{pa} Le^{2/3}} \quad (9)$$

Το πρότυπο προεπεξεργασίας αέρα

Ένα άλλο βασικό συστατικό στην προεπεξεργασία αέρα C/R υγρού desiccant είναι η μονάδα προεπεξεργασίας αέρα που μπορεί να υποβοηθηθεί από έναν αποξηραντή συσκευασμένων στρωμάτων. Ένα απλουστευμένο πρότυπο για αφύγρανση αέρα με υγρό desiccant παρουσιάστηκε και η αδιάστατη υγρασία αέρα εισήχθη:

$$\alpha = \frac{P_{a,in} - P_{a,out}}{P_{a,in} - P_{s,in}} \leq 1 \quad (10)$$

Σύμφωνα με την αρχή της ισορροπίας μάζας υδρατμού, το ποσοστό συμπύκνωσης υδρατμού G στην προεπεξεργασία αέρα μπορεί να υπολογιστεί από:

$$\underline{G} = m_{salt}(\underline{X}_{out} - \underline{X}_{in}) = m_a(\underline{Y}_{in} - \underline{Y}_{out}) \quad (11)$$

Με βάση τη σχέση αντιστοιχιών μεταξύ του C/R και της μονάδας προεπεξεργασίας αέρα, η ακόλουθη εξίσωση δόθηκε:

$$\underline{X}_{out} = X_{in} \quad (12)$$

Ο καθορισμός άλλων μεταβλητών

Ικανότητα αποθήκευσης:

$$SC = \frac{m_{air} \times \Delta Y \times r_0}{V_{dil.sol} \times 10^6} = \Delta X \times r_0 \times C_{ps} \times \rho_{dil.sol} / 1000 \quad (13)$$

Η ικανότητα αποθήκευσης δείχνει την ενέργεια που καταναλώνεται για τη συγκέντρωση της μονάδας όγκου αραιωμένο υγρό.

Αποτελεσματική αναλογία διαλύματος:

$$ESP = \left(1 - \frac{m_s}{m_s}\right) \times 100 \quad (14)$$

Η αποτελεσματική αναλογία λύσης ESP δείχνει τη μαζική αναλογία του υγρού είσοδου στον αποξηραντή σε σχέση με το συνολικό αναπαραγόμενο υγρό. Το μικρότερο ESP δείχνει το μεγαλύτερο ποσοστό ροής υγρού που απαιτείται στην μονάδα αέρα προεπεξεργασίας.

Αποτελεσματική ικανότητα αποθήκευσης :

$$ESC = SC \times ESP \quad (15)$$

Αποδοτικότητα αναγέννησης:

$$\eta_z = \frac{G \times r_0}{3600 \times I} \quad (16)$$

Η αποδοτικότητα αναγέννησης η_z δείχνει το ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται από την υγρή αναγέννηση που καταλαμβάνει ολόκληρη την ηλιακή ακτινοβολία ενέργεια.

Η επικύρωση του προτύπου συλλέκτη/αναγεννητή

Πρίν επικυρωθεί το πρότυπο συλλεκτών/αναγεννητών, πρέπει να γίνουν οι ακόλουθες υποθέσεις:

(1) Το C/R είναι 10 m x1 m x5 cm.

(2) Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 1 kW/m² και η τιμή του (1- r)(τα) είναι 0.75

(3) Η ταχύτητα του ανέμου είναι 3m/s και η θερμοκρασία περιβάλλοντος $T_w = 33$ °C.

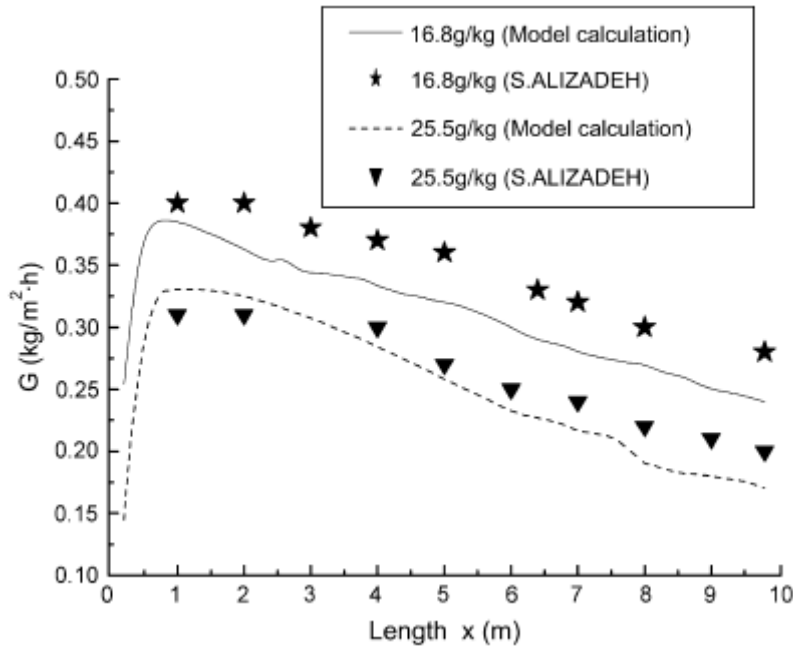
(4) Η συγκέντρωση του διαλύματος εισόδου $C_{s,in}$ είναι 0.4 kg/kg και η θερμοκρασία $T_{s,in}$ είναι 33 °C.

(5) Το σχέδιο ποσοστού ροής: $m_a = 100$ kg/h, $m_s = 10$ kg/h.

(6) Η θερμότητα της εξάτμισης του ύδατος r_0 δίνεται 2551 kJ/kg.

(7) Το διάλυμα CaCl_2 χρησιμοποιείται

(8) Ο τρόπος ροής μεταξύ του ρεύματος αέρα και του υγρού είναι παράλληλος, $Le = 1$



Διάγραμμα 21. Ποσοστό εξάτμισης σε σχέση με το μήκος ηλιακού C/R

Τα αποτελέσματα προσομοίωσης παρουσιάζονται στο διάγραμμα 21. Τα αποτελέσματα και τα δύο στην παράμετρο του ποσοστού εξάτμισης G συμφωνούν πολύ καλά με το μήκος C/R , το οποίο επικυρώνει το πρότυπο C/R . Συγχρόνως, το διάγραμμα 21 δείχνει ότι το ποσοστό εξάτμισης G αυξάνει περίπου $0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ με τη μείωση της υπαίθριας υγρασίας αέρα από 25,5 έως 16,8 g/kg που εξηγεί ότι η αναλογία υγρασίας του υπαίθριου αέρα ασκεί σημαντική επίδραση στην απόδοση αναγέννησης υγρού και με τη μείωση της αναλογίας υγρασίας αέρα η αναγέννηση του διαλύματος η απόδοση μπορεί να βελτιωθεί εντυπωσιακά.

Αποτελέσματα προσομοίωσης και συζητήσεις

Το C/R (1,0 μ πλάτος _ 5,0 μ μήκος) που χρησιμοποιείται από τον ηλιακό C/R (υγρού desiccant) προεπεξεργασίας αέρα σε καλύπτεται από έναν ενιαίο

μονό στρώμα βερνικιού αφήνοντας ένα χάσμα περίπου 5cm. Άλλες ανεξάρτητες παράμετροι προσομοίωσης δίνονται στα εξής: συγκέντρωση διαλύματος εισόδου C_{in} (0,3 kg/kg) και θερμοκρασία $T_{s,in}$, μέσα (60 °C) στο συλλέκτη/αναγεννητή, θερμοκρασία διαλύματος εισόδου $T_{s,in}$ (35 °C) στη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα. Οι τιμές σχεδιασμού ροής αέρα και μάζας ήταν 100 kg/h και 10 kg/h, αντίστοιχα. Ο τρόπος ροής μεταξύ του ρεύματος αέρα και της υγρής ταινίας είναι αντίθετη.

Επίδραση της αποτελεσματικής αναλογίας διαλύματος (ESP) στην απόδοση του αναγεννητή

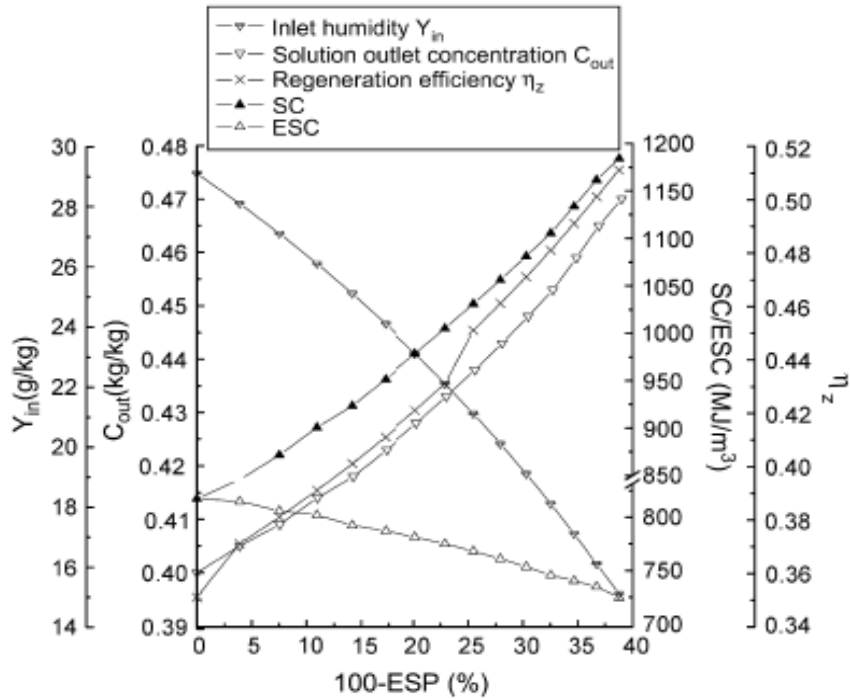
Τροποποιώντας την αποτελεσματική αναλογία διαλύματος ESP, η υγρασία αέρα εισόδου Y_{in} και θερμοκρασία $T_{a,in}$ μπορούν να επηρεαστούν, με τις αλλαγές των διάφορων παραμέτρων αναγέννησης στον C/R προεπεξεργασίας αέρα. Η επίδραση του ESP φαίνεται στο σχέδιο 5. Μειώνοντας το ESP από 100% σε 62%, η υγρασία αέρα εισόδου πέφτει από 29 έως 15 g/kg σε ισενθαλπική επεξεργασία και η θερμοκρασία αέρα εισόδου μπορεί επίσης να ανέλθει. Σαν αποτελέσματα τέτοιων αλλαγών των όρων αέρα εισόδου, η επίδραση αναγέννησης στο C/R μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά. Η συγκέντρωση διαλύματος εξόδου C_{out} ανεβαίνει από 0,4 σε 0,47 kg/kg και η αύξηση της συγκέντρωσης διαλύματος από την είσοδο στην έξοδο αυξάνεται 70%. Η αποδοτικότητα της αναγέννησης h_z αλλάζει από 0,35 έως 0,51 περνώντας το εύρος του 45.7%. Η ικανότητα αποθήκευσης SC αυξάνει 44% από 820 σε 1180 MJ/m³. Λαμβάνοντας υπόψη την ανωτέρω ανάλυση, η διαδικασία προεπεξεργασίας ισενθαλπικής αφύγρανσης για το ρεύμα αέρα πριν την εισαγωγή στο C/R αυξάνει την απόδοση αναγέννησης του διαλύματος, αλλά η βελτίωση της απόδοσης της υγρής αναγέννησης είναι θυσιάζεται για την αποτελεσματική αναλογία διαλύματος ESP. Η ικανότητα αποτελεσματικής αποθήκευσης ESC χρησιμοποιείται για να μετρήσει την επιρροή του ESP στην απόδοση αναγέννησης των υγρών πτώσεων από 820 σε 720 MJ/m³ δηλαδή επίτευξη της μείωσης 12%. Ως εκ τούτου, ο ηλιακός C/R προεπεξεργασίας αέρα μπορεί να επιτύχει υγρό καλύτερης ποιότητας (υψηλότερης συγκέντρωσης) λόγω της θυσίας ενός κομματιού της ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την προεπεξεργασία του ρεύματος αέρα.

Στον C/R, ως λύση του διαλύματος αποτελεσματικής αναλογίας (ESP) μεταξύ του συνόλου το αναπαραγμένο υγρό χρησιμοποιείται για να αφυδατώσει τον αέρα στον αφυγραντή.

Η αποδοτικότητα της αναγέννησης h_z στον C/R προεπεξεργασίας αέρα είναι πολύ υψηλότερη από αυτή στον παραδοσιακό C/R και όταν ESP φτάνει 52%, η απόκλιση των δύο ειδών C/R φτάνει το 0.3. Όσον αφορά τη συγκέντρωση διαλύματος, η συγκέντρωση εξόδου του διαλύματος C_{out} του C/R προεπεξεργασίας αέρα είναι υψηλότερη από αυτή του παραδοσιακού C/R και όταν ESP φτάνει 52%, η απόκλιση των δύο ειδών C/R ανέρχεται στο 11%.

Από άποψη ενεργειακής μεταφοράς, η απορροφημένη ενέργεια σε παραδοσιακό C/R εκτός από την απώλεια θερμότητας και την αύξηση αισθητής θερμότητας του αέρα και του υγρού γίνεται λανθάνουσα θερμότητα που καταναλώνεται από την αναγέννηση του διαλύματος υπολειμματικά και στον C/R προεπεξεργασίας αέρα μεταξύ της υπόλοιπης απορροφημένης ηλιακής ενέργειας εκτός από την ίδια απώλεια θερμότητας όπως στον παραδοσιακό C/R, μόνο η ηλιακή ενέργεια του ESP μπορεί να καταναλωθεί από την αναγέννηση υγρού, η υπόλοιπη χρησιμοποιείται για την προεπεξεργασία αέρα ισενθαλπικής αφύγρανσης.

Σαν συγκρίσεις στο σχέδιο 6, στην προεπεξεργασία C/R αέρα λόγω της υψηλής αποδοτικότητας αναγέννησής της, η απορροφημένη ηλιακή ενέργεια όχι μόνο αποτελεί την κατανάλωση θερμότητας στη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα, αλλά και χρησιμοποιεί περισσότερη θερμότητα για τη λανθάνουσα απορρόφηση θερμότητας στην υγρή διαδικασία αναγέννησης αυτή αποτελέσματα σε μια υψηλότερη συγκέντρωση εξόδου λύσης έναντι παραδοσιακό C/R.

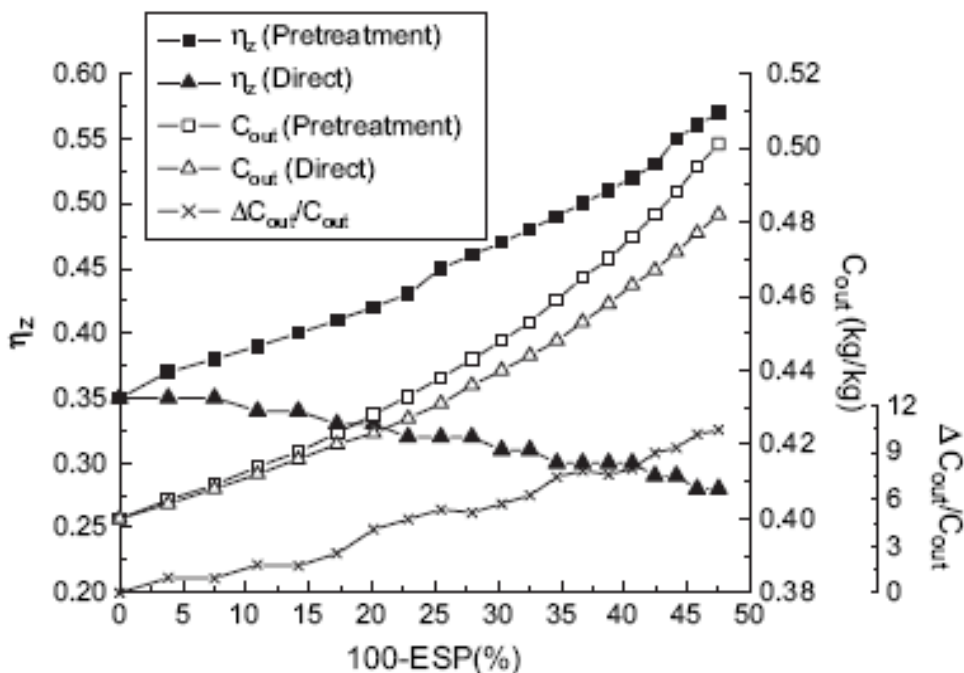


Διάγραμμα 22. Επίδραση στον ESP μεταβλητών του C/R αέρα επεξεργασίας

Με βάση την ανωτέρω ανάλυση, μπορεί να φανεί ότι η συγκέντρωση εξόδου διαλύματος και η χρησιμοποιούμενη ηλιακή αποδοτικότητα στον C/R προεπεξεργασίας αέρα που συνδυάζει τη μειωμένη υγρασία αέρα, που αυξάνει το desiccant υγρό θερμοκρασίας αέρα και θέρμανσης για να προωθήσουν μαζί την υγρή αναγέννηση μπορούν να αυξηθούν καλύτερα απ'ό,τι στον παραδοσιακό C/R αυτός εξαρτάται μόνο από τη θέρμανση της υγρής θερμοκρασίας για να επιτύχει την υγρή αναγέννηση.

Συγχρόνως, στην ηλιακή προεπεξεργασία C/R αέρα με την αλλαγή της αποτελεσματικής λύσης η συγκέντρωση C_{out} εξόδου λύσης αναλογίας (eps) μπορεί να ρυθμιστεί που μπορεί να κατακτήσει τον αντίκτυπο της κυμαινόμενης ηλιακής ακτινοβολίας έντασης στην υγρή απόδοση αναγέννησης και το παραδοσιακό C/R δεν μπορεί να επιτύχει τέτοιο κανονισμό.

Καταλήγοντας, ο ηλιακός C/R προεπεξεργασίας αέρα επιτυγχάνει τη θετική επίδραση ως προς την υγρή αναγέννηση με το να αυξήσει την αναπαραγόμενη ποιότητα του διαλύματος και την αποτελεσματικότητα χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας σημαντικά, η οποία είναι ένας νέος και ιδιαίτερα αποδοτικός ηλιακός εξοπλισμός αναγέννησης υγρού.



Διάγραμμα 23. Σύγκριση μεταξύ C/R προεπεξεργασίας και παραδοσιακού

Επίδραση του ρυθμού ροής μάζας του διαλύματος και της συγκέντρωσης εισόδου στην απόδοση του αναγεννητή

Η επίδραση του ρυθμού ροής μάζας διαλύματος m_s στην απόδοση του C/R προεπεξεργασίας αέρα φαίνεται στο διάγραμμα 23 που αυτό δείχνει την παραλλαγή του ποσοστού εξάτμισης ύδατος G σαν λειτουργία του ρυθμού ροής μάζας του διαλύματος κάτω από τρία είδη διαφορετικού ESP και σταθερό ρυθμό ροής μάζας αέρα m_a 100 kg/h. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 23, αυξάνοντας το m_s , η εξάτμιση ύδατος G αυξάνεται εντυπωσιακά, αυτό εξηγεί ότι η αύξηση του ρυθμού ροής μάζας διαλύματος είναι προτιμότερη στην υγρή αναγέννηση.

Ο μεγαλύτερος ρυθμός ροής μάζας αποδίδει διάλυμα μικρότερης συγκέντρωσης και θερμοκρασίας και την υψηλότερη μερική πίεση ατμών του διαλύματος κάτω από ESP=85% και ESP=70% όταν ο δείκτης m_s είναι μικρότερη 75 kg/h ο βαθμός G είναι περισσότερο κάτω από ESP=70% παρά κάτω από ESP=85%

Ωστόσο όταν ο ρυθμός ροής μάζας του διαλύματος ξεπερνά τα 10kg/h το ΔG πέφτει και τείνει να σταθεροποιηθεί όταν ο ρυθμός ροής της μάζας είναι μεγαλύτερος από 75kg/h.

Βασιζόμενοι στην παραπάνω ανάλυση, η αύξηση του ρυθμού ροής της μάζας του διαλύματος όντως βελτιώνει την απόδοση του αναγεννητή θυσιάζοντας όμως την ποιότητα του διαλύματος που κάνει κακό στην απόδοση της αφύγρανσης στο σύστημα ψύξης υγρού desiccant αφυγραντή.

Για να συντηρηθεί μεγαλύτερη συγκέντρωση εξόδου πρέπει να υιοθετηθεί στρατηγική μικρότερου ρυθμού ροής μάζας διαλύματος στην οποία προσθέτοντας μείγμα δραστικού διαλύματος ESP βελτιώνει πάρα πολύ την απόδοση της αναγέννησης η οποία είναι πλεονέκτημα του ηλιακού C/R προεπεξεργασίας αέρα.

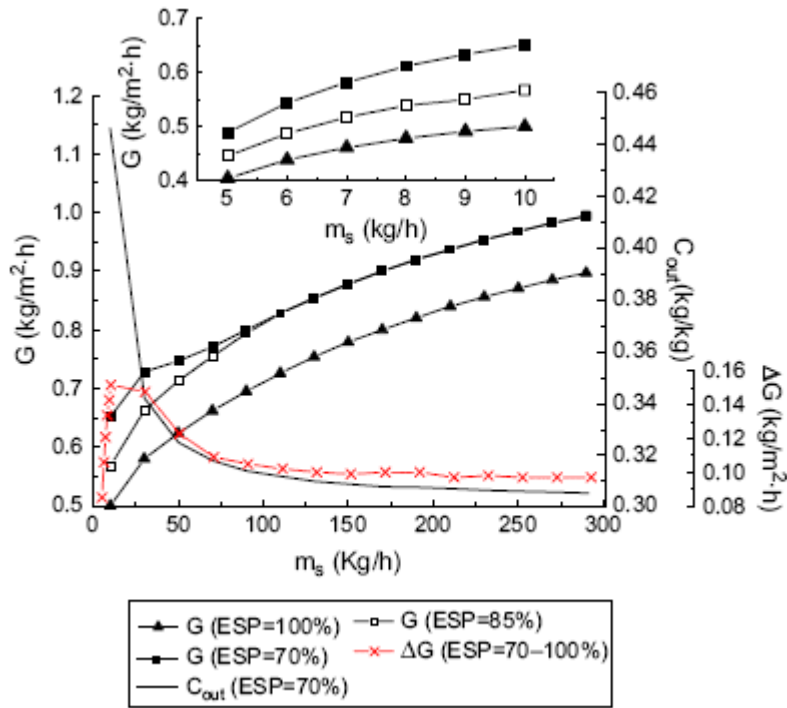
Εκτός από την επίδραση του ρυθμού ροής μάζας διαλύματος στην απόδοση αναγέννησης, η συγκέντρωση διαλύματος εισόδου C_{in} ασκεί μεγάλη επίδραση στην αναγέννηση του διαλύματος με $m_a=100$ kg/h και $m_s=10$ kg/h που αντιπροσωπεύει τότε η συγκέντρωση διαλύματος εισόδου αυξάνεται, η εξάτμιση G ύδατος οι μειώσεις γραμμικά και όταν ανέρχεται η συγκέντρωση C_{in} από 0,30 έως 0,4 kg/kg, το ποσοστό G εξάτμισης πέφτει περίπου 30 τοις εκατό. Η μείωση ESP μπορεί να αυξήσει την εξάτμιση G ύδατος και η αύξηση του G στη χαμηλότερη συγκέντρωση C_{in} είναι υψηλότερη από αυτή σε υψηλότερη C_{in} . Επειδή η συγκέντρωση C_{in} στο ηλιακό C/R εξαρτάται από τις συνθήκες αφύγρανσης στο σύστημα ψύξης υγρού desiccant, το χαμηλότερο C_{in} είναι δυσμενές dehumidification στον όρο σε εκείνο το σύστημα και το υψηλότερο C_{in} μπορεί να εξασθενίσει την απόδοση αναγέννησης στο C/R. Στη σχέση αντίφασης με να υιοθετήσει τη λειτουργία προεπεξεργασίας αέρα και τη μείωση αποτελεσματικής της αναλογίας λύσης ESP, η απόδοση αναγέννησης μπορεί να βελτιωθεί εντυπωσιακά. Ταυτόχρονα, η πτώση μπορεί ESP να αντισταθμιστεί με την προσθήκη της περιοχής ηλιακών συσσωρευτών και του ρυθμού ροής μάζας διαλύματος.

Επίδραση του ρυθμού ροής μάζας αέρα στην απόδοση αναγεννητή

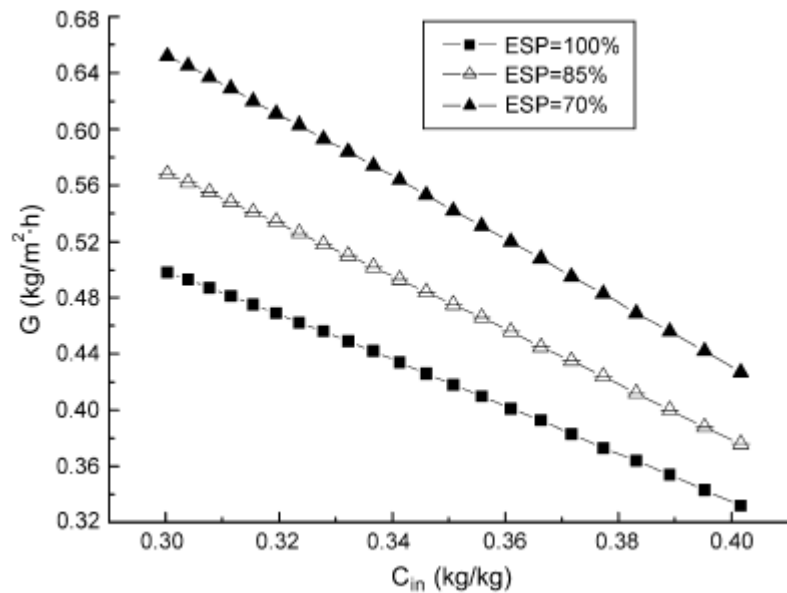
Προκειμένου να αναλυθεί η επίδραση του ρυθμού ροής μάζας αέρα στη διαδικασία αναγέννησης, ο ρυθμός ροής μάζας διαλύματος σταθεροποιείται στα 10 kg/h και το εύρος του ρυθμού ροής μάζας αέρα είναι 10–800 kg/h. Τα ποσοστά εξάτμισης ύδατος κάτω από ESP=100%, 85% και 70% που παρουσιάζει άνοδο του ποσοστού εξάτμισης G γρήγορα πρώτα και έπειτα με

αργή πτώση. Τα ποσοστά εξάτμισης φθάνουν στο μέγιστο όταν ο ρυθμός ροής μάζας αέρα m_a ανέρχεται σε περίπου 200 kg/h σε αυτό ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και μάζας αυξάνει όταν η ροή μάζας αέρα οι αυξήσεις ποσοστού και αυξάνουν του ρυθμό ροής μάζας αέρα μπορούν να μειώσουν την αναλογία υγρασίας αέρα στο C/R που ενισχύει τη διαφορά πίεσης ατμού μεταξύ του ρεύματος αέρα και του διαλύματος, η οποία είναι υπέρ της υγρής αναγέννησης. Εντούτοις, η αύξηση του ρυθμού ροής μάζας αέρα μπορεί επίσης ανυψώσει την απώλεια θερμότητας από τον αναγεννητή και όταν ο ρυθμός ροής μάζας αέρα υπερβαίνει κάποια αξία, η απώλεια θερμότητας στη διαδικασία αναγέννησης λαμβάνει κυρίαρχη θέση που μπορεί να μειώσει τον G αργά. Επίσης δείχνει ότι η πτώση παράγει ESP τη μεγάλη βελτίωση ποσοστό εξάτμισης που εξηγεί κάτω από τα διαφορετικά ποσοστά μαζικής ροής αέρα, η διαδικασία αναγέννησης μπορεί να ρυθμιστεί με να ποικίλει ESP στον αέρα προεπεξεργασία C/R. Όταν το ποσοστό μαζικής ροής αέρα είναι λιγότερο από 30 kg/h γραμμές διακύμανσης ποσοστών γ εξάτμισης ύδατος κάτω από ESP =85% και 70% είναι σχεδόν superposed δείχνοντας ότι όταν είναι το ποσοστό μαζικής ροής αέρα λιγότερο από 30 kg/h, η πτώση δεν μπορούν ESP να βελτιώσουν την απόδοση αναγέννησης.

Αυτό είναι επειδή όταν το ποσοστό μαζικής ροής αέρα είναι πολύ μικρό, εν τούτοις ESP κατεβαίνει από 85% σε 70% που αυξάνει το ποσοστό μαζικής ροής λύσης που υιοθετείται για την προεπεξεργασία αέρα, η αναλογία υγρασίας αέρα εξόδου στη μονάδα προεπεξεργασίας αέρα φθάνει στην ισορροπία με τη λύση και δεν μπορεί να αυξηθεί με να μειωθεί που ESP οδηγεί το ίδιο ποσοστό Γ . εξάτμισης Εκείνη η σειρά του ποσοστού ροής μάζας αέρα m_a καλείται τυφλή περιοχή για την επίδραση ESP. Από την ανωτέρω ανάλυση, η επίδραση του ποσοστού μαζικής ροής αέρα στην υγρή απόδοση αναγέννησης έχει ένα μέγιστο και ESP έχει τη σημαντική επιρροή στην απόδοση αναγέννησης εκτός από μια τυφλή περιοχή στο μικρό ποσοστό ροής αέρα.



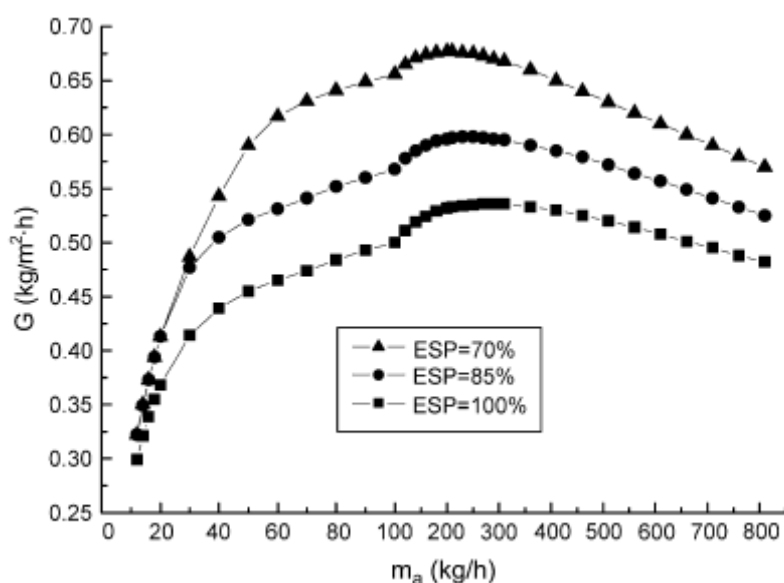
Διάγραμμα 24. Επίδραση του ρυθμού ροής μάζας του διαλύματος m_s στην απόδοση αναγέννησης (το συγκεκριμένο διάγραμμα δείχνει την επίδραση m_s όταν $m_s < 10$ kg/h).



Διάγραμμα 25. Επίδραση της συγκέντρωσης εισόδου του διαλύματος C_{in} στο ποσοστό εξάτμισης G

Συμπεράσματα

Προκειμένου να αναλυθεί η σταθερή απόδοση αναγέννησης της ηλιακής προεπεξεργασίας υγρό C/R αέρα, το πρότυπο C/R και το πρότυπο προεπεξεργασίας αέρα καθιερώθηκαν και με την εφαρμογή της αριθμητικής προσομοίωσης η απόδοση αναγέννησης της προεπεξεργασίας C/R αέρα λαμβάνεται ως λειτουργίες της αποτελεσματικής αναλογίας λύσης ESP, ποσοστό ροής όρου κολπίσκων λύσης και μάζας αέρα. Όσον αφορά την επίδραση ESP στην απόδοση αναγέννησης, όταν ESP αυξάνει η πτώση από 100% σε 62%, τα τοις εκατό αποδοτικότητας H_z ascends 45.7 αναγέννησης, S_c ικανότητας αποθήκευσης 44 τοις εκατό και την αύξηση της συγκέντρωσης λύσης μεταξύ της εξόδου και του κολπίσκου των αυξήσεων αναγεννητών κατά 70 τοις εκατό.



Διάγραμμα 26. Επίδραση του ποσοστού ροής μάζας αέρα m_a στο ποσοστό εξάτμισης G

Όλα αυτά εξηγούν ότι ο χαμηλότερος μπορεί ESP να είναι υπέρ της υγρής αναγέννησης. Έναντι παραδοσιακού C/R στην ίδια ηλιακή ακτινοβολία ένταση, η προεπεξεργασία C/R αέρα συνδυάζει τη μειωμένη υγρασία αέρα, την αυξανόμενη θερμοκρασία αέρα και τα desiccant υγρά δ τρία είδη θέρμανσης να προωθήσει τις μεθόδους αναγέννησης διαλύματος που μαζί βελτιώνουν την αποδοτικότητα χρησιμοποίησης ηλιακής ενέργειας που αντιτάσσονται σε

παραδοσιακό C/R μόνο ανάλογα με τη θέρμανση που αναπαράγεται το διάλυμα σχετικά με την επίδραση του ποσοστού ροής μάζας διαλύματος και της συγκέντρωσης κολπίσκων στην απόδοση αναγέννησης, η αύξηση του ποσοστού ροής μάζας διαλύματος μπορεί αποτελεσματικά να βελτιώσει την απόδοση αναγέννησης, αν και θυσιάζει τη συγκέντρωση διαλύματος εξόδου. Κάτω από την εξασφάλιση υψηλότερης συγκέντρωσης διαλύματος εξόδου, εάν υιοθετώντας τη μικρή λύση ο ποσοστό ροής μάζας ή η αυξανόμενη συγκέντρωση κολπίσκων διαλύματος στο C/R είναι διαθέσιμο και η πτώση μπορεί ESP boostwater ποσοστό γ εξάτμισης και να βελτιώσει την επίδραση αναγέννησης. Η επίδραση του ποσοστού ροής μάζας αέρα στο ποσοστό γ εξάτμισης έχει ένα μέγιστο και όταν είναι το μA στη μικρή πλευρά, υπάρχει μια τυφλή περιοχή που δεν έχει ESP καμία επίδραση στην απόδοση αναγέννησης.

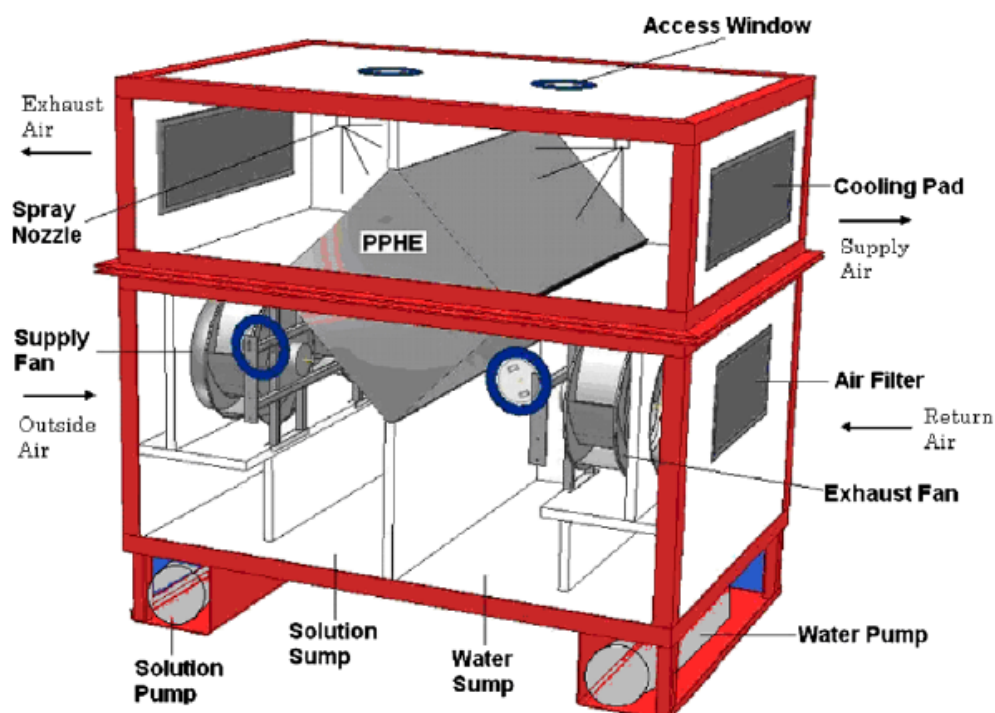
3.5.2. Λειτουργία ενός ηλιακού συστήματος υγρού desiccant air-conditioner (μια πειραματική και θεωρητική προσέγγιση)

I. Δοκιμή σε πρωτότυπη μονάδα

Περιγραφή μονάδας

Η μονάδα απορρόφησης αφυγραίνει και ψύχει τον εξωτερικό αέρα χρησιμοποιώντας υγρό desiccant και κρύο αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο. Μια τρισδιάστατη όψη της μονάδας δείχνει. Μια τρισδιάστατη όψη της μονάδας δείχνει τα βασικά μέρη του συστήματος στο σχήμα 1. Οι ολικές διαστάσεις είναι 1,30x1,50x1,80m. Το περίβλημα του conditioner είναι φτιαγμένο από fiberglass με επαρκή μόνωση για να προστατέψει το σύστημα για μεταφορά θερμότητας με το περιβάλλον. Το πρωτότυπο conditioner σχεδιάστηκε για την ροή του αέρα και του διαλύματος η οποία θα μειώσει την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται. Οι λεκάνες αποστράγγισης του νερού και του διαλύματος χωρητικότητας 300 λίτρα το καθένα, βρίσκονται στο κάτω μέρος της μονάδας. Μαζεύουν και αποθηκεύουν το νερό και το διάλυμα desiccant από τον PPHE και τον αναγεννητή. Μια φυγοκεντρική αντλία και

μια μαγνητικού οδηγού αντλία κυκλοφορούν το νερό και το διάλυμα δια μέσου του PPHE. Έξι μπέκ ψεκασμού προσαρμοσμένα σε οριζόντιους κύβους βρίσκονται στην οροφή του PPHE, ψεκάζουν το διάλυμα και το νερό στο εσωτερικό και στον αέρα επιστροφής, αντιστοίχως. Ένα πλαίσιο ψύξης (άμεσης ψύξης εξάτμισης) που βρίσκεται στην πλευρά εισόδου, ψύχει και αφυγραίνει τον ξηρό αέρα ακολουθώντας την διαδικασία αφύγρανσης εντός του PPHE. Το πλαίσιο ενεργεί επίσης ως φίλτρο για να εμποδίσει την μεταφορά των desiccant στον ψυχόμενο χώρο. Φίλτρα αέρα χρησιμοποιούνται στην είσοδο του conditioner στην εισαγωγή και στην εξαγωγή έτσι ώστε να εμποδίσουν την σκόνη και τα σωματίδια να μπουν στη μονάδα. Για να αποφευχθεί η διαβρωτική φύση του λιθίου του χλωρίου χρησιμοποιούνται υλικά με βάση τα πολυμερή για τα επιμέρους κομμάτια που έρχονται σε άμεση επαφή με το διάλυμα.



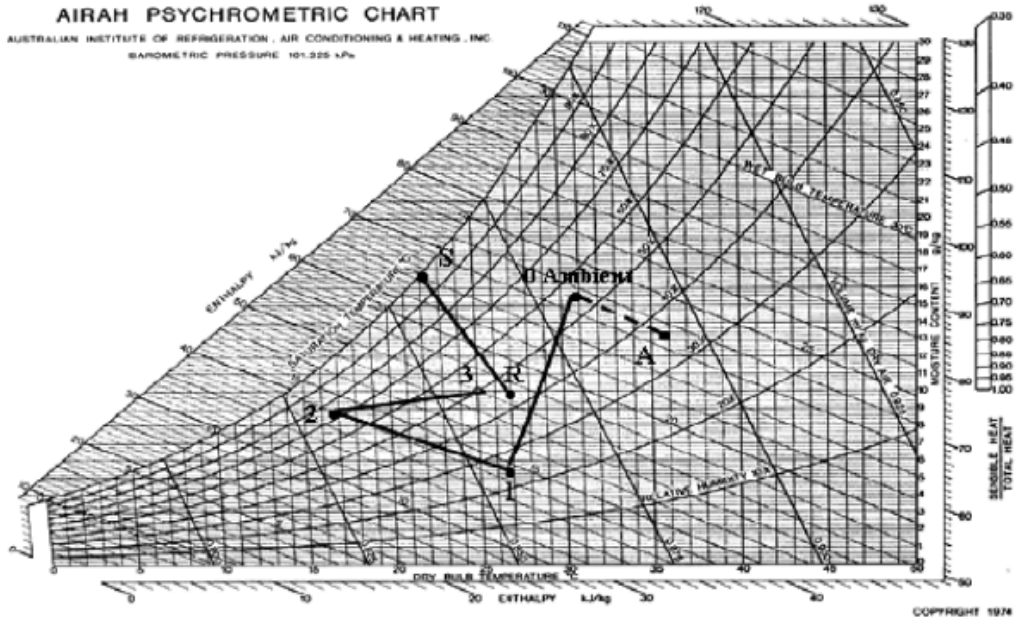
Σχήμα 17. Τρισδιάστατη απεικόνιση LDAC μονάδας απορρόφησης

Διαδικασία test και εγκατάσταση οργάνων

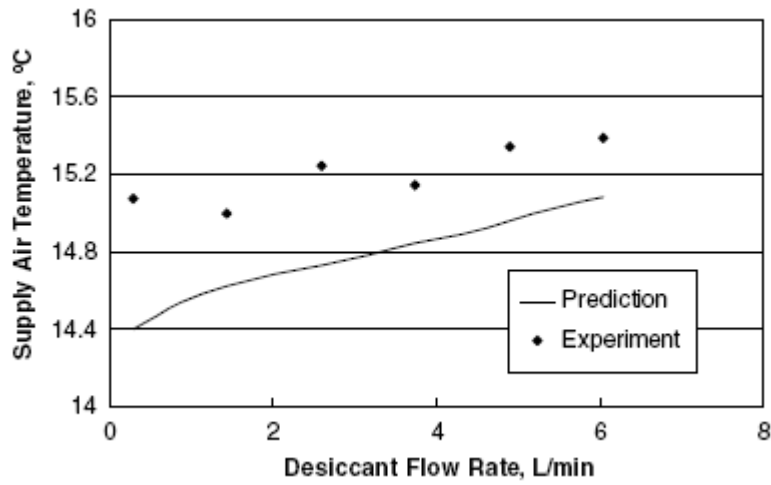
Πριν απο τα test του συστήματος με υγρό desiccant, προκαταρκτικά test έλαβαν μέρος στη μονάδα απορρόφησης. Αυτό περιέχει την ποικιλία των

ταχυτήτων των ανεμιστήρων μειώνοντας την τάση απο 220 σε 110V. Το conditioner τεστάρεται μόνο με νερό για να σιγουρευτούμε για μια απαλή και χωρίς προβλήματα λειτουργία. Η ταχύτητα του αέρα μετριέται απο ταχύμετρα στις πλευρές εισόδου και εξόδου καθώς επίσης και εντός της μονάδας με τη χρήση καλύμματος. Η κατανάλωση ενέργειας απο τους ανεμιστήρες καταγράφεται και μετριέται.

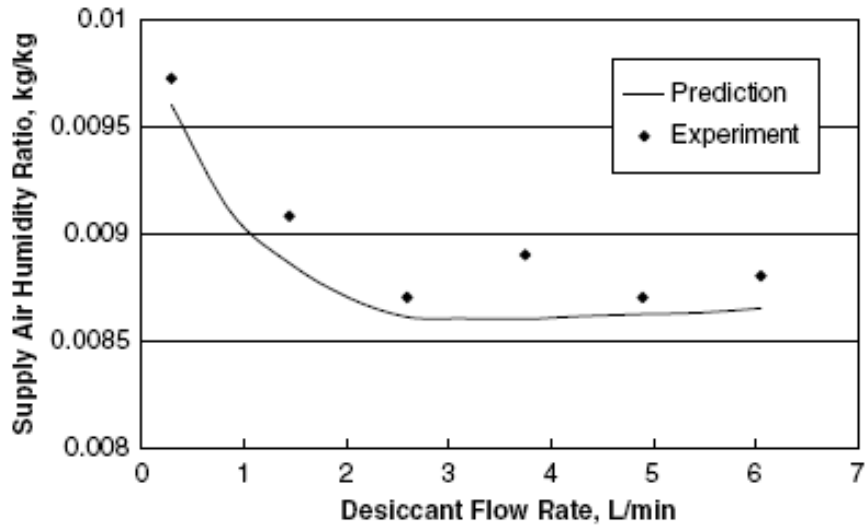
Η μονάδα τοποθετείται σε κτίριο γραφείων στο Brisbane της Αυστραλίας έτσι ώστε να εξεταστεί η απόδοση του και οι συνθήκες του αέρα μέσα στο κτίριο. Η περιοχή που θα κλιματιστεί είναι περίπου 120 τ.μ. με 10 εργαζομένους και 5 PC και μέγιστο φορτίο ψύξης 10 kW για τις συνθήκες καλοκαιριού του Brisbane. Το σύστημα αποδίδει 100% φορτίο φρέσκο αέρα στο κτίριο το οποίο βασίζεται σε 10 αλλαγές αέρα/ώρα με ύψος δωματίου 3μ. και οσυνολικός όγκος του αέρα είναι 1000λίτρα/δευτ. περίπου. Θερμοζεύγη και αισθητήρες υγρασίας χρησιμοποιούνται εντός του κτιρίου και στην είσοδο-έξοδο της μονάδας. Τα θερμοζεύγη καλιμπράρονται με ψηφιακό θερμομέτρο αντίστασης απο πλατίνα. Η ακρίβεια κυμαίνεται για θερμοκρασία και σχετική υγρασία περίπου $\pm 0,5$ °C και 1% αντίστοιχα. Για να μάθουμε την επίδραση της ποικιλίας του ρεύματος του αέρα και του διαλύματος στην απόδοση του συστήματος ένας μεταλλάκτης χρησιμοποιήθηκε για να αλλάζει την ταχύτητα των ανεμιστήρων και της αντλίας του διαλύματος με την αλλαγή της τάσης.



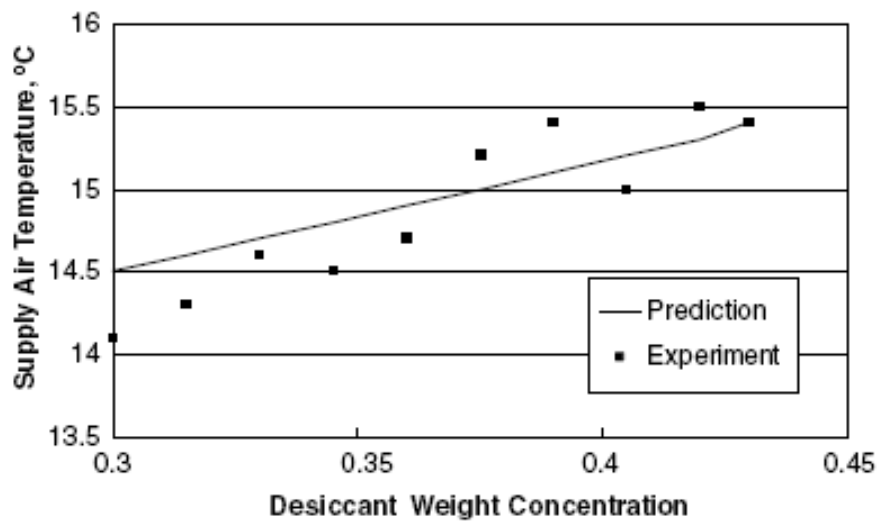
Διάγραμμα 27. Ψυχομετρικές πορείες για τις δοκιμές με: (a) μόνο desiccant (διακεκομμένη) και (b) με νερό και desiccant (supply air: 0-1-2-3; Return air: R-S).



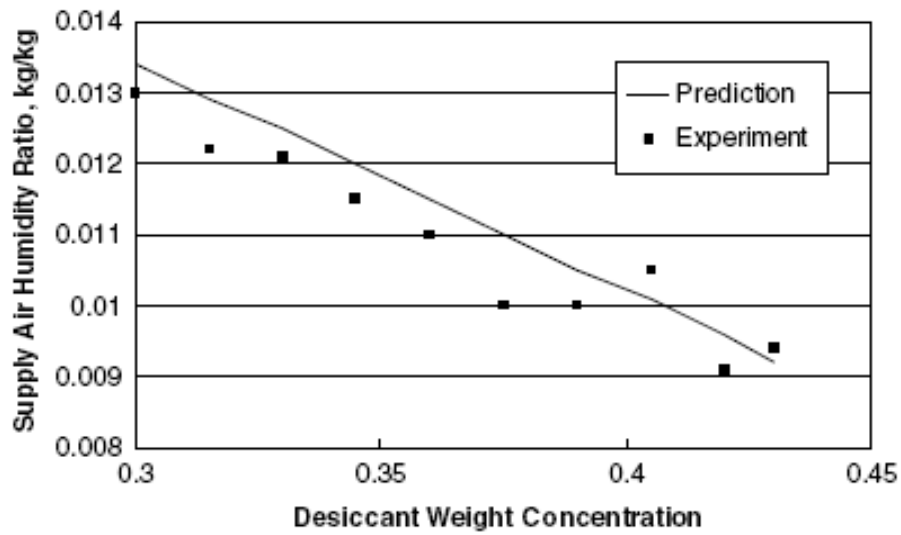
Διάγραμμα 28. Θερμοκρασία αέρα ανεφοδιασμού σε σχέση με τον ρυθμό ροής desiccant



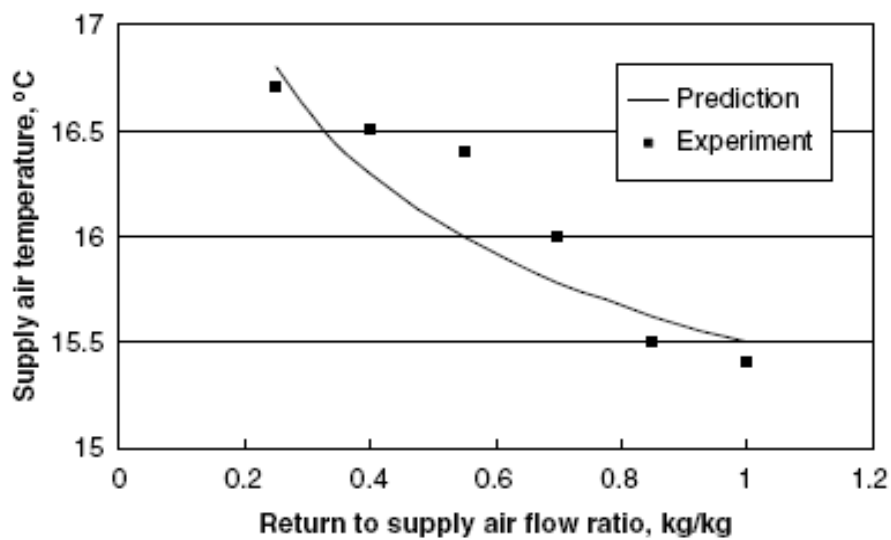
Διάγραμμα 29. Ποσοστό υγρασίας αέρα ανεφοδιασμού σε σχέση ρυθμό ροής desiccant .



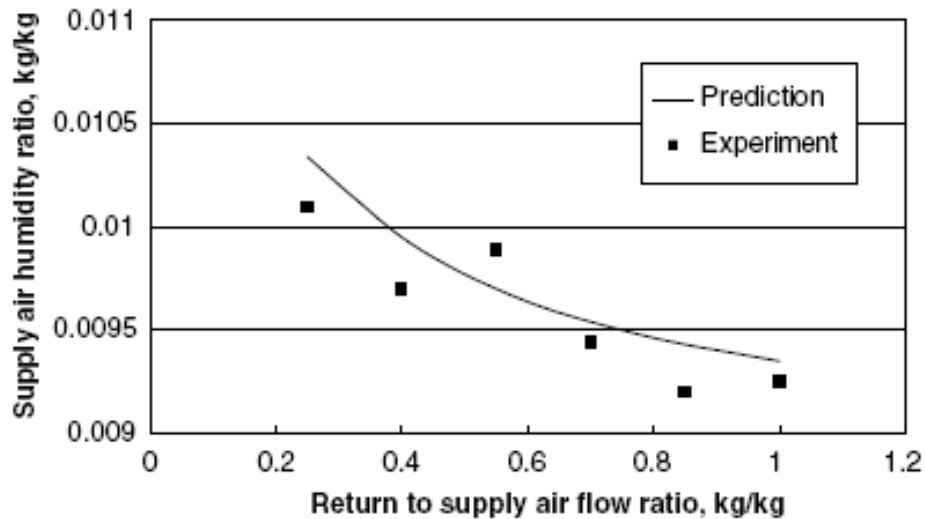
Διάγραμμα 28. Θερμοκρασία αέρα ανεφοδιασμού σε σχέση με την κατά βάρος συγκέντρωση desiccant



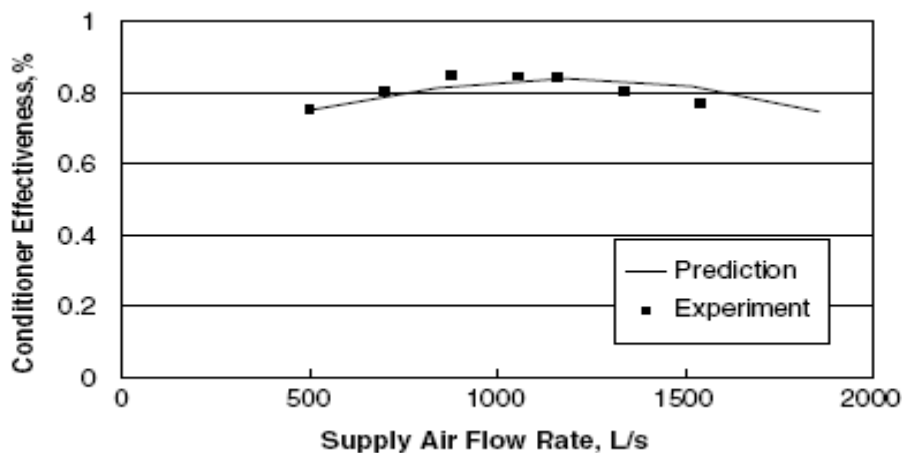
Διάγραμμα 29. Ποσοστό υγρασίας αέρα ανεφοδιασμού σε σχέση με την κατά βάρος συγκέντρωση



Διάγραμμα 30. Αποτελεσματικότητα conditioner ως λειτουργία του ποσοστού ροής αέρα ανεφοδιασμού.



Διάγραμμα 31. Η ικανότητα αφύγρανσης των conditioner ως λειτουργία του ρυθμού ροής του διαλύματος



Διάγραμμα 32. Θερμοκρασία αέρα ανεφοδιασμού σε σχέση με τον λόγο ροής αέρα του conditioner

Στο πρώτο μέρος των πειραμάτων ο απορροφητής δοκιμάστηκε μόνο με desiccant ψεκασμένο στον εξωτερικό αέρα ενώ τα μπεκ ψεκασμού νερού οι ανεμιστήρες επιστροφής και ο άμεσος ψύκτης εξάτμισης ήταν ανενεργοί. Το πείραμα έγινε για να εξετάσει την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα σε σχέση με την συμπύκνωση της περιεχόμενης υγρασίας του αέρα και της μείωσης της σχετικής υγρασίας του αέρα.

Στο δεύτερο set το σύστημα λειτουργησε με νερό και διάλυμα χλωριδίου του λιθίου ψεκαζόμενο στην επιστροφή και στον εξωτερικό αέρα, αντίστοιχα. Το πείραμα έγινε για να εξετάσει την επίδραση της αφύγρανσης και της έμμεσης ψύξης εξάτμισης στον αέρα εφοδιασμού.

Ακολουθώντας κάθε set πειραμάτων με ύγρο desiccant η συγκέντρωση του αραιού διαλύματος μετρήθηκε με μέτρο αγωγιμότητας το αδύνατο (εξασθεनिμένο) διάλυμα είναι συνεπώς συγκεντρωμένο στον ηλιακό αναγεννητή και το δυνατό desiccant επαναχρησιμοποιείται στο conditioner μετά απο πτώση της ψύξης εντός του συστήματος αναθέρμανσης. Εντός του κτιρίου υπάρχει ειδική κονσόλα ελέγχου για να παρακολουθείται η λειτουργία της μονάδας.

Αποτελέσματα test:

Μέτρηση ταχύτητας και ροής αέρα

Για να καθορίσουμε τη μέση ταχύτητα του αέρα και την ενέργεια που καταναλώνεται απο τους ανεμιστήρες , διενεργήθηκε μια σειρά πειραμάτων φυσώντας αέρα μέσω του συστήματος χωρίς να χρησιμοποιούν αέρα ή desiccant. Οι μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα προσδιορίζουν μια μέση ταχύτητα περίπου στα 3,75 m/s και τον ρυθμό ροής του αέρα περίπου στα 1500 λίτρα/ δευτ.

Για να καθοριστεί η επίδραση των φίλτρων αέρα στο ρυθμό ροής αέρα μέσω του συστήματος τα παραπάνω test επαναλαμβάνονται με ή χωρίς τα φίλτρα χρησιμοποιώντας κάλυμμα.

Σύμφωνα με τα πειράματα ο ρυθμός ροής του αέρα είναι περίπου 1400 λίτρα/δευτ. Τα φίλτρα χρειάζονται συντήρηση λόγω πτώσης της σχετικής πίεσης εντός του PPHE ιδιαίτερα σε περιοχές με πολύ σκόνη. Η κατανάλωση ενέργειας είναι σχεδόν γραμμική συνάρτηση της τάσης και έχει μέγιστη τιμή 2500W σε αντιστοιχία 220V.

Δοκιμή conditioner με υγρό desiccant

Σε αυτό το πείραμα με υγρό desiccant χρησιμοποιείται διάλυμα χλωριδίου του λιθίου με 43% κ.β. συγκέντρωσης στην μονάδα απορρόφησης. Για να μετρήσουμε την συγκέντρωση του αδύναμου υγρού desiccant που παίρνουμε απο κάθε πείραμα ένα δείγμα του ισχυρού διαλύματος αραιώνεται επαρκώς για να μειωθεί η αγωγιμότητα έτσι ώστε να είναι εντός της ακτίνας του μέτρου. Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές συγκέντρωσης με τον παράγοντα διάλυσης καθορίζονται οι κανονικές συγκεντρώσεις desiccant.

α) τεστ μόνο με desiccant

Με παροχή αέρα 1000 λίτρα /δευτ. και ενώ οι ανεμιστήρες καυσαερίων και αντλίες νερού στην πλευρά επιστροφής είναι ανενεργοί. Το ισχυρό διάλυμα desiccant ψεκάζεται στον εξωτερικό αέρα με ρυθμό 3λίτρα/λεπτό και μετριούνται η θερμοκρασία ξηρού βολβού και η σχετική υγρασία του αέρα. Βασικό σημείο της έρευνας αποτελούν οι τελικές συνθήκες αέρα με θερμοκρασία και σχετική υγρασία περίπου 36⁰C και 35% αντίστοιχα.

β) τεστ με με μεταβλητή ροή αέρα

Σε αυτό το test οι ανεμιστήρες επιστροφής λειτουργούν σε διάφορες ταχύτητες για να εξεταστεί η επίδραση της ψύξης αέρα στην απόδοση των conditioner. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 7 και 8, για ροή διαλύματος 3λίτρα/ λεπτό.

Αποτελεσματικότητα PPHE και αποδοτικότητα αφύγρανσης

Ο βαθμός απόδοσης της μονάδας απορροφητή είναι ένα μέτρο της πτώσης ενθαλπίας του εξωτερικού αέρα δια μέσου της μονάδας κοντά στη μέγιστη δυνατή. Ορίζεται ως
$$e = (h_{sup,in} - h_{sup,out}) / (h_{sup,in} - h_{sup,out})$$

Η τιμή του e εξαρτάται απο τις συνθήκες του αέρα και του διαλύματος εντός του PPHE καθώς επίσης και απο το υλικό του πιάτου εναλλάκτη θερμότητας

και του πάχους του. Η τιμή του h_{es} για διάλυμα LiCl είναι περίπου 33,2 kJ/kg. Τα αποτελέσματα δίνονται στο σχήμα 9 και συγκρίνονται με αυτά του προτύπου. Έτσι φαίνεται ότι υπάρχει βέλτιστη τιμή ρυθμού ροής αέρα περίπου 1000 λίτρα/δευτ στην οποία μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικότητα 82%. Ο ρυθμός ροής του διαλύματος ήταν 3λίτρα/λεπτό και η συγκέντρωση του αδύνατου διαλύματος 0,412 περίπου.

Ο βαθμός απόδοσης αφύγρανσης του απορροφητή είναι

$$\eta_d = (w_{sup,in} - w_{sup,out}) / (w_{sup,in} - w_{es}) \quad \text{όπου } w_{es} = 0,0045 \text{ kg moisture/kg dry air}$$

βαθμός απόδοσης αφύγρανσης σε σχέση με ροή διαλύματος φαίνεται στο σχήμα 1 γαι ροή αέρα 1000 λίτρα/δευτ περίπου.

Τέλος ο βαθμός απόδοσης εναλλάκτη μεταφοράς μάζας είναι

$$\xi_D = m_{sup}(w_{sup,in} - w_{sup,out}) / A \rho (w_{sup,in} - w_{es}) \approx 0,033 \text{ m/s}$$

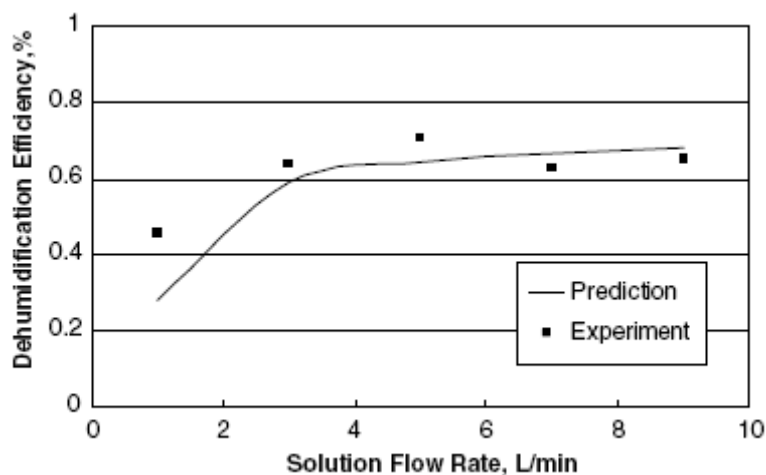
Η ολική ενέργεια που καταναλώθηκε είναι 2500W.

Συζήτηση για τα αποτελέσματα του test

Στα test με τη χρήση μόνο desiccant, αφύγρανση του αέρα είναι μια αδιαβατική διεργασία χωρίς ανταλλαγή θερμότητας. Ωστόσο σύμφωνα με το σχήμα 2 η θερμοκρασία ξηρού βολβού αέρα.

Τα αποτελέσματα απο τα tests με νερό και desiccant αποδεικνύουν μια ικανοποιητική απόδοση της μονάδας στον στενό έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα και της υγρασίας καθώς επίσης και της διατήρησης των συνθηκών αέρα εντός της ζώνης άνεσης μέσα στο κτίριο (25°C, 50% υγρασία). Επιπλέον παραπέρα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχουν βέλτιστες τιμές ρυθμού αέρα και διαλύματος στις οποίες η απόδοση του conditioner είναι εμπλουτισμένα.

Στα test με ρύθμιση της παροχής αέρα τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυξάνοντας τον λόγο του αέρα επιστροφής προς αυτόν της εισόδου, η απόδοση της μονάδας είναι εμπλουτισμένη. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση της παροχής του κρύου αέρα εντός του συστήματος ο οποίος ψύχει στιγμιαία του αέρα εισόδου και το διάλυμα desiccant.



Διάγραμμα 32. Αναλογία υγρασίας αέρα ανεφοδιασμού σε σχέση αναλογία ροής αέρα του conditioner

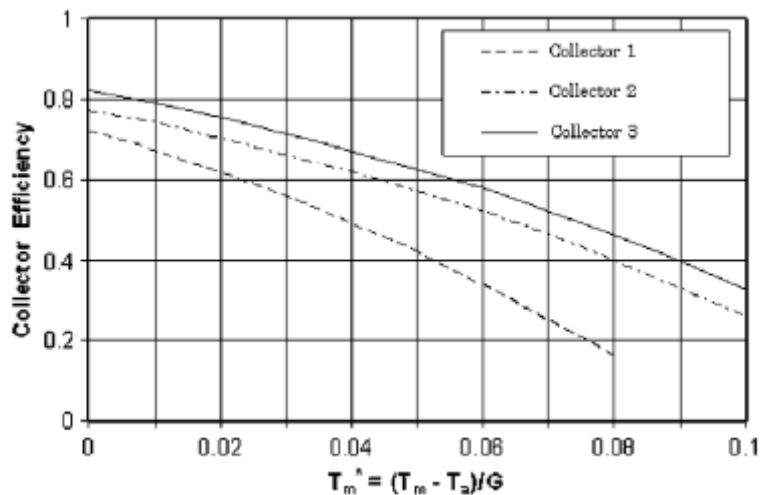
Αβεβαιότητα μετρήσεων

Για να ποσοτικοποιήσουμε το επίπεδο σιγουριάς για τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται στον πίνακα 1 οι πειραματικές του πρωτοτύπου. Τα πάγια λάθη υποτίθεται ότι υπολογίζονται βάσει του καλιμπραρίσματος με γνωστά standards. Και αφού το πείραμα έγινε κάτω απο πολλούς ανεξελέγκτως παράγοντες τα αποτελέσματα είναι αρκετά αποδεκτά.

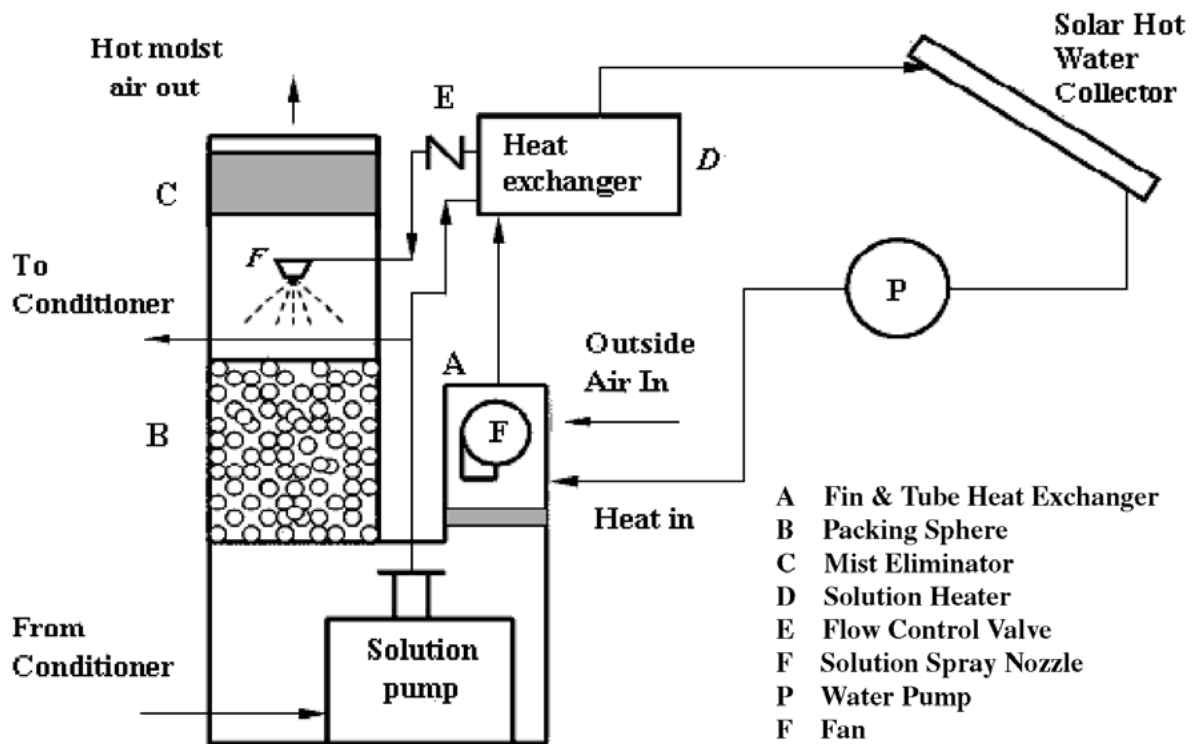
Conditioner performance parameters	Measured values	Precision errors	Uncertainty values (%)
Supply and return air flow rates (L/s)	1000	100	10
supply air temperature (°C)	15.2	1	6.7
supply air humidity ratio (kg/kg)	0.0094	0.0005	5.3
Return air temperature (°C)	22	1	4.5
Return air relative humidity (%)	95	4	4.2
Solution flow rate (L/min)	3	0.2	6.8
Exit solution concentration	0.412	0.008	2
Water flow rate (L/min)	6	0.4	6.8
Effectiveness (%)	82	5	6.1
Dehumidification efficiency (%)	72	5	7
Mass transfer coefficient (m/s)	0.0033	0.0003	9.1
Latent cooling (kW)	16.7	0.5	3.3
Sensible cooling (kW)	3.3	0.1	3.1
Total cooling (kW)	20	0.6	3
Electrical energy used (kW)	2.5	0.1	3.3
Electrical COP	6	0.2	2.8

II. Απόδοση του ηλιακού αναγεννητή

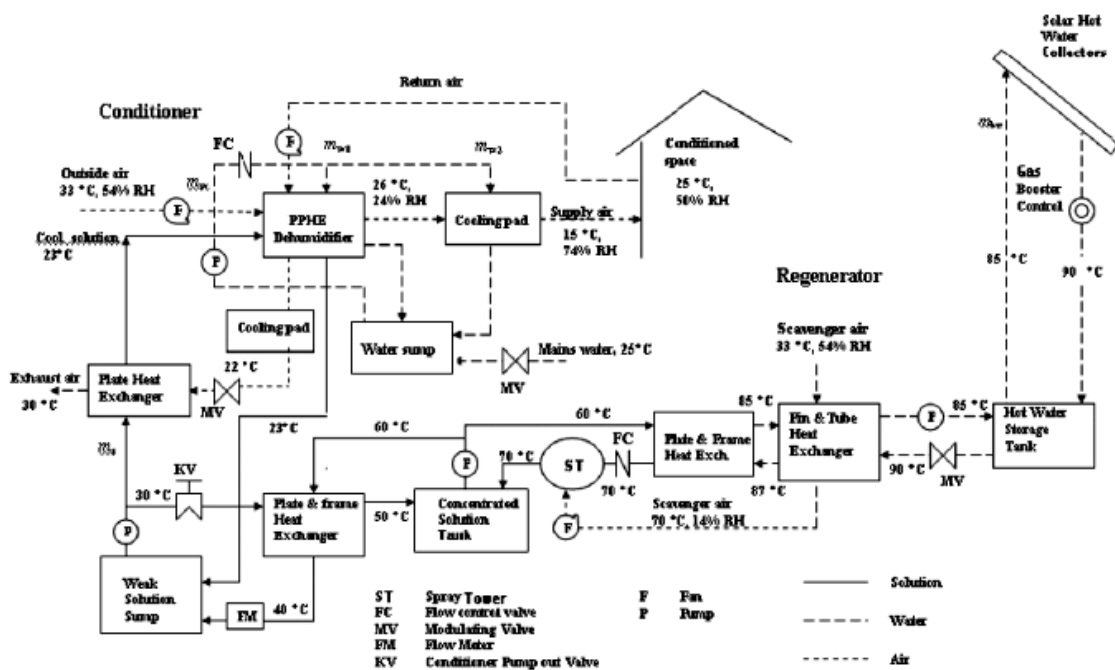
Επανενεργοποίηση του αραιού διαλύματος λαμβάνει χώρα μέσα σε ένα αναγεννητή αέρα απομάκρυνσης ανεπιθύμητων σωματιδίων χρησιμοποιώντας ζεστό νερό από ηλιακούς συλλέκτες. Οι συλλέκτες είναι τοποθετημένοι στην οροφή του κτιρίου προς βορρά με γωνία 10° επιφάνεια 20m^2 και χωρητικότητα δεξαμενής διαλύματος 180 λίτρα. Ο αέρας καθαρισμού και το ασθενές διάλυμα προθερμαίνονται μέσα στον αναγεννητή. Επίσης σημειώνεται ότι το διάλυμα LiCl μπορεί να συμπυκνωθεί χρησιμοποιώντας θερμότητα αποβλήτων ή ηλιακής ενέργειας σε θερμοκρασίες όπως αυτή των 40°C . Το σχήμα 11 δείχνει 3 τύπους ηλιακών συλλεκτών. Ισχύει ότι $T_m^* = (T_m - T_a)/G$ όπως T_m είναι η θερμοκρασία ρευστού στον συλλέκτη, T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η G η ηλιακή ακτινοβολία με max τιμή $800\text{W}/\text{m}^2$ για καλοκαίρι.



Διάγραμμα 33. Απόδοση συλλεκτών σε σχέση με την διαφορά θερμοκρασίας



Σχήμα 18. Σχηματική αναπαράσταση του ηλιακού αναγεννητή ιονιστή αέρα



Σχήμα 19. Το διάγραμμα ροής απόδοσης του ηλιακού LDAC που παρουσιάζει συστήματα ελέγχου για το conditioner και τον αναγεννητή, που χρησιμοποιούν τους όρους θερινού σχεδιασμού στο Brisbane.

Μέσα στην μονάδα το αραιό διάλυμα ψεκάζεται πάνω σε μια στήλη διαστρωματικών πακέτων. Πολυμερή δαχτυλίδια ή σφαίρες χρησιμοποιούν

στη στήλη για να αυξάνεται η επιφάνεια επαφής έτσι ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία. Ένα ρεύμα εξωτερικού αέρα περνά διαμέσου της στήλης χρησιμοποιώντας ανεμιστήρα σε αντίθετη φορά έτσι ώστε να μεταφέρει το νερό που εξατμίζεται απο το διάλυμα και ο ζεστός υγρός αέρας αποβάλλεται απο την οροφή της στήλης. Ένας διαχωριστής τοποθετημένος στην οροφή αποτρέπει την μεταφορά των κομματιών desiccant.

Για αποτελεσματική επανενεργοποίηση του ασθενούς διαλύματος ο καθαριστής αέρος (ιονιστής) και το ασθενές διάλυμα θερμαίνονται στους 70°C. Το ζεστό ισχυρό διάλυμα είτε αποθηκεύεται είτε μετατρέπεται μέσω μιας συστηματικής ανάκτησης θερμότητας και αναμειγνύεται με το κρύο ασθενές διάλυμα απο τον PPHE. Για αποτελεσματική αφύγρανση και ψύξη εντός του απορροφητή το ισχυρό διάλυμα ψύχεται ακόμη πιο κάτω στους 23°C χρησιμοποιώντας τον αέρα που αποβάλλεται στην επιστροφή απο το conditioner.

Η μέση κατανάλωση ηλιακής ενέργειας ορίζεται περίπου στα 1000 W. Συνέπώς η ολική ηλιακή ενέργεια που χρησιμοποιείται απο την ηλιακή LDAC είναι περίπου 3,5 kW με ηλιακό COP~0,6.

Συγκεκριμένα με τον ιονιστή αναγέννησης (COP~0,65). Ένας πολύ πιο αποδοτικός αναγεννητής(COP~1,25) μπορεί να φτιαχτεί προσθέτωντας ένα ατμοσφαιρικό boiler στον ιονιστή. Ο ατμός από το boiler (100°C) δείχνει την θερμική ενέργεια στον ιονιστή. Χρησιμοποιείται για να θερμάνει ένα δευτερεύων τμήμα ζεστού νερού άμεσης επαφής μεταξύ boiler και ιονιστή. Ένας περιστροφικός διαχωριστής στην έξοδο των boiler απομακρύνει όλα τα υπολείματα desiccant απο τον ατμό.

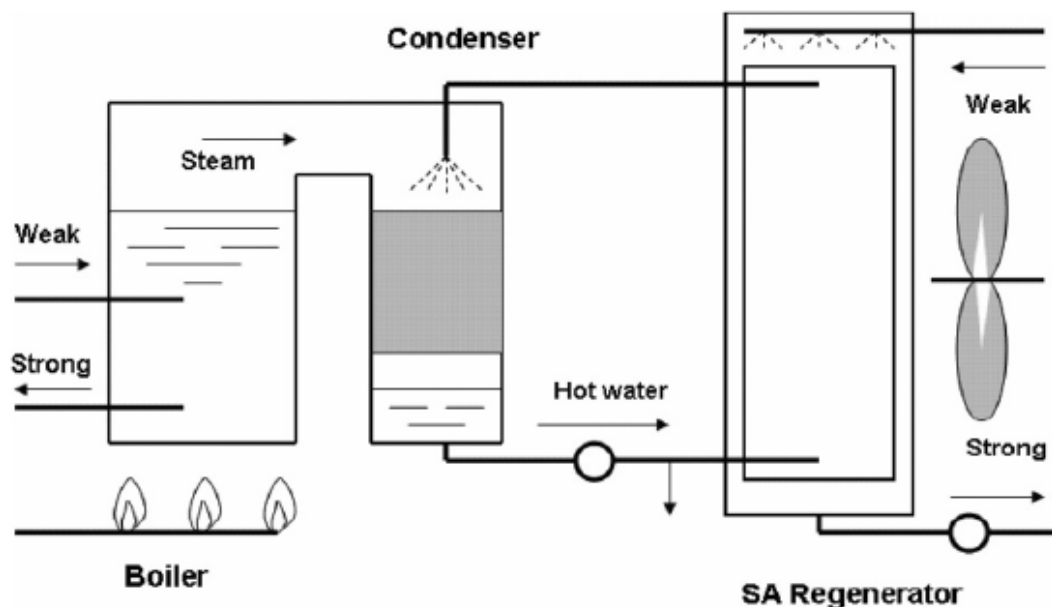
III. Εφαρμογή στην βιομηχανία HVAC

Για να γίνει η εφαρμογή της τεχνολογίας υγρού desiccant στην αγορά HVAC πρέπει να εξαιρεθεί η μεταφορά του desiccant μέσα στον απορροφητή. Ένα πορώδες μέσο σε επαφή το οποίο είναι πλημμυρισμένο με το διάλυμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό τον σκοπό. Ο αέρας περνά διαμέσω των στρωμάτων και ξηραίνεται και ψύχεται όταν έρχεται σε επαφή με το desiccant. Χωρίς αυτό το στρώμα ο αέρας θα δημιουργήσει σταγονίδια

desiccant όπως διαπερνά την μονάδα και αυτά θα πρέπει να απομακρυνθούν από φίλτρα.

Μια άλλη εκδοχή είναι το σύστημα DICER (dual indirect cycle energy recovery) που χρησιμοποιείται για έμμεση αφύγρανση στην οποία ο αέρας δεν έρχεται σε επαφή με το desiccant. Το καινοτόμο στοιχείο χρησιμοποιούμενο σε διπλό κύκλο είναι να μειωθεί η θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα που απορρίπτεται στον PPHE κάτω από το σημείο δρόσου του αέρα με το να ψύχει και να αφυγραίνει του αέρα.

Ένα δεύτερο σημαντικό κομμάτι είναι εφαρμογές που έχουν υψηλά λανθάνοντα φορτία. Οι LDAC έχουν σοβαρό πλεονέκτημα εδώ γιατί αντίθετα προς την τεχνολογία συμπιεστή ατμού η οποία ξηραίνει τον αέρα ψύχοντας τον, κάτω από το σημείο δρόσου. Οι LDAC μπορεί να ξηραίνει αέρα χωρίς υπερ-ψύξη. Τα υψηλά λανθάνοντα φορτία καλύπτονται χωρίς επαναθέρμανση και η θερμοκρασία και υγρασία μπορούν να ελέγχονται εντός του κτιρίου.



Σχήμα 20. Σχηματικό διάγραμμα του αναγεννητή επίδρασης 1-1/2 (Lowenstein, 2004)

IV. Συμπεράσματα

Μελετήθηκε η απόδοση ενός ηλιακού LDAC με PPHE διασταυρούμενης ροής για αφύγρανση-ψύξη και ιονιστή αναγέννησης για συμπύκνωση του

αραιού διαλύματος. Βρέθηκε ότι η παραπάνω μέθοδος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος αφύγρανσης-ψύξης σε ζεστά και υγρά κλίματα και ότι η λειτουργία του LDAC είναι βέλτιστη με τη χρήση αέρα και διαλύματος παροχής 1000 λιτρα/δευτ και 3λιτρα/λεπτό αντίστοιχα. Η μη μεταφορά σωματιδίων του διαλύματος εντός του απορροφητή επιτυγχάνεται με τα πλαίσια ψύξης που λειτουργούν τόσο ως φίλτρα όσο και ως άμεσοι ψύκτες του αέρα. Χρησιμοποιούνται την έμμεση ψύξη όπου ο αέρας δεν έρχεται σε επαφή με το διάλυμα η μονάδα μπορεί να παράγει πόσιμο νερό απο τον τομέα σε απομακρυσμένη περιοχή. Αυτό το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανθρώπινη κατανάλωση ή για επιστροφή στο conditioner για ψύξη με εξάτμιση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ηλιακός LDAC έχει μια ικανοποιητική απόδοση στον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας για ένα κτίριο 120τ.μ. στο Brisbane. Τα αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με προηγούμενα μοντέλα για το PPHE και ότι η μονάδα έχει αποτελεσματικότητα 82% όταν χρησιμοποιεί υγρό desiccant. Η κατανάλωση ηλιακής ενέργειας είναι 3,5kW και ο ECOP~6. Η επανενεργοποίηση γίνεται εντός ενός ιονιστή με ζεστό νερό απο ηλιακό συλλέκτη με δεξαμενή υγρού desiccant 180lit έτσι ώστε να λειτουργεί συνέχεια για μια ώρα χωρίς διακοπές ή backup αερίου.

3.5.3. Ανάλυση της απόδοσης ενός ανοιχτού κύκλου ψυκτικού συστήματος υγρού desiccant που χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για αναγέννηση.

Μια απο τις πιο πολλά υποσχόμενες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας φαίνεται ότι είναι η ψύξη των κτιρίων. Σε μέρη όπου η θερμοκρασία και η υγρασία είναι υψηλές κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών , ψυκτικά συστήματα που βασίζονται στη χημική αφύγρανση με αδιαβατική εξατμιστική ψύξη φαίνεται να αδίνουν τη λύση.

Ο αέρας μπορεί να αφυγρανθεί όταν εκτίθεται σε υγρά desiccants. Στα συστήματα με υγρά desiccants, ο υγρός αέρας περνά διαμέσου μια ψυκτικής σερπαντίνας ή ένα πύργο διαστρωματομένο και διαποτισμένο απο υγρό desiccant. Σε κάθε δεδομένη θερμοκρασία το desiccant έχει χαμηλότερη πίεση εξάτμισης απο το ίδιο το νερό και άρα η υγρασία μεταφέρεται απο τον

αέρα στο desiccant. Στις απλές μονάδες το desiccant ψεκάζεται μέσω ενός θερμαντή στο ρεύμα αέρα αναγέννησης. Ο αέρας αναγέννησης παίρνει μακριά τον ατμό του νερού από το ζεστό desiccant άρα το επανασυμπυκνωμένο desiccant μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.

I. Ψυκτικό σύστημα ανοιχτού κύκλου υγρού desiccant

Το σύστημα φαίνεται στο σχήμα 1. Το χλωρίδιο του ασβεστίου επιλέγεται για desiccant υλικό. Ο περιβάλλον αέρας με ένα μεγαλύτερο ποσό ατμού μερικής πίεσης έρχεται σε επαφή με κρύο ισχυρό διάλυμα χλωρίου του ασβεστίου το οποίο διαχέεται στον αφυγραντή όπου η τάση για εξισορρόπηση των ατμοσφαιρικών πιέσεων θα οδηγήσει στην απορρόφηση του υδρατμού από τον αέρα. Υπάρχουν 3 μορφές υγρού desiccant.

i) θάλαμος ψεκασμού ii) πύργος πακέτων iii) σπείρα ψεκασμού

Για να παρέχουμε αισθητή ψύξη επιπλέον και αφύγρανση ένα εξωτερικά ψυχόμενο κρύο υγρό μπορεί να τροφοδοτήσει τον αφυγραντή. Ωστόσο πλέον η υγρασία προστίθεται στον αέρα βγαίνοντας από τον αφυγραντή έτσι ώστε να χαμηλώσουμε τη θερμοκρασία του με αδιαβατικό κορεσμό πριν από το χώρο που θα κλιματιστεί και αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.

Το desiccant που απορροφά υγρασία από τον αέρα στον αφυγραντή εξασθενίζει οπότε πρέπει να επαναενεργοποιηθεί. Η αναγέννηση γίνεται με κάποιον από τους παραπάνω 3 τρόπους ανάλογα με τα συστατικά μέσα στον αφυγραντή. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αποδοθεί θερμότητα για την αναγέννηση. Επιπροσθέτως η αναγέννηση μπορεί να επιτευχθεί εκθέτωντας ένα desiccant film σε ηλιακή ακτινοβολία στο περιβάλλον. Αυτό το σύστημα είναι γνωστό ως ανοικτός κύκλος αναγέννησης.

Το ανοιχτό κύκλωμα αναγέννησης στηρίζεται σε μια επίπεδη μαυρισμένη υπό κλίση επιφάνεια στην οποία επάνω το εξασθενημένο desiccant υλικό επιπλεεί σαν λεπτό στρώμα ενώ θερμαίνεται από την ηλιακή ενέργεια που απορροφά η επιφάνεια. Αν η πίεση των ατμών του εξασθενημένου desiccant υπερβεί αυτή του νερού στην ατμόσφαιρα λαμβάνει μέρος μεταφορά από το desiccant στον αέρα. Η μεταφορά ενέργειας από το desiccant στο περιβάλλον πετυχαίνεται με μεταγωγή θερμότητας ακτινοβολία και αγωγιμότητα επιπλέον της εξάτμισης.

Ανάλυση του συστήματος :

Η αφύγρανση εμπεριέχει στιγμιαία μεταφορά μάζας και θερμότητας. Κατά την αφύγρανση η υγρασία απο τον αέρα μεταφέρεται στο desiccant. Για αυτό τον λόγο η αποτελεσματικότητα της αφύγρανσης μπορεί να προσδιοριστεί ως ο λόγος της πραγματικής αλλαγής ενθαλπίας του αέρα προς την μέγιστη πιθανή αλλαγή.

$$\varepsilon_{de} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3} \quad (1)$$

$$Q = G_a \varepsilon_{de} (h_1 - h_3) \quad (2)$$

$$Q = G_a \varepsilon_{de} C_a (t_1 - t_3) + G_a \varepsilon_{de} h_{fg} (w_1 - w_3) \quad (3)$$

$$Q = G_a \varepsilon_{de} C_a (t_1 - t_3) + G_a \varepsilon_{de} y (P_1 - P_3) \quad (4)$$

όπου $y = \frac{0.622 h_{fg}}{P_b}$

$$G_a \varepsilon_{de} y (P_1 - P_3) = m h_{fg} \quad (5)$$

$$Q = G_{s,dc} C_s (t_4 - t_3) \quad (6)$$

$$P_3 = a + b t_3 + \frac{c}{\xi_3} \quad (7)$$

$$t_3 = \frac{1}{b} \left(P_1 - \frac{m h_{fg}}{y G_a \varepsilon_{de}} - a - \frac{c}{\xi_3} \right) \quad (8)$$

$$t_4 = t_3 + \frac{G_a C_a \varepsilon_{de} (t_1 - t_3) + m h_{fg}}{G_{s,dc} C_s} \quad (9)$$

Το εξασθενιμένο desiccant που φεύγει απο τον αφυγραντή πιέζεται προς ένα ανοικτό ηλιακό αναγεννητή αφού περάσει μέσα απο ένα εναλλάκτη θερμότητας (διάλυμα-διάλυμα) όπου προθερμαίνεται απο το ισχυρό desiccant.

$$G_{s,reg}(t_5 - t_4) = G_{s,dc}(t_6 - t_7) \quad (10)$$

$$\varepsilon_{ex} = \frac{t_7 - t_3}{t_7 - t_8} \quad (11)$$

$$t_5 = t_4 + \frac{G_{s,dc}}{G_{s,reg}} \left(t_6 - \frac{\varepsilon_{ex} t_8 - t_3}{\varepsilon_{ex} - 1} \right) \quad (12)$$

$$I(1 - \rho)\alpha A - U_L A(t_6 - t_\infty) - 2G_{s,reg}C_s(t_6 - t_5) - mh_{fg} = 0 \quad (13)$$

$$m = \beta A(P_6 - P_\infty) \quad (14)$$

$$P_6 = a' + b't_6 + \frac{c'}{\xi_6} \quad (15)$$

$$t_6 = \frac{1}{b'} \left(\frac{m}{\beta A} + P_\infty - a' - \frac{c'}{\xi_6} \right) \quad (16)$$

$$m = \frac{I(1 - \rho)\alpha A - U_L A(M - t_\infty) - 2G_{s,reg}C_s \left[M(1 - E) + E \left(\frac{t_{ex} t_8 - N}{t_{ex} - 1} \right) - R(t_2 - N) - N \right]}{\frac{U_L}{h'\beta} + h_{fg} + 2G_{s,reg}C_s \left[\frac{1 - E}{h'\beta A} - \frac{h_{fg}}{G_{s,dc}C_s} + \frac{h_{fg}}{h'G_{s,dc}} \left(\frac{E}{t_{ex} - 1} - R + 1 \right) \right]} \quad (17)$$

ΌΤΟΥ ,

$$M = \frac{1}{b'} \left(P_\infty - a' - \frac{c'}{\xi_6} \right)$$

$$N = \frac{1}{b'} \left(P_1 - a - \frac{c}{\xi_3} \right)$$

$$\xi_3 = \xi_6$$

$$E = \frac{G_{s,dc}}{G_{s,reg}}$$

$$R = \frac{G_a C_a \varepsilon_{dc}}{G_{s,dc} C_s}$$

$$Q_r = G_a(h_r - h_2) \quad (18)$$

$$Q = G_a(h_1 - h_2) \quad (19)$$

$$\frac{Q_r}{G_a} = q_r = \frac{Q}{G_a} - (h_1 - h_r) \quad (20)$$

$$q_r = C_a \varepsilon_{de}(t_1 - N) - (h_1 - h_r) + \left(\frac{C_a}{h_v} + 1 \right) \frac{m \dot{h}_{fg}}{G_a} \quad (21)$$

II. Αποτελέσματα και συζήτηση

Για το εύρος των συνθηκών λειτουργίας θεωρούνται ότι οι παρακάτω παράμετροι έχουν βρεθεί να είναι:

$$a=-68.61, b=1.09, c=2046.7 \text{ και } a'=-83.5, b'=1,17, c'=2468.1$$

Οι επόμενες τιμές είναι σταθερές για λόγους υπολογισμών. Η τιμή κατά την ατμοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας της υγρασίας είναι $2551,6 \text{ KJ kg}^{-1}$. Οι συνθήκες δωματίου είναι 27°C και η απόλυτη υγρασία είναι $0,011 \text{ kg}$ ανα kg ξηρού αέρα. Ο βαθμός απόδοσης του αφυγραντή είναι $0,8$. Οι συνθήκες του αέρα $G_a = 10 \text{ kg h}^{-1}$, $C_a = 1.0 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Οι desiccant βαθμοί απόδοσης είναι $G_{s,de} = G_{s,reg} = 10 \text{ kg h}^{-1}$, $C_s = 2.6 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Η περιοχή αναγέννησης είναι 1.0 m^2 , $(1-\rho)\alpha=0.9$, $U_L=86.9 \text{ kJ h}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ για ταχύτητα ανέμου 6 m s^{-1} . Η μεταφορά της θερμότητας από τον χώρο που θα κλιματιστεί σε σχέση με τις αλλαγές της πίεσης του αέρα φαίνονται στο σχήμα 3.

Για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία εισόδου ενώ η πίεση των ατμών του νερού στον αέρα αυξάνεται το ποσό θερμότητας που φεύγει από τον χώρο αυξάνεται. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να εξηγηθεί χρησιμοποιώντας τον ορισμό της αποδοτικότητας του αφυγραντή όπως δίνεται στην εξίσωση 1. Στην είσοδο του αφυγραντή του ξηρού αέρα (10 mm Hg) η ενθαλπία (h_1) είναι μικρότερη από αυτή του υγρού αέρα (18 mm Hg). Από την εξίσωση 1 δίνεται ότι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αφύγρανσης η διαφορά ενθαλπίας ($h_1 - h_2$) για συνθήκες υγρού αέρα είναι μεγαλύτερο από ότι για ξηρό αέρα.

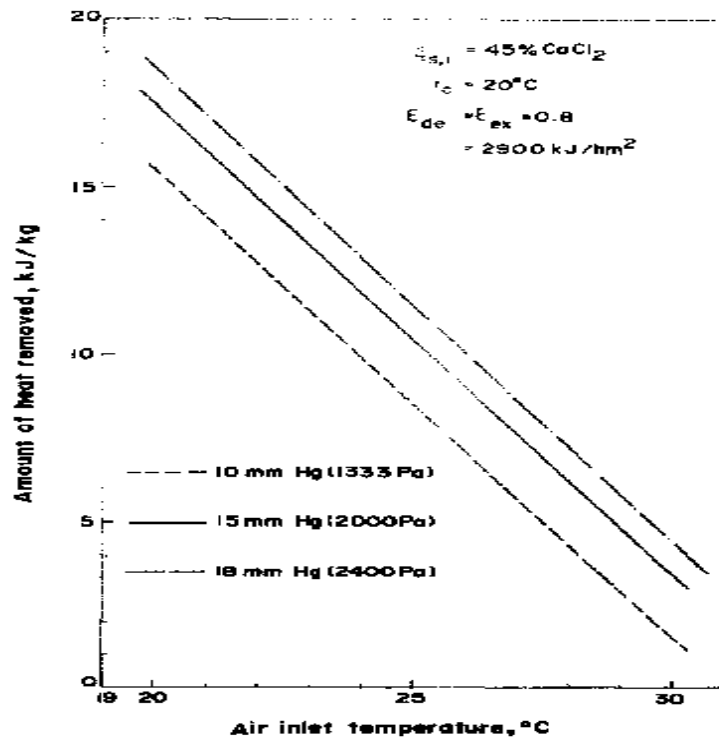
Η επίδραση του κρύου νερού από τον πύργο ψύξης στην απόδοση του συστήματος φαίνεται στο σχήμα 4. Όσο η θερμότητα του κρύου νερού αυξάνεται το ποσό θερμότητας που φεύγει από τον χώρο μειώνεται. Αυτό γίνεται διότι το χαμηλής θερμότητας νερό ψύξης κρατάει την θερμοκρασία του desiccant χαμηλή στον αφυγραντή ο οποίος αυξάνει την ικανότητα για μεταφορά μάζας από τον αέρα στο desiccant και επομένως αφαιρεί ένα μεγάλο ποσό θερμότητας από τον αέρα.

Η επίδραση της ηλιακής έκθεσης στην απόδοση του ψυκτικού συστήματος δίνεται στο σχήμα 5. Όσο αυτή αυξάνεται το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από το χώρο μειώνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνει η ηλιακή έκθεση η δυνατή desiccant desiccant θερμοκρασία επίσης αυξάνει. Η επίδραση της desiccant συγκέντρωσης στην είσοδο του αποξηραντή στην αφαίρεση της θερμότητας παρουσιάζεται στο *σχήμα 6*. Όσο η desiccant συγκέντρωσης αυξάνεται, το ποσό θερμότητας που αφαιρείται από τις διαστημικές επίσης αυξάνεται.

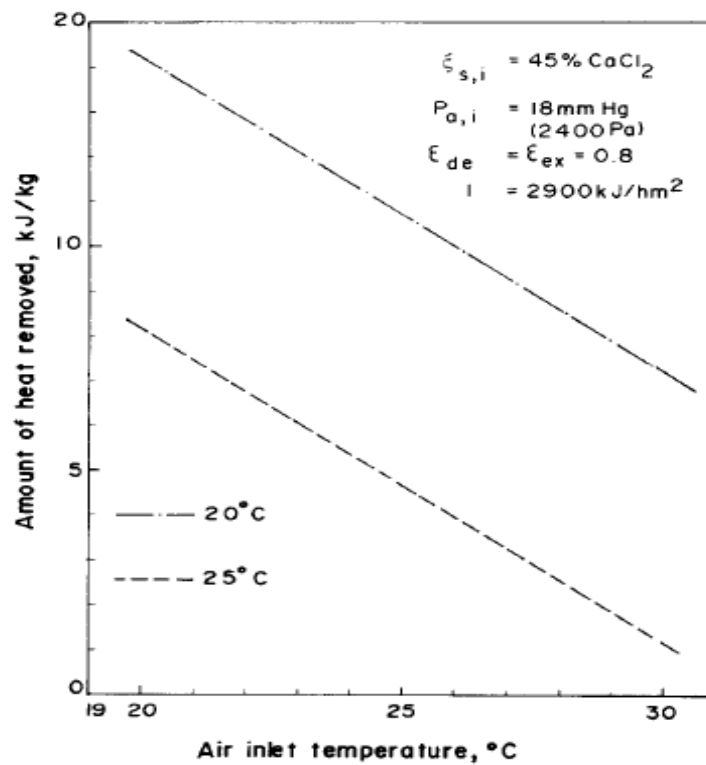
III. Συμπεράσματα

Για ένα ψυκτικό σύστημα ανοιχτού κύκλου υγρού desiccant φαίνεται τελικά ότι μπορεί να προβλεφθεί το ποσό θερμότητας που φεύγει από τον χώρο για να κλιματιστεί για τον αερισμό υπό γνωστές συνθήκες και μέσω ενός απλοποιημένου συσχετισμού των πιέσεων ατμών.

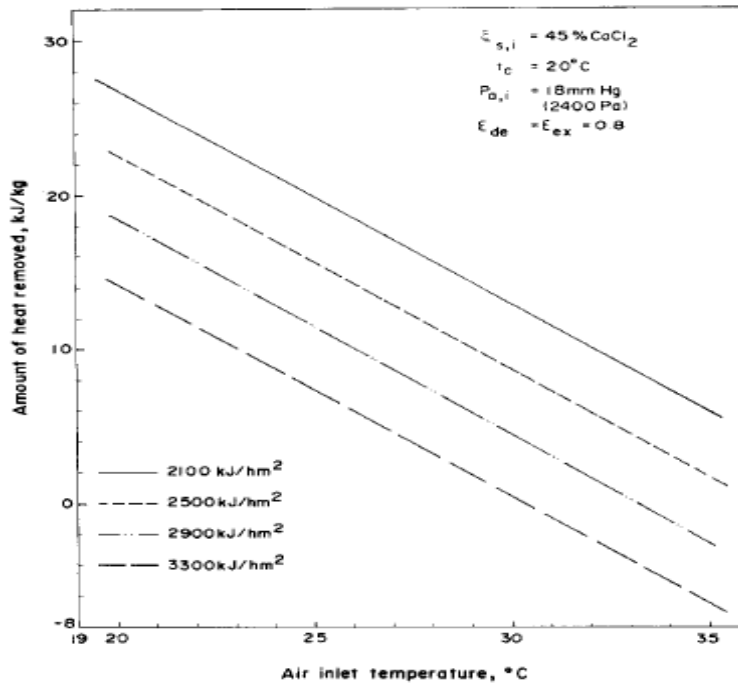
Ένα αριθμητικό μοντέλο έχει ανακαλυφθεί και βρέθηκε ότι οι συνθήκες εισόδου του αέρα η θερμοκρασία του ψυχρού νερού η ηλιακές συνθήκες και η συγκέντρωση του desiccant έχουν μεγάλη βαρύτητα στην επιρροή της στην απόδοση του ψυκτικού συστήματος.



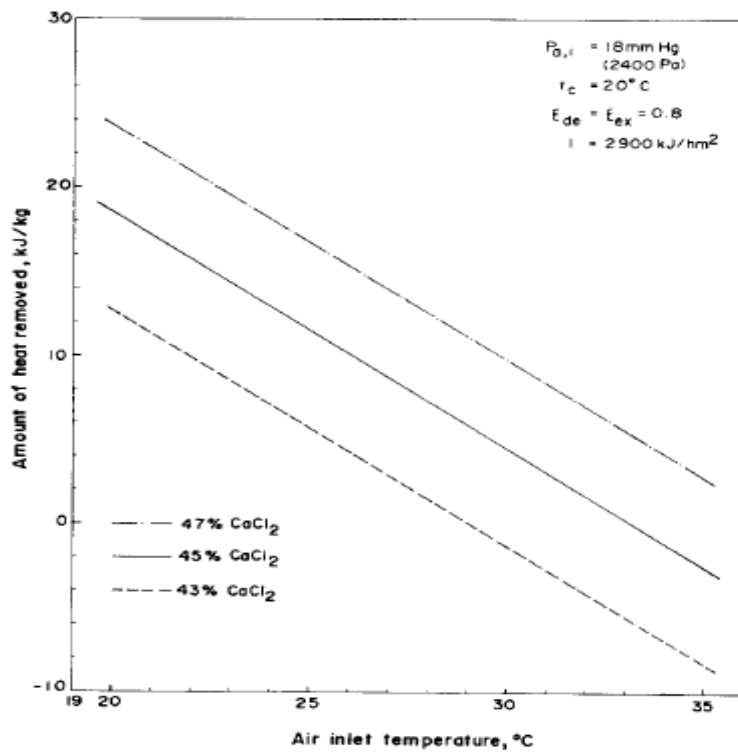
Διάγραμμα 34. Επίδραση των συνθηκών εισόδου του αέρα στην απόδοση συστημάτων



Διάγραμμα 35. Επίδραση της θερμοκρασίας νερού ψύξης στην απόδοση συστημάτων



Διάγραμμα 36. Επίδραση της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία στην απόδοση συστημάτων



Διάγραμμα 37. Επίδραση της desiccant συγκέντρωσης στην είσοδο του αποξηραντή

4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ DESICCANT ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

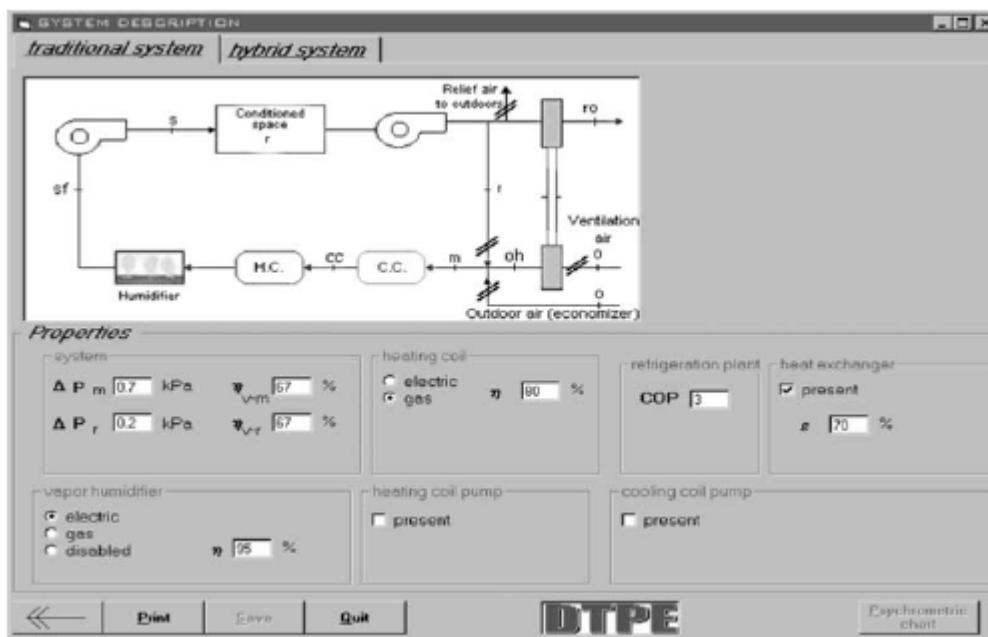
4.1. Desiccant συστήματα HVAC σε κτίρια εμπορικής χρήσης

Η χημική αφύγρανση έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, στους βιομηχανικούς και στρατιωτικούς τομείς, στους χώρους διατήρησης πάγου και στα περιβάλλοντα υψηλών λανθανόντων φορτίων (supermarkets). Σήμερα έχει παρουσιαστεί η ευκολία στην επέκταση αυτής της τεχνικής στους εμπορικούς και κατοικημένους τομείς, ενσωμάτωση του με τα παραδοσιακά και καινοτόμα συστήματα HVAC.

Στην πραγματικότητα, τα συστήματα κλιματισμού που βασίζονται σε χημικό dehumidification χαρακτηρίζονται από την υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα και τη χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση (μειωμένες απαιτήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας και των ρευστών ψυκτικών ουσιών CFCs και HCFCs). Επιπλέον, μπορούν να αποδειχθούν κερδοφόρα εάν συγκρίνεται με τα συμβατικά συστήματα HVAC και επίσης επιτρέπουν καλύτερη εσωτερική θερμική άνεση και ποιότητα αέρα. Το desiccant υλικό μπορεί να είναι στερεό ή υγρό. Στερεά desiccants που παρεμβλήθηκαν σε έναν περιστροφικό ανταλλάκτη θερμότητας, καλούνται DW (desiccant wheel) , χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα στις εφαρμογές HVAC. Παρακάτω αναλύονται τα συστήματα κλιματισμού με DW. Οι θερινές λειτουργικές δαπάνες των desiccant και παραδοσιακών συστημάτων καταγράφονται χρησιμοποιώντας τρεις κώδικες λογισμικού. Δύο βασίζονται στη μηχανή υπολογισμού DOE (PowerDOE και DesiCalce), και ένα (DTPE) που είναι ένας αυτόνομα αναπτυγμένος κώδικας, βασισμένος σε μια υποδιαίρεση του ψυχομετρικού διαγράμματος σε ζώνες, καθένα που αντιστοιχεί σε έναν διαφορετικό χειρισμό αέρα.

Θερμοδυναμική ανάλυση

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σύγκριση που αναφέρεται μόνο στις θερινές λειτουργικές δαπάνες, μεταξύ του παραδοσιακού συστήματος με CC(Cooling Coil) dehumidification και των συστημάτων κλιματισμού με DW ενός σταδίου. Η σύγκριση έχει πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας DTPE(desiccant technology performance evaluation) και δύο εμπορικά διαθέσιμους κώδικες λογισμικού, DOE 2,2 και DesiCalc. Ο υπολογισμός υποθέτει ότι τα ωριαία καιρικά στοιχεία που εξάγονται από το ευρωπαϊκό αρχείο που ονομάζεται TRY. Το ιταλικό έδαφος υποδιαιρείται σε 10 περίπου ομοιογενείς κλιματολογικές περιοχές, και για κάθε μια από αυτές παρέχονται ανά μία ώρα οι τιμές TDB και rh. Κατόπιν τα δεδομένα του TRY ,οι ιδιότητες (TDB, rh), προκύπτουν από τον υπολογισμό των ωριαίων τιμών του h, του ω, T_{WB} , T_{DP} και της πυκνότητας. Το DTPE έχει αναπτυχθεί σε Visual Basic, με απλά πλαίσια input και output(σχ.. 1 και 2(α)). Για τους τρεις κώδικες είναι δυνατό να παρεμβληθούν τα στοιχεία τιμών ενέργειας με την πλήρη πρόσβαση χρηστών.



Σχήμα 1. Πλαίσιο εισόδου του λογισμικού DTPE για TS

Η διαμόρφωση TS που εξετάζεται στους τρεις κώδικες φαίνεται στο σχήμα 1. Το desiccant σύστημα που εφαρμόζεται σε DTPE, σχεδόν ίσο με έναν από εκείνα που προτείνονται σε DesiCalc, αναφέρεται στο σχήμα 2 (α) και ονομάζεται, DWHS (desiccant wheel hybrid system). Το desiccant σύστημα του DesiCalc (μετα-ψυκτικός εναλλάκτης αισθητής θερμότητας αέρα ανακούφισης, αλλά εδώ δοσμένος ως DWHS) αναφέρεται στο σχήμα 2 (β). Το σύστημα PTGSD (packaged total gas solid desiccant system), σχήμα 2 (γ), είναι ένα από τα desiccant συστήματα ψύξης που εφαρμόζονται σε PowerDOE: αυτό είναι ένα νέο σύστημα που καταναλώνει κυρίως αέριο για να παρέχει τη θέρμανση και την ψύξη. Είναι μια μικρή (ποσοστό ροής αέρα: περίπου 3000–6000 m/h) συσκευασμένη μονάδα που χρησιμοποιεί ένα DW από κοινού με την άμεση και έμμεση εξατμιστική ψύξη, αντί των συνηθισμένων σπειρών άμεσης επέκτασης. Το σύστημα είναι ένα μεταβλητό σύστημα όγκου αέρα, έτσι η θερμοκρασία αέρα ζώνης ελέγχεται από το ποικίλο ποσοστό ροής αέρα ανεφοδιασμού. Η μονάδα μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορους τρόπους: ο συχνότερος (εξωτερικός αέρας 100%) αναφέρεται στο σχήμα 2 (γ). Στο διάγραμμα 3 ποιοτικές παραδοχές αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη αναφέρονται και για τον παραδοσιακό και για τα desiccant συστήματα για τυπικές θερινές συνθήκες στην Ιταλία.

Οι ακόλουθες υποθέσεις, κοινές για τους τρεις κώδικες, εξετάζονται:

1. εξωτερικές συνθήκες για κάθε περιοχή: ASHRAE DB1%–MCWB
2. εσωτερικές συνθήκες σχεδίου:

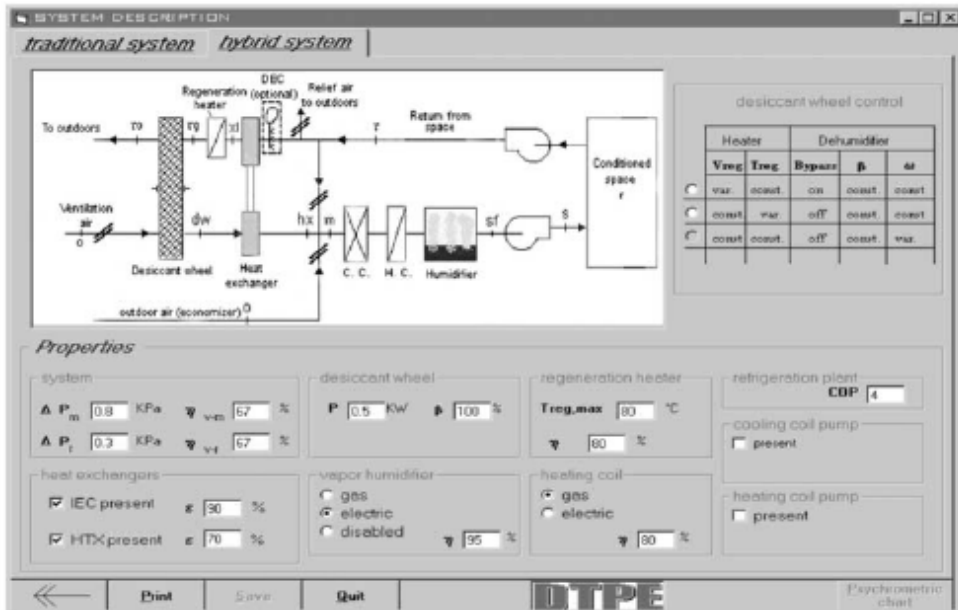
για το παραδοσιακό και υβριδικό σύστημα Desicalc: $T_{DB,r} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH_r = 45\text{--}55\%$,

για το παραδοσιακό σύστημα DOE: $T_{DB,r} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH_r = 45\text{--}55\%$ για

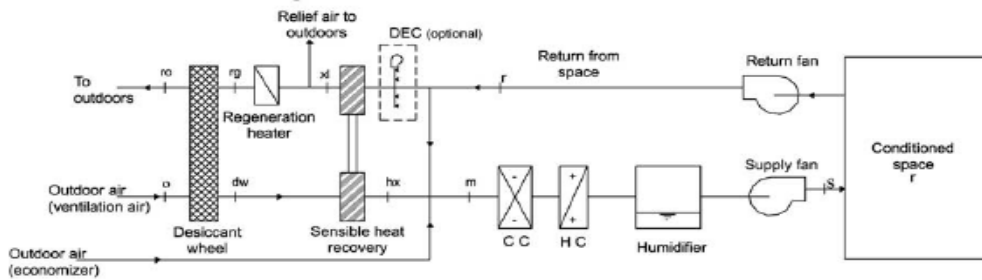
το DOE–PTGSD, $T_{DB,r} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH_{r,max} = 55\%$ (δεν είναι δυνατό να

οριστεί $RH_{r,min}$) για το παραδοσιακό και υβριδικό σύστημα DTPE: $T_{DB,r} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $RH_r = 50\text{--}55\%$

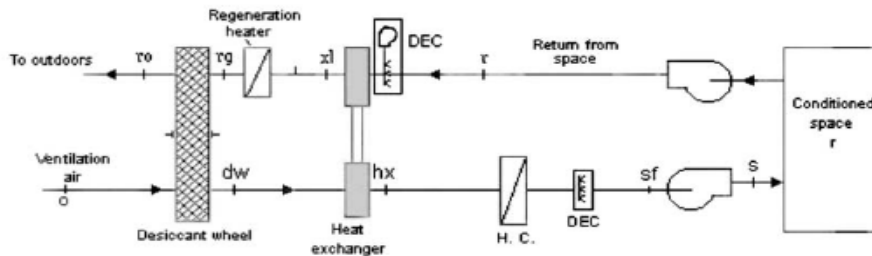
3. υπαίθριος αέρας TDB και RH αλλαγή για κάθε ώρα, που υποθέτει τις τιμές καιρικών αρχείων TRY



a) DTPE software input frame – Desiccant Wheel Hybrid System (DWHS) with or without evaporative cooler

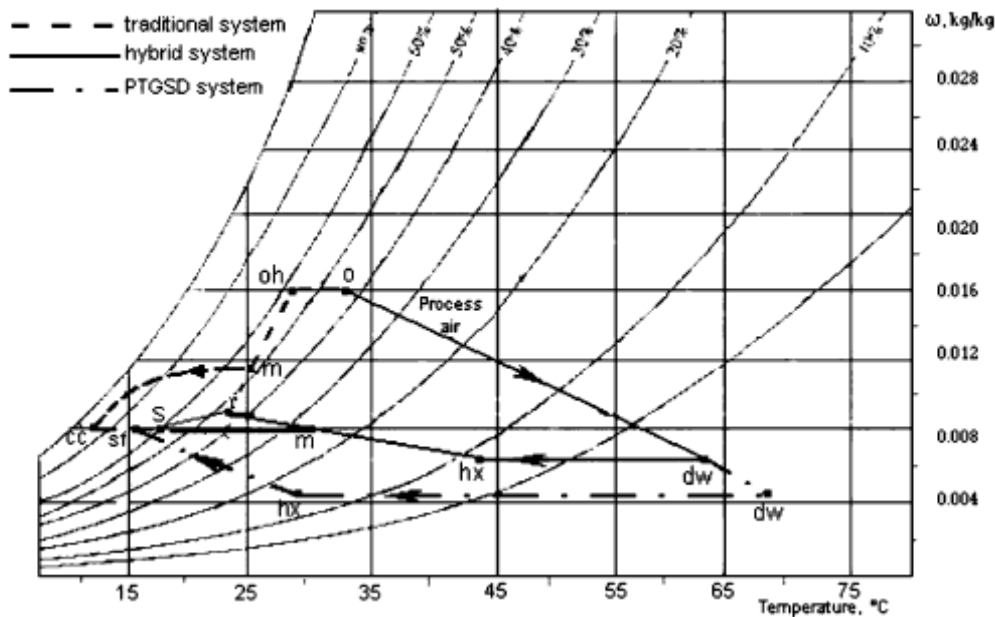


b) DesiCalc - Desiccant Wheel Hybrid System (DWHS) with or without evaporative cooler



c) DOE - Packaged Total Gas Solid Desiccant (PTGSD) system

Σχήμα 2. Ανάλυση desiccant συστημάτων



Διάγραμμα 1. Διαδικασία επεξεργασίας αέρα για το παραδοσιακό σύστημα, υβριδικό σύστημα desiccant τροχών και σύστημα PTGSD, για ιταλικές χαρακτηριστικές θερινές συνθήκες.

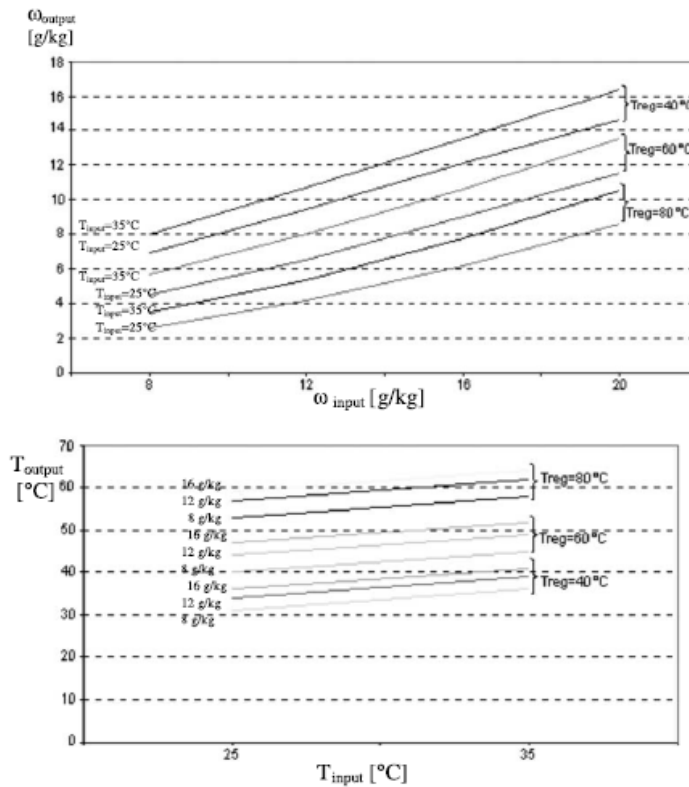
4. μεταβλητά θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας συστημάτων
5. ενιαίος-αγωγός, ενιαία ζώνη και σταθερά συστήματα ροής αέρα, εκτός από το σύστημα DOE- PTGSD που είναι μεταβλητός όγκος αέρα
6. περίοδος λειτουργίας συστημάτων: θερινές συνθήκες (την 1η Ιουνίου–30 Σεπτέμβριος) ηλιακή χρονική σειρά: 7–19 (αντίστοιχος σε 8 –20 στο θερινό χρόνο)
7. Και για το TS και για το DWHS, ένας εξοικονομητής ενθαλπίας που συνδέεται με τις συνδεδεμένες διατάξεις απόσβεσης, ενεργοποιείται για να ποικίλει το ποσοστό υπαίθριου αέρα. Όταν οι εξωτερικές συνθήκες αέρα το επιτρέπουν, η κατάσταση μερικής επανακυκλοφορίας δίνει τη θέση στην προσωρινή περισσότερο κατάλληλη κατάσταση του ολικού- εξωτερικού αέρα, αντίθετα το PTGSD λειτουργεί σχεδόν πάντα με όλο τον υπαίθριο αέρα.
8. τα CC είναι μια ψυκτική σπείρα άμεσης επέκτασης, έτσι τα αναλυθέντα συστήματα είναι συσκευασμένες μονάδες άμεσης επέκτασης (στέγη)
9. εποχιακός COP των εγκαταστάσεων ψύξης, τρία για το TS, τέσσερα για το υβριδικό σύστημα
10. αερόψυκτος συμπυκνωτής των εγκαταστάσεων ψύξης, χωρίς διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας συμπύκνωσης

11. θερμαίνοντας εκ νέου για το TS και την αναγέννηση η θέρμανση με αέρα για τα desiccant συστήματα πραγματοποιείται με τη βοήθεια των λεβήτων αερίου με τη μέση εποχιακή αποτελεσματικότητα ίση με 80%
12. αποδοτικότητα εναλλακτών αισθητής θερμότητας: 70% ,απόδοση IEC: 90%
13. το ηλεκτρικό ενεργειακό μέσο κόστος αναφέρεται σε χρονικά εξαρτώμενες πρόσφατες τιμές στις ιταλικές πόλεις
14. το μέσο κόστος αερίου αναφέρεται στα παρόντα ποσοστά σε ισχύ στις ιταλικές πόλεις
15. μέσο κόστος ύδατος (για humidification) που εξετάζεται σε DTPE: 1000 £/m³ ~ 0,5\$/m³
16. αναλογία μεταξύ των αρχικών και δευτεροβάθμιων ροών αέρα στον εναλλάκτη αισθητής θερμότητας
17. θέρμανση εκ νέου του αέρα μέσω του ανεμιστήρα και των αγωγών ανεφοδιασμού, για το DOE και DTPE~ 1 °C.

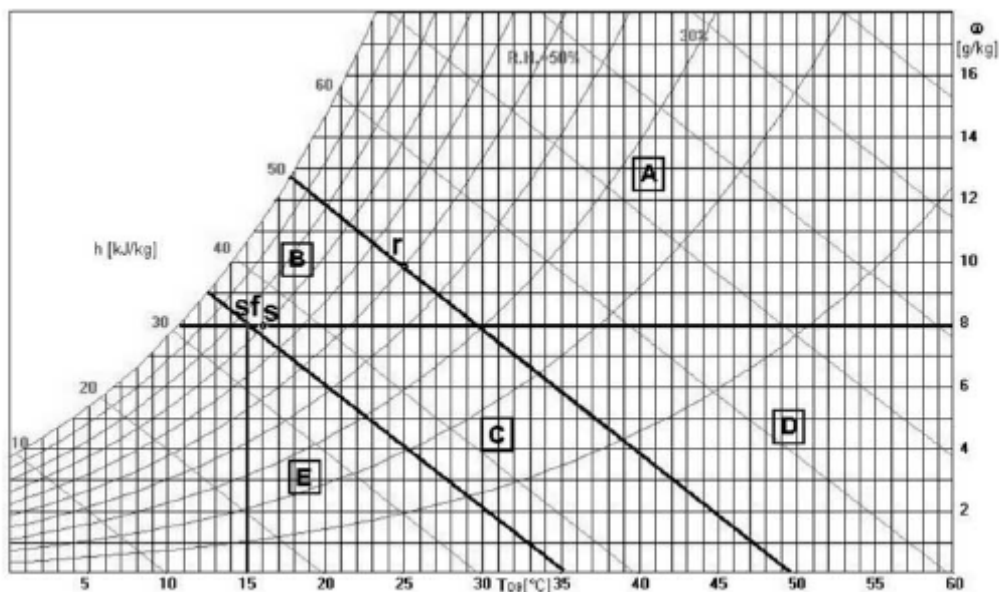
Το DesiCalc στη στιγμή δεν μπορεί να εφαρμόσει καινοτόμο DW που επιτρέπει χαμηλότερο T_{reg} . Αντίθετα, το DOE και DTPE μπορούν να εφαρμόσουν καινοτόμο DW.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της επιλεγμένης τροχού είναι

- desiccant υλικό: μεταλλικό πυριτικό άλας που μετατρέπεται διαδοχικά σε ένα κεραμικό κυλινδρικό τμήμα;
- T_{reg} : μεταβλητή μεταξύ 40 και 80°C. Αυτές οι τιμές, χαμηλότερες από τους συνηθισμένους (υψηλότεροι από 80°C), είναι αποκτήσιμες με το ιδιαίτερο desiccant υλικό που χρησιμοποιείται στον τροχό.



Διάγραμμα 2. Δεδομένα απόδοσης σχετικά με τον desiccant τροχό από DOE και DTPE



Διάγραμμα 3. DTPE—ψυχομετρικός χάρτης διαιρεμένος σε ζώνες για το παρασσοιακό και το υβριδικό σύστημα.

- αναλογία μεταξύ της διαδικασίας αναγέννησης και των ροών αέρα, 1
- βάθος της ρόδας: 200 χιλ.
- ταχύτητα περιστροφής της ρόδας: 30 r.p.h.
- στοιχεία απόδοσης στο διάγραμμα 4

- σύστημα ελέγχου DW: μεταβλητό Treg (για κάθε ώρα το σύστημα αξιολογεί ελάχιστο Treg απαραίτητο για τις απαιτήσεις dehumidification). Όσο αναφορά το DTPE παρακάμψη επίσης της μέθοδου έχει εφαρμοστεί (ένα μέρος του αέρα διαδικασίας και το ίδιο μέρος της παράκαμψης αέρα αναγέννησης ο τροχός, έτσι dehumidification μπορεί να μειωθεί ανάλογα με τις ανάγκες), αλλά έχει αποδειχτεί λιγότερο κατάλληλη.

Όσον αφορά τον DTPE, περαιτέρω μετά από τις υποθέσεις έχει εξεταστεί:

(a) σταθερή κατάσταση για κάθε ώρα του υπολογισμού;

(b) μέγιστο RH προς τα κάτω CC (για το TS): 95%

(c) $T_{DB,s,min}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (αυτή η υπόθεση ισχύει επίσης για τα συστήματα DOE), $\omega_{s,min}=6\text{ g/kg}$;

(d) αποδοτικότητα ανεμιστήρων ανεφοδιασμού και επιστροφής: 70%;

(e) δευτερεύουσα πτώση πίεσης αέρα ανεφοδιασμού για TS: 0.70 kPa; 0.20 kPa για την πλευρά επιστροφής;

(f) δευτερεύουσα πτώση πίεσης αέρα ανεφοδιασμού για το υβριδικό σύστημα: 0,80 kPa 0,30 kPa για την πλευρά επιστροφής.

Στο DTPE, το ποσοστό ροής αέρα ανεφοδιασμού m υπολογίζεται από την ακόλουθη ενεργειακή ισορροπία στις συνθήκες σχεδίασμού:

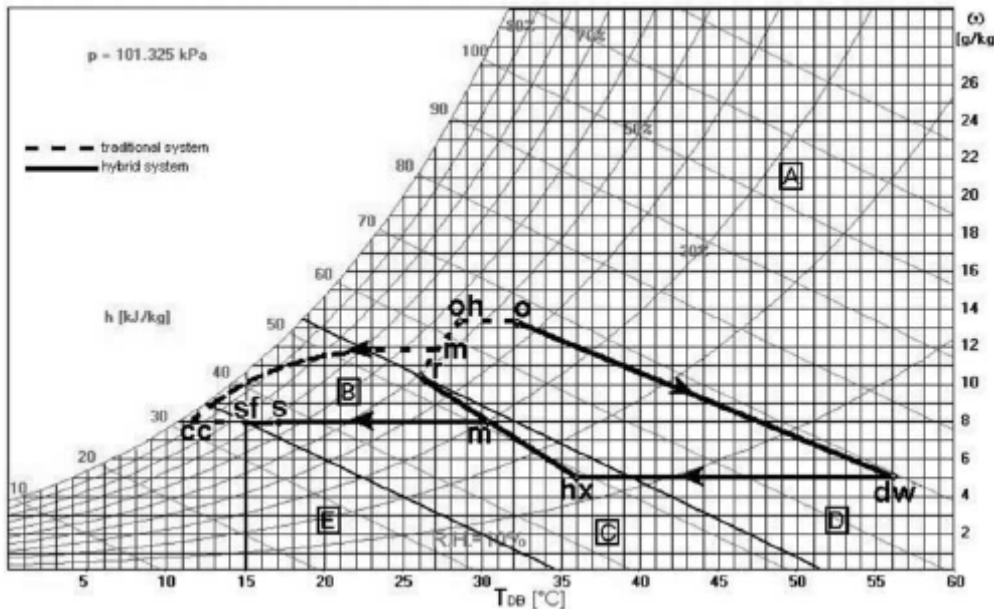
$$Q_{tot} = m (h_r - h_s) \quad (1)$$

Σε αυτήν την εξίσωση τα θερμικά φορτία χώρου παρέχονται από το DOE χρησιμοποιώντας τις συνθήκες σχεδίασμού ψύξης επάνω από διευκρινισμένος $T_{DB,s}$, $T_{DB,r}$ και RH_r καθορίζονται από το χρήστη του κώδικα, έτσι οι ω_r και το h_s υπολογίζονται. Κατόπιν για κάθε ώρα, στα ποικίλα θερμικά φορτία, το σημείο s αέρα ανεφοδιασμού αλλάζουν σύμφωνα με την εξ. (1) και η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αξιολογηθεί. Αναφερόμενο στο υπαίθριο σημείο αέρα, το ψυχομετρικό διάγραμμα 3 έχει υποδιαιρεθεί στις ζώνες :

- ζώνη A: $\omega_o > \omega_s$ και $T_{WB,o} \geq T_{WB,r}$

- ζώνη B: $\omega_o > \omega_s$ και $T_{WB,sf} < T_{WB,o} < T_{WB,r}$
- ζώνη C: $\omega_o \leq \omega_s$ και $T_{WB,sf} < T_{WB,o} < T_{WB,r}$
- ζώνη D: $\omega_o \leq \omega_s$ και $T_{WB,o} \geq T_{WB,r}$
- ζώνη E: $T_{DB,o} \geq T_{DB,sf}$ και $T_{WB,o} < T_{WB,sf}$

Ο υπαίθριος εξωτερικός αέρας από αυτές τις πέντε ζώνες εμφανίζεται σπάνια για το θερινό ιταλικό κλίμα, έτσι είναι άχρηστο να καθοριστούν άλλες ζώνες. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι η επέκταση ζώνης αλλάζει στην μεταβολή του $T_{WB,r}$ και sf . Το τελευταίο είναι μια λειτουργία του SHR, ελάχιστη θερμοκρασία ανεφοδιασμού T_s και ανεμιστήρα/ αγωγού επαναθέρμανσης . Επομένως η υποδιαίρεση αναφερόμενη στο διάγραμμα 5 αναφέρεται στις συγκεκριμένες τιμές αυτών των μεταβλητών.



Διάγραμμα 4. DTPE—διαδικασία επεξεργασίας αέρα για ζώνη A για παραδοσιακό και υβριδικό σύστημα (με IEC απενεργοποιημένο).

Οι διάφορες διαδικασίες επεξεργασίας αέρα έχουν εξεταστεί, σύμφωνα με το σύστημα HVAC και τη ζώνη στο σημείο όπου ο υπαίθριος αέρας πέφτει. Παρακάτω, αναφέρεται μόνο αέρας διαδικασίας που αναφέρεται στη ζώνη A (ο συχνότερος για τα ιταλικά θερινά κλίματα) στο σχήμα 6. Το ελάχιστο απαραίτητο εξωτερικό ποσοστό ροής αέρα (ventilation air) παρέχεται από το Italian Standard UNI 10339 .

Ζώνη Α

Παραδοσιακό σύστημα: Η ροή αέρα εξαερισμού (ο) αρχικά δροσίζεται μέχρι T_{oh} με τη βοήθεια του ΗΤΧ, κατόπιν αναμιγνύεται με τη ροή αέρα επανακυκλοφορίας (r). Ο μικτός αέρας (m) δροσίζεται και αφυδατώνεται με τη βοήθεια του CC μέχρι τη φάση cc, θερμαίνεται εκ νέου μέχρι την φάση sf με τη βοήθεια του ΗC, τελικά θερμαίνεται μέχρι τη φάση ανεφοδιασμού s λόγω της αναθέρμανσης μέσω του ανεμιστήρα και των αγωγών ανεφοδιασμού.

Υβριδικό σύστημα: Η ροή αέρα εξαερισμού (ο) αφυδατώνεται στο DW μέχρι d_w , δροσίζεται μέχρι T_{hx} με τη βοήθεια του αισθητού ΗΤΧ, αναμιγνύεται με τη ροή αέρα επανακυκλοφορίας (r) ώστε να λάβει xs. Ο μικτός αέρας (m) ψύχεται ως sf με τη βοήθεια του CC, τελικά ο ανεμιστήρας/αγωγός θερμαίνεται σχετικά μέχρι s. Εάν το IEC ενεργοποιείται, η ροή αέρα εξαερισμού δροσίζεται από το IEC, αντί του απλού ΗΤΧ, μετά από την αφύγρανση.

Αποτελέσματα

Προκειμένου να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα εξοικονόμησης λειτουργίας χρησιμοποιώντας desiccant συστήματα αποταμίευσης όσον αφορά ένα παραδοσιακό σύστημα αέρα, τα θερμικά φορτία ενός λιανικού καταστήματος έχουν ληφθεί με τη βοήθεια του DOE και DesiCalc™. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κτιρίου είναι

- φωτισμός και άλλα ηλεκτρικά φορτία : 13 and 9 W/m²
- επίπεδο χρήσης, χρόνου εξαρτώμενα: 0.25 persons/m²;
- ποσοστό ροής υπαίθριου αέρα: 6.5 l/(s·person)
- διήθηση: 0.3 exchanges/h
- κτίριο μιας ζώνης, ύψος: 4 m, περιοχή 400 m², όγκος 1600 m³.

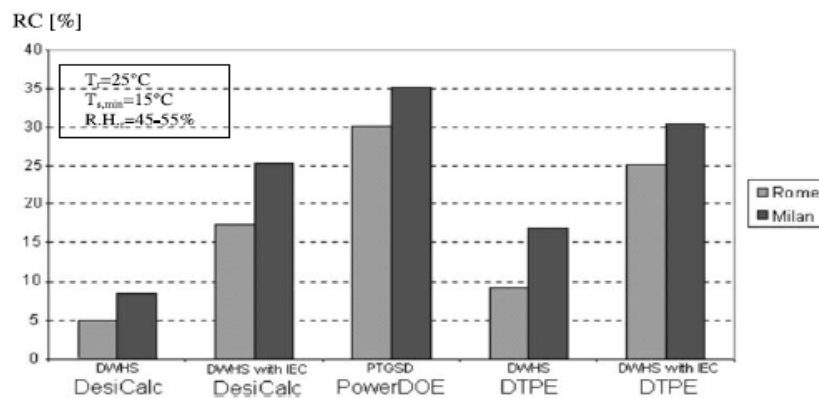
Κατανάλωση θερινής ενέργειας και λειτουργικές δαπάνες για το TS και τα desiccant συστήματα (DWHS και PTGSD) έχουν αξιολογηθεί με τη βοήθεια των τριών κωδίκων για δύο ιταλικές περιοχές (Ρώμη και Μιλάνο), όπως αναφέρεται στους πίνακες 1 και 2. Σε αυτούς τους πίνακες επιδεικνύονται επίσης: (α) η εφικτή εξοικονόμηση λειτουργίας (RC) και εκείνη (RE) που αποκτιέται, εάν η θερμική ενέργεια αναγέννησης για τα desiccant συστήματα και η θέρμανση εκ νέου της θερμικής ενέργειας για το TS είναι ελεύθερες,

δεδομένου ότι παρέχονται από τα θερμικά απόβλητα (β) η θερμική δύναμη ψύξης (CP) που απαιτείται από τη ψυκτική σπείρα και την μεταβολή του ποσοστού (DCP) όσον αφορά το παραδοσιακό σύστημα(γ) ο αριθμός ωρών λειτουργίας (NCH) κατά τη διάρκεια των όποιων το σύστημα δεν είναι ικανό να κρατήσει εσωτερικά $T_{DB} = 25^{\circ}\text{C}$ ή $\text{RH}=40\text{--}60\%$, επίσης εκφρασμένο ως ποσοστό των συνολικών λειτουργίας. DesiCalc παρέχει τις τελευταίες πληροφορίες για όλο το έτος, έτσι έχουμε θεωρήσει ως NCH μόνο οι ώρες στις οποίες $T_{DB,r} > 26^{\circ}\text{C}$ and $\text{RH}_r > 60\%$.

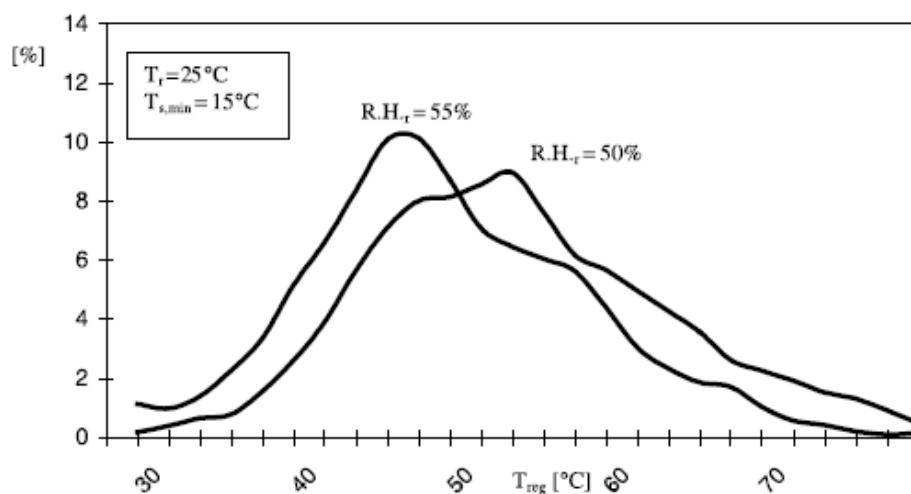
Μπορούν να τονιστούν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Συνολικές λειτουργικές δαπάνες C_t που αναφέρονται στο TS είναι πολύ παρόμοιες με το DTPE ($\text{RH}_r=55\%$), DesiCalc και DOE. Επίσης C_t αναφέρεται στο desiccant σύστημα είναι πολύ παρόμοια με DTPE (when $\text{RH}_r \leq 55\%$) και DesiCalc. Όταν το RH_r καθορίζεται σε 50%, οι δαπάνες που παρέχονται από DTPE είναι ελαφριά υψηλότερες σε σχέση με DesiCalc (για το παραδοσιακό και desiccant σύστημα) και για το DOE (για TS), εξ αιτίας της σταθερότητας του εσωτερικού setpoint DTPE.
- Η εξοικονόμηση λειτουργίας (RC) του desiccant συστήματος που εφαρμόζεται σε DesiCalc όσον αφορά το παραδοσιακό είναι περίπου 5–8% για DWHS χωρίς IEC και 17–25% για DWHS με το IEC. Σε DTPE αυτή η εξοικονόμηση αυξάνει μέχρι 6–17% για DWHS χωρίς IEC και 22–30% για DWHS με το IEC, εξ αιτίας του χαμηλότερου T_{reg} του DW. Η υψηλότερη εξοικονόμηση λειτουργίας (30–35%) λαμβάνεται χρησιμοποιώντας το σύστημα –DOE PTGSD, εξ αιτίας του χαμηλότερου T_{reg} και της έλλειψης των μηχανικών CC. Στο σχέδιο 7, RC αναφέρεται για τα διάφορα desiccant συστήματα, για τη Ρώμη και το Μιλάνο.
- Εάν η θερμική ενέργεια αναγέννησης για τα desiccant συστήματα και η θέρμανση εκ νέου της θερμικής ενέργειας για παραδοσιακή είναι δωρεάν, δεδομένου ότι παρέχονται από τα θερμικά απόβλητα, μόνο η ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να πληρωθεί, έτσι η αποταμίευση (RE) αυξάνει μέχρι 22–34% για DWHS χωρίς IEC και 35–47% για DWHS με το IEC. RE φθάνει σε 82–87% εξετάζοντας τα συστήματα DOE (το σύστημα PTGSD δεν απαιτεί την ηλεκτρική ενέργεια για την ψύξη).

- Η μείωση της θερμικής δύναμης ψύξης (DCP) των desiccant συστημάτων όσον αφορά το TS είναι περίπου 14–28% για DWHS χωρίς IEC, 36–52% για DWHS με το IEC.
- RC, RE και DCP αυξάνονται χρησιμοποιώντας IEC για το desiccant σύστημα DesiCalce και DTPE.
- Καλός έλεγχος desiccant συστημάτων, σε κάθε όρο, εσωτερικά RH και T_{DB} . In fact, the number of operating hours (NCH) during which the systems are not able to keep an indoor $T_{DB}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ή $\text{RH}=40\text{--}60\%$ είναι λιγότερο από 8% για τα desiccant συστήματα, ενώ φθάνει σε 12,4% για το TS. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι NCH είναι λιγότερο από 7% για PTGSD, ακόμα κι αν δεν υπάρχουν κανένα παραδοσιακό CC.



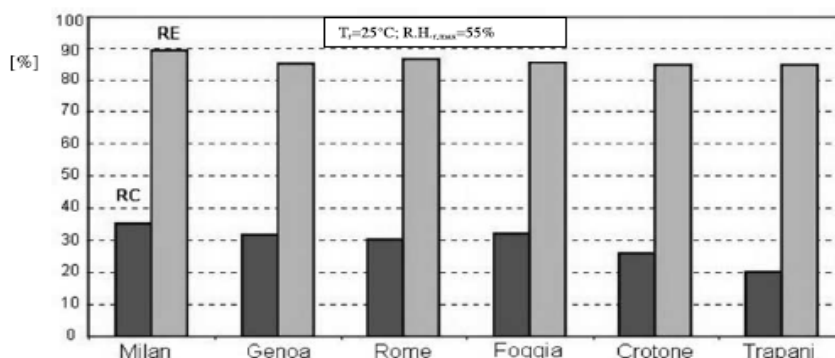
Διάγραμμα 5. Εξοικονόμηση λειτουργίας RC των διάφορων desiccant συστημάτων όσον αφορά το παραδοσιακό σύστημα για τη Ρώμη και το Μιλάνο



Διάγραμμα 6. Διανομή των τιμών θερμοκρασίας αναγέννησης που απαιτούνται κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας για τη Ρώμη, για desiccant σύστημα DTPE.

Στο διάγραμμα 6, η διανομή Treg κατά τη διάρκεια του χρόνου λειτουργίας αναφέρεται για τη Ρώμη (οι παρόμοιες καμπύλες έχουν ληφθεί για το Μιλάνο), για το desiccant σύστημα DTPE με ή χωρίς IEC. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι η μέση αξία του Treg είναι περίπου 52⁰ C όταν RHr = 50% και 44⁰ C όταν RHr = 55% επιπλέον, η τρέχουσα αξία είναι σπάνια υψηλότερο από αντίστοιχα 70 και 64⁰C, οπότε μπορεί να εξεταστεί η θερμική χρήση αποβλήτων για την αναγέννηση. Στο διάγραμμα 5, η εξοικονόμηση λειτουργίας RC και τα RE αναφέρονται για το ιδιαίτερα ενδιαφέρον σύστημα PTGSD, για τις διάφορες ιταλικές περιοχές. RC κατανοείται μεταξύ 20% και 35%, RE μεταξύ 80% και 90%.

Όσο θεωρεί το αρχικό κόστος του desiccant συστήματος, αυτό είναι γενικά μεγαλύτερο όσον αφορά το TS, έτσι μια κόστους-κέρδους ανάλυση απαιτείται προκειμένου να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα της επένδυσης. Εντούτοις, είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι η desiccant τεχνολογία που εφαρμόζεται στα συστήματα HVAC για τα εμπορικά κτήρια είναι μια καινοτόμος τεχνική, έτσι οι σχετικές δαπάνες εξοπλισμού αλλάζουν αρκετά γρήγορα. Εν πάση περιπτώσει, αναφερικά στην ιταλική αγορά, οι παρούσες δαπάνες του DW και του IEC οδηγούν σε μια απλή επιστροφή DWHS ίσου σε περίπου πέντε έτη για το Μιλάνο και επτά για τη Ρώμη, με βάση (α) το πλεόνασμα - κόστος της θερμάστρα αερίου και της σπείρας θέρμανσης όσον αφορά το παραδοσιακό σύστημα;(β) η μείωση κόστους λόγω του μειωμένου μεγέθους των εγκαταστάσεων ψύξης. Επίσης εξετάζοντας το σύστημα PTGSD έναντι ενός παραδοσιακού συστήματος στεγών όπως περιγράφεται στα προηγούμενα τμήματα, μια επιστροφή περίπου πέντε ετών για το Μιλάνο και επτά για τη Ρώμη έχουν ληφθεί.



Διάγραμμα 7. Η εξοικονόμηση λειτουργίας του συστήματος PTGSD όσον αφορά το παραδοσιακό σύστημα PowerDOE για τις διάφορες ιταλικές περιοχές.

Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο οι θερινές λειτουργικές δαπάνες ενός παραδοσιακού συστήματος κλιματισμού και των διάφορων desiccant συστημάτων ψύξης λαμβάνονται χρησιμοποιώντας τρεις κώδικες λογισμικού. Από τα αποτελέσματα που αναφέρονται σε μια εφαρμογή καταστημάτων λιανικής για δύο ιταλικές περιοχές στους θερινούς μήνες, αυτά τα συμπεράσματα δίνονται παρακάτω :

- Εξετάζοντας το ίδιο σύστημα, τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται από τους τρεις κώδικες είναι πολύ παρόμοια.
- Η εξοικονόμηση λειτουργίας (RC) από το desiccant σύστημα όσον αφορά το TS είναι ενδιαφέρουσα, μέχρι 35%,
- Εάν η θερμική ενέργεια για τις απαιτήσεις και τη θέρμανση εκ νέου αναγέννησης παρέχεται από τα θερμικά απόβλητα, που λειτουργούν την αύξηση αποταμίευσης (RE) μέχρι 87%,
- DW_s με τα καινοτόμα desiccant υλικά, χρησιμοποιημένα για DOE και DTPE, επιτρέπει ένα Treg (σχεδόν πάντα λιγότερο από 70⁰ C) χαμηλότερα όσον αφορά τους παραδοσιακούς τροχούς (Treg υψηλότερο από 80–100⁰C), όπως αυτό που εξετάζεται σε DesiCalc. Συνεπώς τέτοιοι τροχοί επιτρέπουν μια μείωση της απαραίτητης θερμικής ενέργειας για την αναγέννηση και της συνολικής απαραίτητης θερμικής ενέργειας, και προωθούν την εκμετάλλευση αποβλήτων θερμότητας.
- Το DOE–PTGSD σύστημα είναι ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και καινοτόμο desiccant σύστημα, το οποίο παρουσιάζει μια υψηλή εξοικονόμηση ενέργειας με μια καλή ικανότητα να επιτραπεί η εσωτερική θερμική άνεση
- Η απαραίτητη θερμική δύναμη ψύξης μειώνεται (μέχρι 52%) όσον αφορά το TS.
- Λειτουργούσες αποταμίευση και μείωση της αύξησης δύναμης ψύξης που χρησιμοποιεί το IEC για τα desiccant συστήματα.
- Η εξοικονόμησης λειτουργίας εξαρτώνται επίσης από τις τοπικές ηλεκτρικές ενεργειακές και αερίου τιμές, οι οποίες είναι έντονα μεταβλητές.
- Οι αρχικές δαπάνες του desiccant συστήματος είναι γενικά μεγαλύτερες όσον αφορά το TS σύμφωνα με τις παρουσες δαπανες της ιταλικής αγοράς.

4.2. Παραδείγματα εγκαταστάσεων desiccant ψύξης

1) Παράδειγμα εγκατάστασης desiccant ψύξης στο ΙΗΚ (εμπορικό επιμελητήριο) του Freiburg στη Γερμανία

Στο εμπορικό επιμελητήριο (IHK Sudlicher) του Freiburg, λειτουργεί το πρώτο αυτόνομο ηλιακό θερμοκίνητο σύστημα ψύξης ανοικτού κύκλου DEC στη Γερμανία, το οποίο χρησιμοποιείται για την ψύξη δύο αιθουσών συνεδριάσεων το καλοκαίρι και για την προθέρμανση των χώρων το χειμώνα. Το εμβαδόν της μικρής αίθουσας συνεδριάσεων είναι 65 μενώ της μεγάλης αίθουσας συνεδριάσεων είναι m. Η συνολική χωρητικότητα των αιθουσών είναι περίπου 120 ατόμων και ο συνολικός όγκος των δωματίων είναι 815. Οι προσόψεις είναι γυάλινες, αλλά διαθέτουν εξωτερικές και εσωτερικές διατάξεις σκίασης. Η παροχή αέρα του συστήματος ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) είναι μεταβλητή, από 2.500/h έως 10.200 m/h. Δεν υπάρχει εγκατεστημένο εφεδρικό σύστημα ψύξης, καθώς τα ψυκτικά φορτία έχουν αρκετά καλή συσχέτιση με τα ηλιακά κέρδη. Εφεδρικό σύστημα θέρμανσης χρησιμοποιείται το χειμώνα, για να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία του αέρα. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος της κατασκευής των υποστηριγμάτων τους, οι συλλέκτες είναι τοποθετημένοι παράλληλα με τη κεκλιμένη στέγη (15°). Λόγω της χρήσης συλλεκτών αέρα και του υψηλού συσχετισμού μεταξύ των ηλιακών κερδών και του ψυκτικού φορτίου, δε χρησιμοποιείται μονάδα αποθήκευσης θερμότητας.Σαν συνεπεία της ηλιακής αυτονομίας κατά τη λειτουργία το καλοκαίρι, υπάρχουν αποκλίσεις από τις συνθήκες άνεσης (όπως καθορίζονται από το DIN , μέρος 2) οι οποίες όμως βρίσκονται εντός του αναμενόμενου εύρους για το μικρό χρονικό διάστημα της λειτουργίας του συστήματος.



Κόστος επένδυσης και οικονομικά δεδομένα

Λόγω του μειωμένου κόστους εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών αέρα, το ανηγμένο κόστος του συλλέκτη, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής υποστήριξης είναι 210 €/m^2 , τιμή ίση με το 10% του συνολικού πάγιου κόστους του συστήματος (210.000 €). Το κόστος της μονάδας κλιματισμού είναι περίπου $9,50 \text{ €/m}^2$ ονομαστικής παροχής αέρα (χωρίς το κόστος της εγκατάστασης). Το έργο υποστηρίχθηκε από την ΕΕ(NNE5-1999-531).

Ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα

Τα περιβαλλοντικά οφέλη και η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζονται με τη σύγκριση της κατανάλωσης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας του ηλιακού συστήματος ψύξης DEC με την αντίστοιχη κατανάλωση συμβατικής μονάδας διαχείρισης αέρα με τροφοδοσία θερμότητας το χειμώνα από λέβητα φυσικού αερίου και με ηλεκτροκίνητο ψύκτη συμπίεσης για την ψύξη του αέρα ανεφοδιασμού το καλοκαίρι. Με αυτή την εκτίμηση, η ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται σε 30.000 kWh το έτος και τα οφέλη σε αποφυγή CO είναι περίπου 8.800 kg ανά έτος.

ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ Γραφεία, κλιματισμός σε 2 αίθουσες συνεδριάσεων

ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ 60 kWc

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Σύστημα ψύξη ανοικτού κύκλου (desiccant) ηλιακής αυτονομίας

ΤΥΠΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ Επίπεδοι, αέρα

ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ 100m²

ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟ 2001

2) Πειραματική έρευνα ενός συστήματος υγρού desiccant για ηλιακό κλιματισμό και αφύγρανση στο πανεπιστήμιο Technion της Haifa στο Ισραήλ

Το σύστημα που είναι υπό εξέταση, σχεδιάζεται για να παρέχει κλιματισμό σε ένα group γραφείων στον επάνω όροφο του κτιρίου Energy Research Center στο Technion – Israel Institute of Technology (Haifa, Israel). Το αρχικά-επιλεγμένο ρυθμισμένο διάστημα αποτελείται από τρία γραφεία, με έναν εξωτερικό τοίχο που αντικρύζει το βορρά το καθένα (με ένα παράθυρο). Ο συνολικός τομέας πατωμάτων του ρυθμισμένου διαστήματος είναι 35 m². Οι τοίχοι και η στέγη αποτελούνται από 8 in. (20 cm) προκατασκευασμένο ελαφρύ σκυρόδεμα, μη μονωμένο, με το ασβεστοκονίαμα τσιμέντου. Κάθε

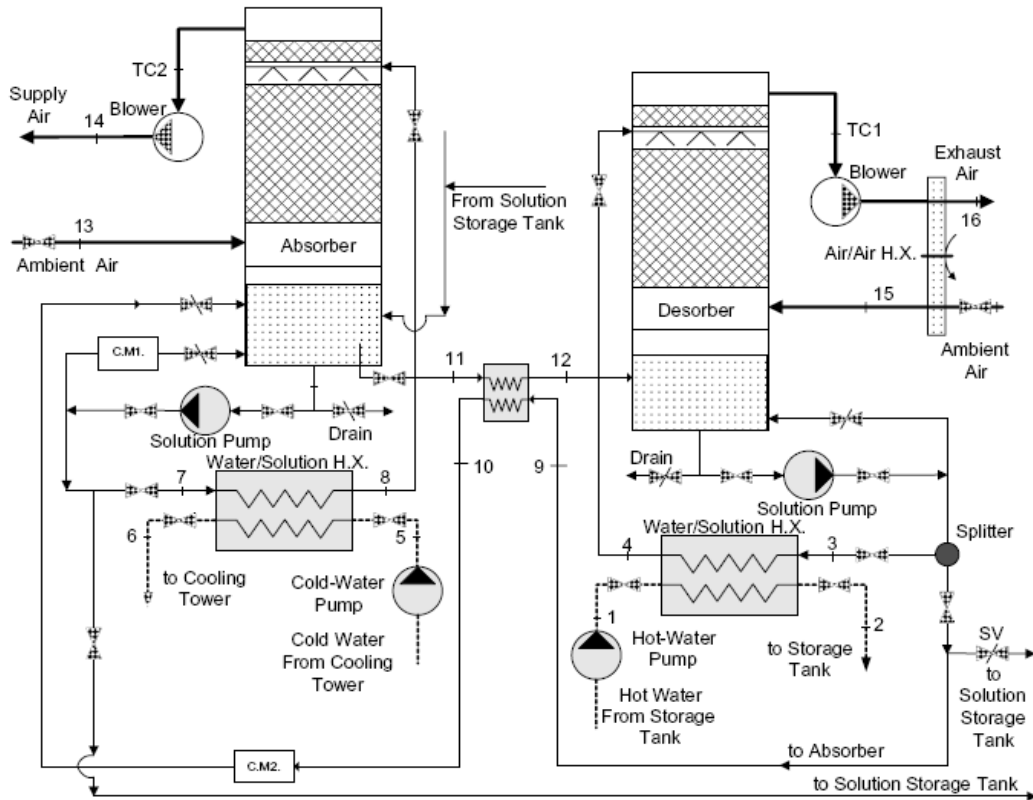
γραφείο εξυπηρετεί δύο ανθρώπους και τους υπολογιστές τους ως εκ τούτου η συνολική κατοχή είναι έξι άτομα.

Η πόλη της Χάιφα είναι μια ιδανική περιοχή για να εξετάσει ένα τέτοιο σύστημα. Τοποθετημένος στη μεσογειακή ακτή στο βόρειο 33^ο γεωγραφικό πλάτος, έχει το χαρακτηριστικό κλίμα των μεσογειακών πόλεων. Οι εξωτερικές θερινές συνθήκες (χαρακτηριστικές για το σχέδιο) είναι 30^ο C και σχετική υγρασία 70%. Οι όροι σχεδιασμού δωματίων έχουν επιλεχτεί σε 24^ο C και τη σχετική υγρασία 50%.

Περιγραφή του συστήματος υγρού desiccant

Το υγρό desiccant σύστημα σχεδιάζεται για να χρησιμεύσει ως το σύστημα απορρόφησης ανοιχτού-κύκλου που μπορεί να λειτουργήσει με την χαμηλής έντασης ηλιακή θερμότητα. Μια σχηματική περιγραφή της τελικής έκδοσης σχεδίου του συστήματος δίνεται στο σχέδιο 1. Το σύστημα αποτελείται από έξι σημαντικά συστατικά: ένα αποξηραντή αέρα ή απορροφητή, ένα αναγεννητή διαλύματος ή προσροφητή, δύο νερού-διαλύματος εναλλάκτες θερμότητας, ένας διαλύματος-διαλύματος εναλλάκτης θερμότητας και ένα αέρα-αέρα εναλλάκτης θερμότητας.

Διάφορα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος πέρα από τους συμβατικούς κύκλους αντλιών θερμότητας απορρόφησης παρουσιάζονται: (1) Ο αριθμός κύριων συστατικών μειώνεται κατά ένα με τη μεταφορά της συμπύκνωσης της ψυκτικής ουσίας από έναν συμπυκνωτή στο περιβάλλον. (2) Οι υψηλής έντασης μονάδες αποφεύγονται αφού ολόκληρο το σύστημα λειτουργεί σε ατμοσφαιρική πίεση. (3) Το ποσό ψυκτικής ουσίας (νερό) που εξάτμιζεται στον αναγεννητή δεν απαιτεί εξατμιστήρα αλλού στο σύστημα, παρέχοντας κατά συνέπεια μεγαλύτερη ευελιξία. (4) Η αποδοτική χρησιμοποίηση των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών πηγής θερμότητας είναι δυνατή.



Σχήμα 3. Σχηματική περιγραφή του υγρού desiccant συστήματος: Οι στερεές παχιές γραμμές δείχνουν τη ροή αέρα οι στερεές λεπτές γραμμές δείχνουν τη ροή διαλύματος και η διαστιγμένη λεπτή την ροή του νερού .

Η φωτογραφία 1 του συστήματος υγρού desiccant, παρουσιάζει τα κύρια συστατικά του. Ο κλιματιζόμενος χώρος βρίσκεται δεξιά του συστήματος, και οι αεραγωγοί που συνδέουν τα δύο είναι ορατοί στην εικόνα. Ο τομέας ηλιακών συσσωρευτών είναι ορατός από την πίσω πλευρά του. Άλλα συστατικά που αποτελούν μέρος του συστήματος και δεν φαίνονται στην εικόνα είναι ο πύργος ψύξης και η δεξαμενή αποθήκευσης διαλύματος .



Φωτογραφία 1. Φωτογραφία του υγρού desiccant συστήματος:

1)απορροφητής/αποξηραντής,2)desorber/regenerator,3)αεραγωγοί,4)ανεμιστήρας ,5) περιστροφικός αέρος-αέρος heatexchanger,6)καμπίνα ελέγχου γραφείο,7)ηλιακοί συσσωρευτές8)δεξαμενή αποθήκευσης καυτού νερού

Πίνακας 1.Μετρήσιμα αποτελέσματα της εγκατάστασης

Characteristic measured data representing the monitoring period	
Heating water temperature	65–100 °C
Heating water flow rate, \dot{m}_{hw}	0.24 kg/s
Cooling water temperature	22–27 °C
Cooling water flow rate, \dot{m}_{cw}	0.5 kg/s
Air flow rate through desorber, \dot{m}_{da}	0.1–0.32 m ³ /s
Air flow rate through absorber, \dot{m}_{aa}	0.1–0.40 m ³ /s
Pressure drop through desorber/absorber towers	180 Pa
Pressure drop through entire duct pass including air/air heat exchanger	120 Pa
Total heat supplied to desorber	up to 20 kW
Maximum solution concentration	43%
Minimum DPT	4 °C
Air flow rate through desorber/absorber fans (m ³ /s)	0.008 × Freq. (Hz)
Average air density through absorber	1.15 kg/m ³
Average air density through desorber	1.05 kg/m ³
Desorber fan power @ 32 Hz/40 Hz	280/500 W
Absorber fan power @ 20 Hz/40 Hz	60/350 W
Air/Air Heat exchanger power	80 W
Solar collectors circulation pump power	50 W
Solution pump power on absorber side	180 W
Solution pump power on desorber side	250 W
Hot water pump power	290 W
Cooling tower fan power	520 W
Cooling tower (cold water) pump power	400 W
Total parasitic power, W_{par}	2700 W

Συμπεράσματα

Ο στόχος αυτού του προγράμματος ήταν να κατασκευαστεί ένα ηλιακό σύστημα υγρού desiccant για, αφύγρανση και κλιματισμό –για να εξεταστεί η σκέψη, να προσδιοριστούν τα προβλήματα, να πραγματοποιηθεί το προκαταρκτικό σχέδιο βελτιστοποίησης και να μετρηθεί η απόδοση . Το πρωτότυπο σύστημα, που εγκαταστάθηκε στο Technion campus στη Haifa, σχεδιάστηκε για να κλιματίσει μια ομάδα γραφείων στο ανώτερο όροφο του Energy Engineering Center. Η διαδικασία σχεδίου περιέλαβε τις αρχικές μετρήσεις για να καθορίσει τις άγνωστες παραμέτρους, μαζί με τις εκτενείς προσομοιώσεις απόδοσης. Οι μετρήσεις έχουν παράσχει τα αναγκαία ρεαλιστικά στοιχεία για τους συντελεστές μεταφοράς θερμότητας και μάζας. Οι σημαντικές πληροφορίες λήφθηκαν για τις πρακτικές πτυχές σχεδίου των βασικών συστατικών – αφυγραντή και αναγεννητή – όπως και τα ποσοτικά στοιχεία για την απόδοσή τους. Το τελικό πρωτότυπο, συμπεριλαμβανομένων των ελέγχων, ήταν πλήρως λειτουργικό από τον Απρίλιο του 2003. Το σύστημα λειτούργησε καλά, με 16 kW (μέση)αφυγραντική ικανότητα, και η απόδοσή της ελέγχθηκε καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2003–από το τέλος ως την αρχή Νοεμβρίου. Η ανάλυση στοιχείων δείχνει ένα θερμικό COP περίπου 0,8 με τις παρασιτικές απώλειες σε επίπεδο 10%.

Οι διενεργηθέντες υπολογισμοί COP απο τα στοιχεία του έλεγχου έχουν παραγάγει τα ικανοποιητικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα όσον αφορά το θερμικό COP. Από το πιο επιμελημένο σχέδιο στο μέλλον, αναμένεται ότι οι παρασιτικές απώλειες θα μπορούσαν να ελαχιστοποιηθούν και καλύτερα συνολικά COP θα μπορούσε να επιτευχθεί.

3) Ökopark Hartberg, Austria

Περιγραφή της κατάστασης : ψύξη κτιρίου γραφείων (+ heating and hot water)

Το DEC σύστημα των 30.4 kW έχει εισαγωγή θερμικής ενέργειας από 12m² επίπεδων συλλεκτών και ένα καυστήρα βιομάζας 30 kW ως βοηθητική πηγή θερμότητας. Το μέγιστο φορτίο ψύξης του κτιρίου είναι 20 kW και του φορτίου αιχμής θέρμανσης είναι 24 kW. Ο αριθμός των ωρών ζήτησης θέρμανσης είναι 3.560 ευρώ ετησίως. Η θέρμανση και ψύξη εφοδιασμού κατανέμεται μέσω αγωγών αέρα με ανάκτηση θερμότητας.

Κεντρική μονάδα air-condition

Technology open cycle (DEC)

Nominal air volume flow rate 6,000 m³/h

Minimum air volume flow rate - m³/h

Desiccant cooling system type solid desiccant

Desiccant type Silica Gel

Cooling capacity 30.4 kW (max)

Brand of desiccant unit -

Ηλιακά θερμικά

Collector type flat-plate

Brand of collector Vacuum-tube collector

Collector area 12 m² gross area

Tilt angle, orientation 70° south

Collector fluid water-glycol

Typical operation temperature -

Διαμόρφωση

Heat storage	3 m ³ water
Cold storage	-
Auxiliary heating support	biomass
Use of auxiliary heating system	heating & cooling
Auxiliary chiller	no

Απόδοση συστήματος

- Ετήσια φορτίο ψύξης / ετήσια θέρμανση αναγέννησης = ετήσιο COP = 0.6
πρωτογενής ενέργεια σε kWh / ψύξη σε kWh = ηλιακό κλάσμα = 1,66
- Ημερήσιο ηλιακό κέρδος =60kWh, κέρδος από την επιφάνεια συλλέκτη=430 kWh/m² επιφάνειας συλλέκτη
- Καθημερινή απαίτηση ηλεκτρικού =65 kWh για AHU, αντλίες,επεξεργασία νερου κλπ.
- Μέση απόδοση συλλέκτη 40%.
- Η αδιαβατική κατάσταση λειτουργίας, η οποία δεν χρειάζεται αναγέννηση θερμότητας, είναι σημαντικό για τη διεύρυνση του COP έως 0.6.

Αξιοπιστία συστήματος και συνολική επιτυχία της εγκατάστασης

Οι χρήστες και οι ιδιοκτήτες των κτιρίων είναι ικανοποιημένοι. Η χρήση του dec σχηματισμού είναι φυσιολογικά ικανοποιητική. Στην περίπτωση επιπλοκών δεν υπάρχουν ακόμα κατάλληλα άτομα διαθέσιμα για να επισκευάσουν λόγω της μη καλής γνώσης της τεχνολογίας. Κύριο πρόβλημα είναι η υγιεινή της ανοιχτής λεκάνης απορροής. Ο βιολογικός καθαρισμός του

νερού γίνεται από ένα βιοκτόνο και από UV φως(254nm) μαζί, με τακτικούς ελέγχους του νερού. Το κεντρικό σύστημα ψύξης χιάζεται ένα μεγάλο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας για τον εξαερισμό. Αν ανανεώσιμη θερμότητα χρησιμοποιείται για τον αναγεννητή, τότε οι εκπομπές CO₂ μειώνονται δραστικά. Τα ακόλουθα στοιχεία προκύπτουν από το Hartberg DEC:

1. Η στρατηγική ελέγχου για όλες τις εποχές του χρόνου λειτουργίας δεν έχει πλήρως αναπτυχθεί.
2. Επεξεργασία νερού πρέπει να περιλαμβάνει επίσης τον βιολογικό καθαρισμό (βιοκτόνο και UV-ακτινοβολία) του νερού. Κατά διαστήματα, ειδικά μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς λειτουργία, οι εγκαταστάσεις ύγρανσης αέρα πρέπει να καθαρίζονται.
3. Τα διαστήματα λειτουργίας θα πρέπει να καθοριστούν και ένα προσωπικό μορφωμένους ανθρώπους είναι απαραίτητο.
4. Ιδιαίτερα μέτρα κατά των καταστροφών από κεραυνούς στον έλεγχο πρέπει να λαμβάνονται ειδικά στην επαρχία.
5. Η θερμοκρασία για την αναγέννηση πρέπει να είναι αρκετά ψηλά ώστε να αποφεύγεται η υψηλή υγρασία του αέρα στους εσωτερικούς χώρους.

4) Chamber of Commerce 'Südlicher Oberrhein' (IHK-SO) in Freiburg, Germany

Περιγραφή της εφαρμογής

Μια αίθουσα σεμιναρίων και μια καφετέρια του κτιρίου, συχνά όμως χρησιμοποιούμενη ως αίθουσα σεμιναρίων επίσης, συνδεόνται με ένα σύστημα air-condition με αφύγρανση desiccant. Αν και παθητικά μέτρα, όπως η εξωτερική σκίαση, υψηλής ποιότητας υαλοπίνακες κλπ. έχουν εφαρμοστεί για την πρόληψη της υψηλής ηλιακή ακτινοβολία, το μεγάλο τμήμα του

υαλοπίνακα δωμάτια για απαιτεί ενεργητική Κατά τη διάρκεια της χρήσης ψύξης με dehumidification το καλοκαίρι, το σύστημα είναι ηλιακά θερμικά αυτόνομο. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα επιπροσθέτως χρησιμοποιείται ένας λέβητας αερίου για την παραγωγή ζεστού αέρα θέρμανσης.

Γενική περιγραφή του συστήματος

Η τεχνολογία του συστήματος είναι ένα ανοικτό κύκλο ξηραντικό εξαερούμενων σύστημα ψύξης, που χρησιμοποιούν την ηλιακή θερμική θερμότητας για την αναγέννηση των ξηραντικό τροχό. Ο τροχός ξηραντικό περιέχει σιλικάζελ ροφητική ως υλικό. Η αναγέννηση οδηγείται ηλιακή αυτόνομα από επίπεδη πλάκα συλλέκτες αέρα, θερμική αποθήκευση δεν εφαρμόζονται. Ο ρυθμός ροής όγκου αέρα στον αέρα χειρισμό μονάδα κυμαίνεται σε ένα ευρύ φάσμα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις. Ο όγκος ροής του αέρα μέσω του αέρα συλλέκτες είναι ανεξάρτητη από τον αέρα-χειρισμού όγκος ροής του, προκειμένου να επιτραπεί μια βελτιστοποιημένη λειτουργία του ξηραντικό τροχού. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η παροχή αέρα για την οποία προ-θερμαίνεται με το λήπτη και θερμαίνονται ανάλογα με τις τιμές από τα ορυκτά εφεδρικό σύστημα.

Η τεχνολογία του συστήματος είναι ένα ανοικτό desiccant σύστημα ψύξης κύκλου εξατμίσεως, που χρησιμοποιεί την ηλιακή θερμική θερμότητα για την αναγέννηση του desiccant τροχού. Ο desiccant τροχός περιέχει silicagel ως υλικό προσρόφησης. Η αναγέννηση είναι οδηγημένη ηλιακά αυτόνομη από flat-plate συλλέκτες αέρα και αποθήκευση θερμότητας δεν εφαρμόζεται. Το ποσοστό όγκου ροής αέρα στη διαχειριζόμενη μονάδα αέρα ποικίλλει σε μια ευρεία σειρά σύμφωνα με τις απαιτήσεις το ποσοστό ροής όγκου αέρα μέσω των συλλεκτών αέρα είναι ανεξάρτητη από τον χειρισμό ποσοστού όγκου αέρα ροής προκειμένου να επιτραπεί μια βελτιστοποιημένη λειτουργία του desiccant τροχού. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο αέρας ανεφοδιασμού προθερμαίνεται από τους συλλέκτες και θερμαίνεται σύμφωνα με τις καθορισμένες τιμές από ένα κλασσικό εφεδρικό σύστημα .

Κεντρική μονάδα air-conditioning

Technology open cycle (DEC)

Nominal air volume flow rate 10,200 m³/h

Minimum air volume flow rate 2,500 m³/h

Desiccant cooling system type solid desiccant

Desiccant type Silica Gel

Cooling capacity max. 60 kW

Brand of desiccant unit DehuTech

Ηλιακά θερμικά

Collector type air collector, flat-plate

Brand of collector Grammer

Collector area 92 m² aperture

Tilt angle, orientation 0 °, south

Collector fluid air

Typical operation temperature 70 °C regeneration temperature of sorption wheel

Διαμόρφωση

Heat storage none

Cold storage none

Auxiliary heating support gas boiler

Use of auxiliary heating system supply air heating in winter

Auxiliary chiller no

Απόδοση συστήματος

Στο desiccant τρόπο ψύξης, λήφθηκε ένας ετήσιος συντελεστής της απόδοσης (COP) 0,43. Η ηλιακή κάλυψη της γενικής εισαγωγής θερμότητας (θέρμανση με αέρα ανεφοδιασμού και θερμότητα αναγέννησης) ήταν σε έναν ετήσιο μέσο όρο 50%. Μια συγκεκριμένη ετήσια παραγωγή συλλεκτών 111 kWh/m²a επιτεύχθηκε. Η απόδοση του συστήματος είναι περιορισμένη λόγω της περιορισμένης χρήσης των δωματίων σεμιναρίου και της στη συνέχεια περιορισμένης ενεργοποίησης της διαχειριζόμενης μονάδας αέρα (το 2004:1080 ώρες).

Αξιοπιστία συστήματος και την συνολική επιτυχία της εγκατάστασης

Μετά από την έναρξη του συστήματος, οι βελτιώσεις στον έλεγχο συστημάτων ήταν απαραίτητες για να επιτρέψουν μια ικανοποιητική λειτουργία συστημάτων. Από αυτήν την εμπειρία, μια προσεκτική περίοδος έναρξης είναι αναπόφευκτη. Η έννοια των συστημάτων αυτόνομης λειτουργίας ψύξης είναι μια κατάλληλη λύση σε αυτήν την εφαρμογή. Σε λιγότερο από 5% των ωρών λειτουργίας, η κατάσταση του αέρα δωματίων υπερβαίνουν τις καθορισμένες τιμές. Η αποδοχή του συστήματος από τους χρήστες είναι πολύ καλή. Συνεπεία του εγκατεστημένου ηλιακού συστήματος συλλεκτών αέρα, το σύστημα συλλεκτών συμβάλλει κόστισε μόνο 10% του συνολικού συστήματος.

5) Solar Info Center SIC in Freiburg, Germany

Περιγραφή της εφαρμογής

Το Solar Info Center στο Freiburg φιλοξενεί επιχειρήσεις, ενεργές στην επιχείρηση ηλιακής ενέργειας. Ένα μέρος του κτιρίου είναι μίσθωμα του Fraunhofer ISE. Μέσα σε αυτό το μέρος, μια περιοχή των γραφείων και ενός δωματίου σεμιναρίου είναι κλιματιζόμενη από ένα υγρό desiccant σύστημα ψύξης, οδηγημένος σε έναν ηλιακό θερμικό αυτόνομο τρόπο ψύξης. Είναι ένα

πειραματικό σύστημα για να καταδείξει τη δυνατότητα εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας.

Γενική περιγραφή του συστήματος

Η τεχνολογία συστημάτων είναι ένα ανοικτό υγρό desiccant σύστημα κύκλου ψύξης εξάτμισης, με χρήση της ηλιακής θερμικής θερμότητας για την αναγέννηση αραιωμένου LiCl διαλύματος. Η ηλιακή θερμική θερμότητα παρέχεται από έναν flat-plate συλλέκτη. Η διαδικασία προσρόφησης δροσίζεται, αυξάνοντας κατά συνέπεια την αποδοτικότητα προσρόφησης. Ένα πλεονέκτημα του συστήματος είναι η αποθήκευση της αραιωμένου και συγκεντρωμένου διαλύματος σε χωριστές αποθηκεύσεις, όποιος επιτρέπει μια αποσύζευξη εγκαίρως μεταξύ της dehumidification αναγέννησης διαδικασίας σε ένα ορισμένο βαθμό. Κανένα συνοδευτικό σύστημα θέρμανσης για την αναγέννηση του διαλύματος δεν εφαρμόζεται. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η θερμότητα από το δίκτυο θερμότητας περιοχής από το πανεπιστημιακό νοσοκομείο εφαρμόζεται για τη θέρμανση με αέρα ανεφοδιασμού.

Κεντρική μονάδα air-conditioning

Technology	open cycle (DEC)
Nominal air volume flow rate	1,500 m ³ /h
Minimum air volume flow rate	600 m ³ /h
Desiccant cooling system type	liquid desiccant
Desiccant type	Lithium Chloride
Cooling capacity	10 kW
Brand of desiccant unit	Menerga

Ηλιακά θερμικά

Collector type	flat-plate
Brand of collector	Ufe Ecostar
Collector area	16.8 m ² aperture
Tilt angle, orientation	30 °, south
Collector fluid	water
Typical operation temperature	55–70 °C regeneration temperature

Διαμόρφωση

Heat storage	1.5 m ³
Cold storage	solution storages
Auxiliary heating support	district heating network
Use of auxiliary heating system	supply air heating in winter
Auxiliary chiller	no

Απόδοση συστήματος

Εξετάζοντας την γενική παραγωγή ψύχους της διαχειριζόμενης μονάδας αέρα (όλοι οι τρόποι λειτουργίας: desiccant ψύξη, ελεύθερη ψύξη, αδιαβατική ψύξη) σχετικά με τη συνολική εισαγωγή θερμότητας αναγέννησης, ένας μέσος συντελεστής απόδοσης (COP) 1.0 επιτεύχθηκε. Η συγκεκριμένη ετήσια παραγωγή συλλεκτών ήταν περίπου 270 kWh/m²a.

Αξιοπιστία συστημάτων και γενική επιτυχία της εγκατάστασης

Πολλές βελτιώσεις στον έλεγχο συστημάτων εφαρμόστηκαν μέσα στο πρώτο έτος λειτουργίας, κυρίως μια βελτιστοποιημένη λειτουργία των αντλιών και των ανεμιστήρων. Μεταξύ, η λειτουργία συστημάτων είναι αξιόπιστη και η υπόσχεση και η διαθεσιμότητα του συστήματος είναι πολύ υψηλή. Μια μεταφορά του διαλύματος στον αέρα ανεφοδιασμού δεν έχει εμφανιστεί ποτέ.



6) 'Pompeu Fabra' Library στο Mataró, Spain

Περιγραφή συστήματος

Το Pompeu Fabra Library of Mataró είναι ένα κτήριο που σχεδιάστηκε για να ενσωματώσει ένα φωτοβολταϊκό και ηλιακό θερμικό σύστημα στη δομή προκειμένου να παραχθούν η ηλεκτρική ενέργεια και η θέρμανση, καλύπτοντας τις απαιτήσεις μιας δημόσιας βιβλιοθήκης. Η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ της ενέργειας, της άνεσης, του φυσικού φωτισμού, της αισθητικής εμφάνισης και των οικονομικών πόρων εφαρμόστηκε στο σχεδιασμό αυτού του κτιρίου.

Γενική περιγραφή του συστήματος

Μεταξύ 2000 και 2002 ένα νέο πρόγραμμα στα πλαίσια του JOULE III, ονομαζόμενο AIRCOOL, πραγματοποιήθηκε για να αναπτύξει μια desiccant μονάδα δροσίσιμου ενσωματωμένος με στις φωτοβολταϊκές ενότητες και ένας νέος ηλιακός τομέας συλλεκτών αέρα, με τον αέρα ως μόνο θερμαντικό και ψυκτικό ρευστό, για να παρέχει τον κλιματισμό στην οπτικοακουστική περιοχή - παιδιών. Οι αρμόδιοι αυτού του προγράμματος ήταν HfT Stuttgart,

TFM S.A., Grammer, Loughborough University, Siegle+Epple και Sauter Ibérica.

Αυτό το νέο σύστημα σχεδιάστηκε για να βελτιώσει τη σφαιρική ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου, όπως και την άνεση στη δυτική δευτερεύουσα περιοχή, λαμβάνοντας κέρδος του υπάρχοντος ηλιακού εξοπλισμού. Η ικανότητα της νέας μονάδας δροσισμού είναι 55 kW με έναν ηλιακό τομέα συλλεκτών αέρα 105 m², προσανατολισμένου νότια και με μια γωνία κλίσης 20°. Το συνολικό ποσοστό ροών αέρος είναι 12,000 m³/h. Μια ψυκτική μονάδα συμπίεσης και ένας λέβητας αερίου είναι τα εφεδρικά συστήματα για να υποστηρίξουν την ηλιακή παραγωγή ψύξης και θέρμανσης.

Κεντρική μονάδα air-conditioning

Technology	open cycle (DEC)
Nominal air volume flow rate	12,000 m ³ /h
Minimum air volume flow rate	6,000 m ³ /h
Desiccant cooling system type	solid desiccant
Desiccant type	silica gel
Cooling capacity	81 kW
Brand of desiccant unit	Siegle+Epple (ATU), Seibu Giken (wheel)

Ηλιακά θερμικά

Collector type	air collector
Brand of collector	Grammer
Collector area	88 m ² aperture
Tilt angle, orientation	20°, 5° west
Collector fluid	air
Typical operation temperature	65 °C driving temperature for chiller operation

Διαμόρφωση

Heat storage	none
Cold storage	none
Auxiliary heating support	none
Use of auxiliary heating system	-
Auxiliary chiller	yes
- type	el. compression chiller
- capacity	246 kW _{cold}

Απόδοση συστήματος

Αναφορικά στη περιβαλλοντική επίδραση αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα προβλήματα θορύβου που ανιχνεύονται στην περίοδο ξεκινήματος έχουν αποφευχθεί. Η τεχνολογία εγγυάται υψηλή εξοικονόμηση της αρχικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια. Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα είναι η μεγάλη κατανάλωση ύδατος. Οι υγραντές πρέπει να κρατηθούν πολύ καθαροί για να ελαχιστοποιήσουν αυτό το πρόβλημα. Επιπλέον, μερικές προτάσεις να ανακυκλωθεί το νερό από τον υγραντή πρέπει να εξεταστούν από τον ιδιοκτήτη. Η κατανάλωση ύδατος δεν καταχωρείται από το σύστημα αλλά μια σύγκριση στους λογαριασμούς πριν και μετά από την εγκατάσταση του συστήματος παρουσιάζει μια αύξηση 217 %. Desiccant και εξατμιστικό σύστημα ψύξης με τη συμπίεση ατμού υποστήριξης για την ψύξη είναι μια τεχνολογία που λειτουργεί κατάλληλα σε ένα υγρό και θερμό κλίμα όπως στις εγκαταστάσεις κοντά στις μεσογειακές ακτές.

Αξιοπιστία συστημάτων και γενική επιτυχία της εγκατάστασης

The system is working properly, the indoor comfort conditions are better than the ones obtained with the previous installation, due to the fact that air cooling capacity has been increased and the load has been reduced using shading devices over west windows. The users are satisfied with the system. The

users do not notice any incidence about uncomfortable air conditions during 2004year operation. Besides these improvements on the building air conditioning system, this installation consists on a demonstration of an environmentally friendly technology.



7) INETI building in Lisbon, Portugal

Περιγραφή της εφαρμογής

Ο στόχος είναι να υπάρχει κλιματισμός σε 12 γραφεία, που βρίσκονται στον πρώτο όροφο του κτιρίου G του INETI Campus και τα οποία ανήκουν στο Renewable Energy Department. Ο σχεδιασμός που χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα βελτιστοποιεί την άνεση των χρηστών στα γραφεία, οι οποίοι είναι ικανοποιημένοι από τη λειτουργία του συστήματος με την πάροδο των χρόνων.

Γενική περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα κλιματισμού είναι μία μονάδα διαχείρισης αέρα τύπου DEC, ενσωματώνοντας μια αντλία θερμότητας και βοηθούμενη από 24 τύπου CPC ηλιακούς συλλέκτες τοποθετημένοι στο επίπεδο κάλυμμα του κτιρίου. Ένα boiler αερίου χρησιμοποιείται σαν backup για το ηλιακό θερμικό σύστημα το χειμώνα. Τους καλοκαιρινούς μήνες παρέχεται ψύξη (μεταξύ Απριλίου- Μάη και Σεπτέμβρη- Οκτώβρη) και θέρμανση τους χειμερινούς μήνες (μεταξύ Οκτώβρη- Μάρτη).

Κεντρική μονάδα air-conditioning

Technology	open cycle (DEC)
Nominal air volume flow rate	5,000 m ³ /h
Minimum air volume flow rate	2,000 m ³ /h
Desiccant cooling system type	solid desiccant
Desiccant type	lithium chloride
Cooling capacity	36 kW
Brand of desiccant unit	MODULAIR AG SACHSEN

Ηλιακά Θερμικά

Collector type	CPC
Brand of collector	Ao Sol
Collector area	46.1 m ² aperture
Tilt angle, orientation	30°, 0° west/east
Collector fluid	water
Typical operation temperature	45–60 °C driving temperature for chiller operation

Διαμόρφωση

Heat storage	2 m ³ water
Cold storage	none
Auxiliary heating support	gas boiler
Use of auxiliary heating system	space heating in winter
Auxiliary chiller	yes
- type	heat pump
- capacity	16.4 kW _{cold}

Απόδοση συστημάτων

Ο κλασικός σχεδιασμός ηλιακών υποβοηθούμενων από τεχνολογία desiccant εξατμίσεως ενσωματώνει δύο αφυγραντές: έναν για την επεξεργασία του αέρα, μετά τον τροχό επαναφοράς της θερμότητας, και άλλον ένα για τον αέρα που βγαίνει πριν τον τροχό επαναφοράς της θερμότητας. Το σύστημά το οποίο εγκαταστάθηκε στο INETI τροποποιήθηκε έτσι ώστε να ενσωματώνει μια ανλία θερμότητας στη διαδικασία μεταφοράς του αέρα (εισερχόμενος νέος δρόμος αέρα), αντικαθιστώντας τον αφυγραντή σε αυτό το μονοπάτι. Ο λόγος αυτής της τροποποίησης έγκειται στο περιορισμένο μέγεθος του συστήματος εξάπλωσης του αέρα, το οποίο υποχρέωσε στην μείωση του ρυθμού ροής του αέρα στον σχεδιασμό των συνθηκών κι επίσης στο να εισάγεται αέρας στα δωμάτια με μικρότερη θερμοκρασία, ώστε να μπορεί να καλύψει το φόρτο ψύξης. Η ανάλυση συμπεριφοράς του συστήματος έδειξε την ανάγκη επαναεισαγωγής του υγραντήρα στο σημείο εισχώρησης του αέρα. Αυτή η αλλαγή έγινε (2007) αλλά ακόμη δεν είναι λειτουργική.

8) Center for Renewable Energy Sources in Koropi, Greece

Περιγραφή της εφαρμογής

Το ανοικτό desiccant εξατμιστικό σύστημα ψύξης κύκλων χρησιμοποιείται για λόγους επίδειξης και έρευνας. Χρησιμοποιείται στη θερμότητα και δροσίζει το ηλιακό θερμικό κτήριο Π. Ε. Ν. Α. περιοχή επίδειξης του Κ.ΑΠ.Ε.

Γενική περιγραφή του συστήματος

Η τεχνολογία συστημάτων είναι ανοικτό desiccant εξατμιστικό σύστημα ψύξης κύκλων. Η θερμότητα παρέχεται από ένα ηλιακό θερμικό σύστημα και από μια συνοδευτική ηλεκτρική θερμάστρα που εγκαθίσταται άμεσα μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης καυτού ύδατος. Το χειμώνα το ηλιακό θερμικό σύστημα παρέχει έναν water-air εναλλάκτη θερμότητας που εγκαθίσταται στο σύστημα κατά τον Δεκέμβριο προκειμένου να θερμαθεί το δωμάτιο.

Κεντρική μονάδα air-conditioning unit

Technology open cycle (DEC)

Nominal air volume flow rate 1,100 m³/h

Minimum air volume flow rate 373 m³/h

Desiccant cooling system type solid desiccant

Desiccant type Lithium Chloride

Cooling capacity - kW

Brand of desiccant unit Klingenburg

Ηλιακά θερμικά

Collector type flat-plate

Brand of collector Calpak

Collector area 10 m² gross

Tilt angle, orientation 45°, 0° west/east

Collector fluid water-glycol

Typical operation temperature 60 °C (driving heat for cooling application)

Διαμόρφωση

Heat storage 0.5 m³ water

Cold storage none

Auxiliary heating support electric heater

Use of auxiliary heating system directly heats the hot water storage tank, used both for heating and cooling

Auxiliary chiller no

Απόδοση συστημάτων

Αυτό είναι ένα πρόσφατα εγκατεστημένο σύστημα, η απόδοση των συστημάτων δεν έχει αναλυθεί ακόμα.

Αξιοπιστία συστημάτων και γενική επιτυχία της εγκατάστασης

Οι πρώτες εβδομάδες της λειτουργίας έχουν αποκαλύψει μια αξιόπιστη λειτουργία συστημάτων. Κανένα μακροπρόθεσμο στοιχείο ελέγχου δεν είναι διαθέσιμο μέχρι τώρα. Το σύστημα είναι ελπιδοφόρο, αφού κανένα ειδικό και ακριβό συστατικό χρησιμοποιείται. Οι χαμηλές θερμοκρασίες επιτρέπουν τη χρήση flat-plate εκλεκτικών συλλεκτών χαμηλότερου κόστους.



4.3. Εφαρμογή τεχνολογίας desiccant αφύγρανσης στην ψύξη

Εισαγωγή

Τα συστήματα ψύξης με αφύγρανση (desiccant) είναι συστήματα ανοικτού κύκλου, δηλαδή δουλεύουν με εργαζόμενο μέσο τον αέρα, η ελεγχόμενη μεταβολή στη θερμοκρασία και υγρασία του οποίου συνεπάγεται ρύθμιση της θερμοκρασίας και υγρασίας του κλιματιζόμενου χώρου.

Η αρχή αυτή λειτουργίας, η χρήση δηλαδή απ' ευθείας του κλιματιζόμενου αέρα ως εργαζόμενου μέσου, διαφέρει ριζικά σε σχέση με τα συστήματα ψύξης κλειστού κύκλου, δηλαδή τα συμβατικά συστήματα (συμπύεσης ατμών) ή τα συστήματα ψύξης με απορρόφηση/προσρόφηση (absorption/adsorption). Τα συστήματα αυτά, επεμβαίνουν άμεσα σε κάποιο υγρό εργαζόμενο μέσο, ρυθμίζοντας τελικά τη θερμοκρασία του χώρου μέσω εναλλάκτη υγρού-αέρα, ενώ η υγρασία μεταβάλλεται μη ελεγχόμενα (ξήρανση).

Στα συστήματα ανοικτού κύκλου, επιτυγχάνεται καταρχήν αφύγρανση του αέρα, μέσω του ξηραντικού μέσου, και στη συνέχεια άμεση ρύθμιση της υγρασίας και έμμεση της θερμοκρασίας του, εκμεταλλευόμενοι κατά κύριο λόγο φορτία λανθάνουσας θερμότητας.

Η ανάλυση που ακολουθεί:

- περιγράφει τη διεργασία της απορρόφησης υγρασίας από τα ξηραντικά μέσα (υγρά ή στερεά)
- εξετάζει την τυποποίηση των μέσων αυτών για χρήση σε συστήματα ψύξης δι'αφύγρανσης
- παρουσιάζει την αρχή λειτουργίας των συστημάτων ψύξης με αφύγρανση
- προχωράει σε θερμοδυναμική ανάλυση του κύκλου ψύξης με αφύγρανση
- παρουσιάζει τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ψύξης με στερεό ξηραντικό μέσο, εστιάζοντας στην τυποποίηση και τα χαρακτηριστικά των τροχών ξήρανσης σε εμπορικές εφαρμογές
- παρουσιάζει τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων

ψύξης με υγρό ξηραντικό μέσο, εστιάζοντας στα τεχνολογικά ζητήματα αιχμής που προκύπτουν, βάσει και της εμπειρίας από την εμπορική αξιοποίηση των διατάξεων

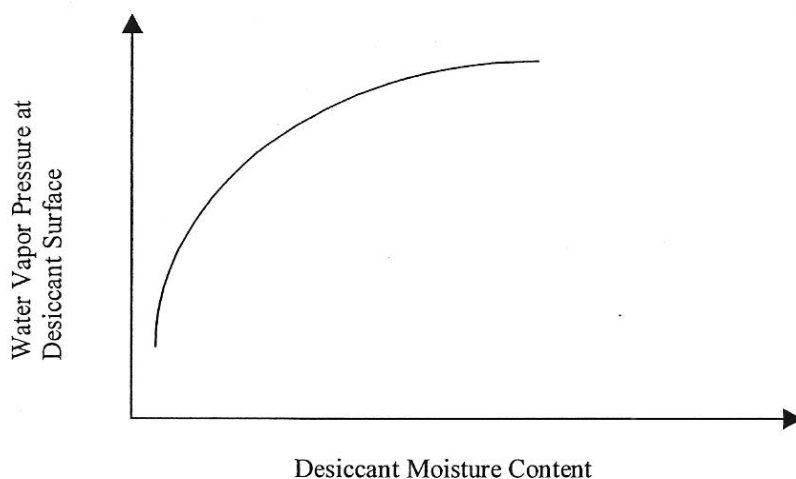
- προχωράει σε συγκριτική αξιολόγηση των δύο τεχνολογιών, εστιάζοντας στο ζήτημα σύζευξης τους με ηλιακό φορέα
- παρουσιάζει τις βασικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης συστήματος ψύξης με αφύγρανση, στο επίπεδο των εμπειρικών μοντέλων των κατασκευαστών ή των αναλυτικών σχέσεων απόδοσης των εναλλακτών

4.3.1. Ξηραντικά μέσα

Η διεργασία της αφύγρανσης

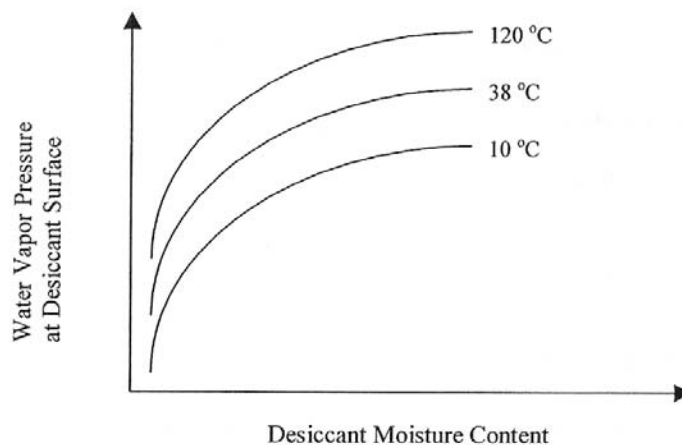
Η διεργασία της αφύγρανσης ή ξήρανσης, αναφέρεται στην ικανότητα κάποιων μέσων να απορροφούν και να κατακρατούν υγρασία. Ουσιαστικά, σχεδόν όλα τα υλικά μπορούν να θεωρηθούν ως ξηραντικά μέσα, υπό την έννοια ότι μπορούν να απορροφήσουν υγρασία, στερούνται όμως της ικανότητας κατακράτησης που έχουν τα θεωρούμενα ως ξηραντικά μέσα. Για παράδειγμα, το νάυλον μπορεί να απορροφήσει υγρασία που φτάνει το 6% του (ξηρού) βάρους του, ενώ για τις μάλλινες ίνες το αντίστοιχο ποσοστό φτάνει το 23%. Από την άλλη τα θεωρούμενα ως ξηραντικά μέσα, απορροφούν υγρασία σε ποσοστό 10-1100% του βάρους τους, ενώ μπορούν να κατακρατούν υγρασία και σε συνθήκες ξηρού αέρα.

Αναφερόμενοι σε στερεά ξηραντικά μέσα, η διεργασία της αφύγρανσης οφείλεται στη χημική έλξη που αναπτύσσεται λόγω διαφοράς στην πίεση των υδρατμών. Ο υγρός αέρας εμφανίζει υψηλή πίεση υδρατμών, σε αντίθεση με τη χαμηλή πίεση υδρατμών του ξηραντικού μέσου, οφειλόμενη στον περιορισμένο αριθμό μορίων νερού στην επιφάνεια του (βλ. σχ.3.1). Αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία, συνεπάγεται αύξηση της επιφανειακής πίεσης των υδρατμών. Συνεπώς η τάση εξίσωσης των πιέσεων προκαλεί το φαινόμενο της αφύγρανσης του αέρα, απορρόφησης της υγρασίας από το απορροφητικό μέσο.



Διάγραμμα 8. Περιεκτικότητα σε υγρασία και πίεση υδρατμών στο αφυγραντικό μέσο

Στο σχ. 2 φαίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας του ξηραντικού μέσου στην καμπύλη επιφανειακής πίεση των υδρατμών - περιεκτικότητας υγρασίας του ξηραντικού μέσου. Αύξηση της θερμοκρασίας του ξηραντικού μέσου συνεπάγεται αύξηση της επιφανειακής πίεσης, άρα μειωμένη ικανότητα απορρόφησης υγρασίας.

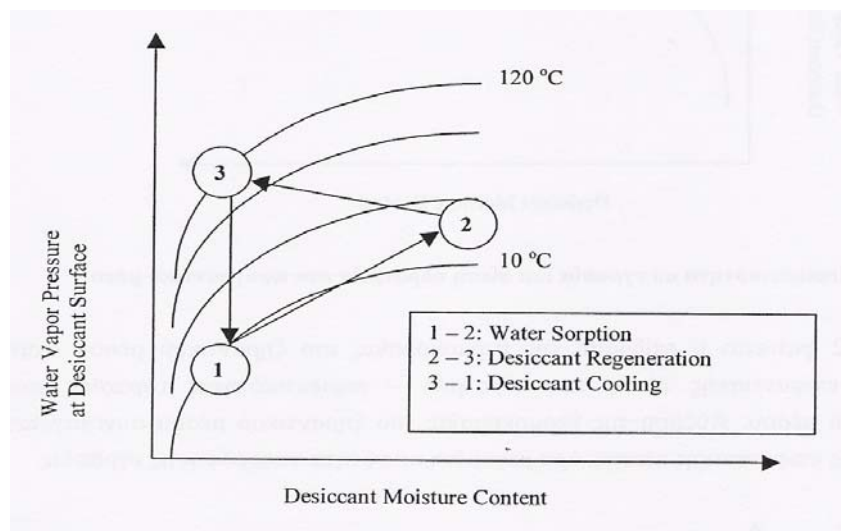


Διάγραμμα 9 .Επίδραση της θερμοκρασίας στην υδρόφιλη ικανότητα του ξηραντικού μέσου

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διεργασία της απορρόφησης υγρασίας, συνοδεύεται από παραγωγή αισθητής θερμότητας, ίσης με τη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης των υδρατμών του αέρα, επαυξημένης κατά ένα ποσοστό 5-25% της θερμότητας αυτής.

Η θέρμανση του ξηραντικού μέσου, σε θερμοκρασίες της τάξης 50-

250°C ανάλογα με το μέσο, μειώνει την ικανότητα του να κατακρατεί υγρασία, αποδεσμεύει το ποσοστό που έχει απορροφήσει, και με νέα ψύξη είναι έτοιμο να επαναλάβει τον κύκλο της απορρόφησης (σχ. 3.3).



Διάγραμμα 10. Κύκλος απορρόφησης/αναγέννησης ξηραντικού μέσου

4.3.2. Τύποι ξηραντικών μέσων

4.3.2.1. Στερεά Ξηραντικά Μέσα

Τα στερεά ξηραντικά μέσα, εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή επιφάνεια επαφής ανά μονάδα μάζας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, 1 gr είναι δυνατό να περιέχει 4,500 m² επιφάνειας επαφής. Δομικά, μοιάζουν με ένα άκαμπτο σφουγγάρι, επιφάνειας αντίστοιχης της ακτογραμμής ενός φιορδ.

Η απορρόφηση της υγρασίας γίνεται λόγω διαφορών στην επιφανειακή πίεση ατμών του ξηραντικού μέσου και του αέρα. Όταν συμπληρωθεί η επιφάνεια επαφής από απορροφώμενους υδρατμούς, το μέσο συνεχίζει τη δράση του, καθώς οι συμπυκνούμενοι υδρατμοί καταλαμβάνουν τις εσωτερικές κοιλότητες του μέσου.

Η απορροφητική ικανότητα των στερεών ξηραντικών μέσων εξαρτάται από τη συνολική επιφάνεια επαφής, τον όγκο των κοιλοτήτων και το εύρος των διαμέτρων των διαμορφούμενων κοιλοτήτων. Μεγάλη επιφάνεια επαφής αυξάνει την απορροφητική ικανότητα σε περιβάλλον χαμηλής σχετικής υγρασίας, ενώ μεγάλος διαθέσιμος όγκος κοιλοτήτων προσφέρει τη

δυνατότητα για κατακράτηση σημαντικού ποσοστού συμπυκνώματος, άρα αυξάνει την απορροφητική ικανότητα σε περιβάλλον υψηλής σχετικής υγρασίας, ενώ μεγάλος διαθέσιμος όγκος κοιλοτήτων προσφέρει τη δυνατότητα για κατακράτηση σημαντικού ποσοστού συμπυκνώματος, άρα αυξάνει τη απορροφητική ικανότητα σε περιβάλλον υψηλής σχετικής υγρασίας.

Τα στερεά ξηραντικά μέσα έχουν χαμηλότερη απορροφητική ικανότητα από αυτή των υγρών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, η δυνατότητα τυπικού στερεού ξηραντικού μέσου, κατακράτησης υγρασίας σε ποσοστό 17% του ξηρού βάρους του, σε ρεύμα διερχόμενου αέρα θερμοκρασίας 21⁰C και 20% rh, όταν το αντίστοιχο ποσοστό για διάλυμα Li-Cl είναι 130%.

Εν τούτοις, η χρήση στερεών ξηραντικών μέσων εμφανίζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Αναφέρεται η δυνατότητα απορρόφησης υγρασίας ακόμη και όταν είναι ιδιαίτερα θερμά, επιτρέποντας την αφύγρανση θερμών αερίων ρευμάτων. Επίσης, υπάρχει κατασκευαστική δυνατότητα στη διαμόρφωση συγκεκριμένων απαιτήσεων, όπως η διάμετρος των πόρων του υλικού. Δεδομένου ότι τα μόρια των υδρατμών έχουν διάμετρο 3.2 nm, η κατασκευή μέσου με διάμετρο στα 4 nm αποτρέπει την απορρόφηση άλλων μορίων, όπως μορίων οργανικών διαλυτών. Η εφαρμογή αυτή παρουσιάζει ενδιαφέρον στην περίπτωση που επιθυμείται η διαδοχική απορρόφηση συστατικών αερίων ρευμάτων, με τη διαδοχική χρήση ξηραντικών μέσων διαφορετικών διαστάσεων.

Η κατασκευή των ξηραντικών μέσων εμφανίζει ιδιαιτερότητες, καθώς δομικά δεν είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένα μέσο με το σύνολο των βασικών του ιδιοτήτων στην ευνοϊκότερη τιμή σε σχέση με την επίδραση στην απορροφητική ικανότητα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μεγάλος όγκος εσωτερικών κοιλοτήτων περιορίζει την επιφανεια επαφής, και κατ' επεκταση την ποιότητα της απορροφητικής ικανότητας.

Στο πλαίσιο αυτό, σε πολλές εφαρμογές, χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα διαφορετικά ξηραντικά μέσα.

Τυπικά ξηραντικά μέσα είναι τα παρακάτω:

- LiCl
- Πυριτική πηκτή (silica gel)

- Ζεόλιθοι (zeolites)
- Συνθετικοί ζεόλιθοι
- Ενεργό οξειδίο του αργιλίου (activated aluminas)
- Ενεργός άνθρακας (activated carbon)
- Συνθετικά πολυμερή (synthetic polymers)

Το LiCl, εμφανίζει ιδιαίτερα αυξημένες ιδιότητες απορρόφησης (absorption) της υγρασίας, και θα πρέπει να σημειωθεί ότι το διάλυμα του στο νερό χρησιμοποιείται ευρέως και στα συστήματα υγρού ξηραντικού μέσου.

Η πυριτική πηκτή αποτελεί στερεά άμορφα συμπυκνώματα διαλυμένων αλάτων διοξειδίου του πυριτίου σε νερό ή άλλους διαλύτες. Εμφανίζει χαμηλό κόστος και απλότητα στη διαμόρφωση υπό συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Οι ζεόλιθοι αποτελούν ομάδα ένυδρων ορυκτών η δομή των οποίων συνίσταται από ένα τρισδιάστατο αργιλοπυριτικό πλέγμα. Η "χαλαρή" κρυσταλλική δομή τους επιτρέπει την κατακράτηση σωματιδίων υγρασίας, το μέγιστο μέγεθος των οποίων καθορίζεται από το μέγεθος των ατόμων του κρυσταλλικού πλέγματος.

Οι συνθετικοί ζεόλιθοι, αναφέρονται και ως "μοριακό κόσκινο", αποτελούν κρυσταλλικά αργιλοπυριτικά άλατα, τα οποία προκύπτουν με θερμική επεξεργασία.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας της διεργασίας και της σύνθεσης των εμπλεκόμενων συστατικών δίνει τη δυνατότητα καθορισμού συγκεκριμένης δομής και επιφανειακών χαρακτηριστικών του ξηραντικού μέσου.

Το ενεργό αλουμίνιο αποτελεί οξειδία και υδρίδια αργιλίου, τα οποία προκύπτουν μέσω θερμικής επεξεργασίας. Η δομή τους ελέγχεται μέσω των αερίων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή τους, τη θερμοκρασία και τη διάρκεια της διεργασίας.

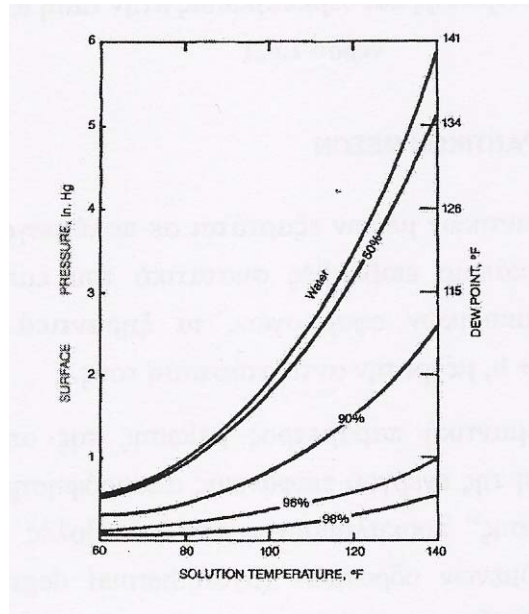
Οι ενεργοί άνθρακες χρησιμοποιούνται συχνότερα για απορρόφηση αερίων παρά υδρατμών, καθώς εμφανίζουν ισχυρότερη έλξη για τα άμορφα μόρια των οργανικών διαλυτών. Εν τούτοις η ικανότητα τους σε απορρόφηση υγρασίας θεωρείται σημαντική (δυνατότητα απορρόφησης σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας 45-100%).

Τα συνθετικά πολυμερή εμφανίζουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης τους ως ξηραντικά μέσα, καθώς η δομή τους αποτελείται από μακριά μόρια, διατεταγμένα σε μορφή "κορδονιών". Η απορρόφηση υδρατμών πραγματοποιείται τόσο στην επιφάνεια των μορίων, όσο και στα διαμορφούμενα διάκενα μεταξύ τους, προσδίδοντας στο μέσο σημαντική ξηραντική ικανότητα. Χαρακτηριστική περίπτωση πολυμερούς ξηραντικού μέσου αποτελεί το άλας νατρίου πολυστυρενοσουλφονικού οξέος (polystyrenesulfonic acid sodium salt/PSSASS).

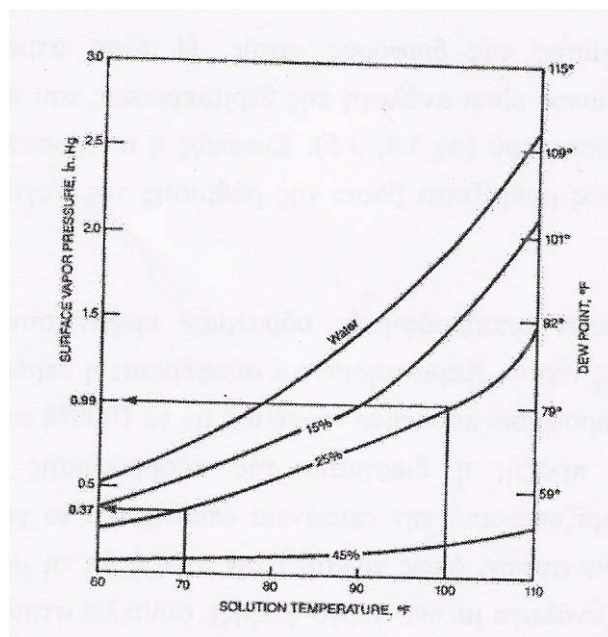
4.3.2.2. Υγρά Ξηραντικά Μέσα

Στα υγρά απορροφητικά μέσα, η τάση ατμών του απορροφητή είναι χαμηλότερη αυτής του νερού. Κατά συνέπεια, η τάση ατμών του διαλύματος εμφανίζεται χαμηλότερη της πίεσης υδρατμών του διερχόμενου αέρα, και η αφύγρανση συμβαίνει συνέπεια της ισοστάθμισης της διαφοράς αυτής. Η τάση ατμών ενός υγρού απορροφητικού διαλύματος είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του και αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης του. Συνεπώς η απορροφητική ικανότητα ενός τέτοιου διαλύματος ρυθμίζεται βάσει της ρύθμισης της συγκέντρωσης ή/και θερμοκρασίας του.

Τα εμπορικά διαλύματα απορρόφησης υδρατμών εμφανίζουν πολύ μεγάλη ικανότητα απορρόφησης νερού. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση του LiCl, το οποίο μπορεί να απορροφήσει ποσότητα νερού ίση με το 1000% του ξηρού βάρους του. Εντούτοις, στην πράξη, η διεργασία της απορρόφησης υδρατμών στα διαλύματα αυτά περιορίζεται από την επιφάνεια επαφής και το χρόνο επαφής. Η αύξηση των παραμέτρων αυτών, όπως γίνεται στην πράξη με τη μορφή ψεκασμού του ξηραντικού μέσου (ανάλογα με ένα πύργο ψύξης), συντελεί στην προσέγγιση της θεωρητικής απορροφητικής ικανότητας του μέσου.



Διάγραμμα 11. Επίδραση συγκέντρωσης και θερμοκρασίας στην τάση ατμών διαλύματος νερού-τριεθυλενογλυκόλης



Διάγραμμα 12. Επίδραση συγκέντρωσης και θερμοκρασίας στην τάση ατμών διαλύματος νερού-LiCl

4.3.2.3. Διάρκεια ζωής ξηραντικών μέσων

Η διάρκεια ζωής των ξηραντικών μέσων εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την αλληλεπίδραση τους με κάποιο επιβλαβές συστατικό του εμπλεκόμενου αέριου ρεύματος. Σε επίπεδο εμπορικών εφαρμογών, τα ξηραντικά μέσα εμφανίζουν λειτουργία για 10-100.000+ h, μέχρι την αντικατάστασή τους.

Για τα στερεά μέσα, σημαντική παράμετρος μείωσης της απορροφητικής τους ικανότητας, είναι η μείωση της ενεργού επιφάνειας απορρόφησης λόγω φραξίματος (clogging) ή λόγω "κόπωσης" προκαλούμενης από μεταβολές της θερμοκρασίας, παρουσία των απορροφούμενων υδρατμών (hydrothermal degradation). Τα υγρά απορροφητικά μέσα εμφανίζουν μεγαλύτερη ευπάθεια στην επίδραση κάποιου επιβλαβούς συστατικού, σε σχέση με τα στερεά ξηραντικά μέσα.

Σε επίπεδο εφαρμογής των ξηραντικών μέσων στην ψύξη, χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε εγκαταστάσεις κλιματισμού, ο εξοπλισμός της αφύγρανσης σχεδιάζεται με στόχο την μείωση της ανάγκης αντικατάστασης του ξηραντικού μέσου, αντίστοιχα με την μείωση της ανάγκης αντικατάστασης του συμπιεστή στις συμβατικές μονάδες.

4.3.3. Η Αξιοποίηση των Ξηραντικών Μέσων στη Διεργασία της Ψύξης Συστήματα Ψύξης με αφύγρανση

4.3.3.1. Αρχή λειτουργίας συστήματος ψύξης με αφύγρανση

Όπως αναφέρθηκε, η αρχή λειτουργίας των συστημάτων ψύξης με αφύγρανση βασίζεται στην αφύγρανση του αέρα, διερχόμενου διαμέσου του ξηραντικού μέσου, και εν συνεχεία στην άμεση ρύθμιση της υγρασίας και έμμεση της θερμοκρασίας του κυρίως μέσω φορτίων λανθάνουσας θερμότητας.

Για τις ανάγκες της παρουσίασης αυτής θα περιγραφεί ένα σύστημα στερεού ξηραντικού μέσου. Το ξηραντικό μέσο, συνήθως silica gel ή ζεόλιθος, ενσωματώνεται σε κατάλληλα διαμορφωμένη διάταξη τροχού, στο εσωτερικό του οποίου βρίσκεται ειδική κυψέλη ή κάποια άλλη διαμόρφωση. Κατά τη

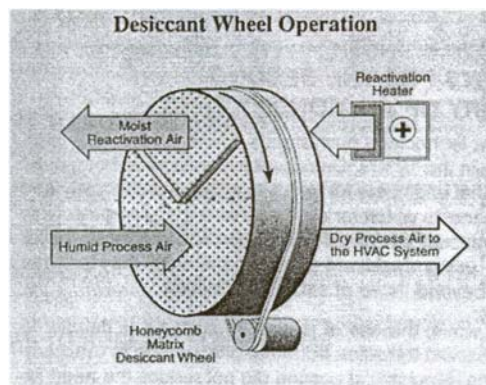
λειτουργία των συστημάτων αυτών (με Α, Β συμβολίζονται τα δύο ρεύματα αέρα, ροής-αντιρροής):

A1. ο αέρας διέρχεται από τον αφυγραντικό τροχό, όπου μειώνεται η περιεκτικότητα του σε υγρασία με ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας

B1. παράλληλα, στην επάνω πλευρά του τροχού, διέρχεται θερμό ρεύμα αέρα, το οποίο χρησιμεύει για τη διεργασία της αναγέννησης του ξηραντικού μέσου, την απαλλαγή δηλαδή του τροχού από την απορροφούμενη υγρασία .

Η ξήρανση του αέρα έχει διπλή σημασία. Αφενός ρυθμίζεται η υγρασία σε χαμηλά επίπεδα, εάν η υγρασία αποτελεί παράμετρο ρύθμισης, αφετέρου, στην περίπτωση που αποτελεί παράμετρο ρύθμισης η θερμοκρασία, ο ξηρός αέρας μπορεί να ψυχθεί στα επιθυμητά επίπεδα μέσω στοιχείου ψύξης με εξάτμιση.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, στον τροχό αφύγρανσης, οφείλεται αφενός στο φαινόμενο της αφύγρανσης (απορρόφηση τμήματος λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης), αφετέρου δε στη μετάδοση θερμότητας από τον αναγεννημένο, θερμό τροχό.



Σχ. 4 . Τροχός στερεού αφυγραντικού μέσου

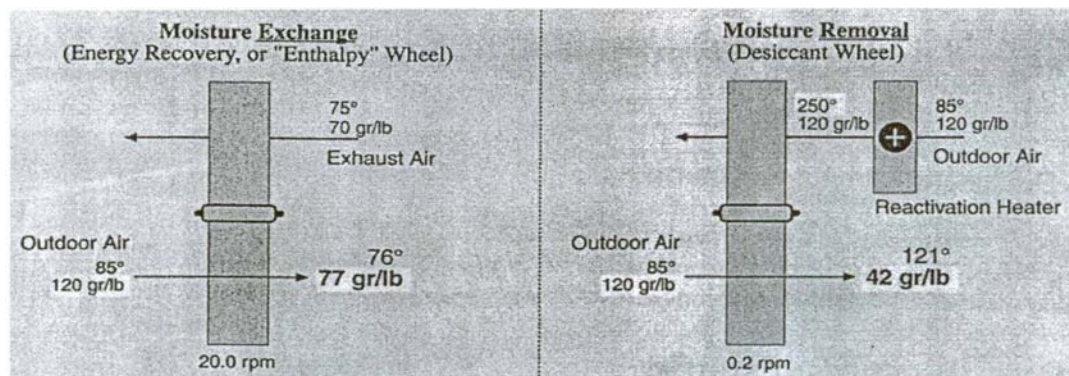
Τροχός ανάκτησης θερμότητας:

A2. Ο ξηρός και θερμός αέρας, διέρχεται μέσα από δεύτερο τροχό, ο οποίος περιέχει μικρή ποσότητα αφυγραντικού μέσου. Ο τροχός της ανάκτησης θερμότητας, αφενός ψύχει τον θερμό αέρα, προς το κτίριο, αφετέρου,

B2. περιέχει μικρή ποσότητα ξηραντικού, ούτως ώστε να μειώσει την

περιεκτικότητα σε υγρασία του ψυχρού ρεύματος αντιρροής,
 Β3. το ψυχρό ρεύμα αντιρροής, αφού θερμανθεί μέσω κατάλληλου
 στοιχείου, θα αναγεννήσει τον τροχό αφύγρανσης,
 Α3. ο ξηρός και ψυχρός πλέον αέρας μπορεί να διοχετευτεί στο κτίριο
 ή, όπως εξηγείται παρακάτω, να υποστεί διεργασία ύγρανσης ή/και
 ψύξης, στα πλαίσια των επιθυμητών επιπέδων ρύθμισης.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι δύο τροχοί (αφύγρανσης και ανάκτησης θερμότητας), αν και κατασκευαστικά ανάλογοι, εμφανίζουν εντελώς διαφορετική λειτουργική συμπεριφορά. Ο τροχός ανάκτησης θερμότητας περιστρέφεται σε σχετικά υψηλή ταχύτητα (20 rpm) ώστε να μεγιστοποιήσει τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ των αέριων ρευμάτων, ενώ ο τροχός της αφύγρανσης περιστρέφεται συγκριτικά πιο αργά (10-20 rph), ούτως ώστε να ευνοήσει την απορρόφηση υγρασίας από το ξηραντικό μέσο.



Σχήμα 5 . Τροχός Αφύγρανσης και τροχός ανάκτησης ενέργειας

4.3.3.2. Εναλλακτικές διεργασίες/διαμορφώσεις –Υβριδικά συστήματα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα συστήματα desiccant μετατρέπουν ένα φορτίο υγρασίας σε φορτίο θερμότητας, είναι δηλαδή κατάλληλα για εφαρμογή σε ζήτηση αυξημένων φορτίων υγρασία και χαμηλών φορτίων αισθητής θερμότητας.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται, για το απλό σύστημα των δύο τροχών, ότι ο αέρας ενδέχεται να εισέλθει στο χώρο ξηρότερος μεν αλλά θερμοκρασιακά σταθερός. Στο πλαίσιο αυτό, και ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο της τελικής ρύθμισης υγρασίας/θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου αέρα, εμφανίζονται διαφοροποιήσεις στη διαμόρφωση των συστημάτων αυτών. Οι εναλλακτικές διαμορφώσεις, αφορούν την τοποθέτηση απλού ψυκτικού

στοιχείου και/ή ψυκτικού στοιχείου με εξάτμιση , (A, B αναφέρονται πάλι στα δύο ρεύματα) :

A. Το απλό στοιχείο ψύξης ρυθμίζει τη θερμοκρασία του εισερχόμενου στο κτίριο αέρα. Παράλληλα, είναι δυνατό να ακολουθήσει στοιχείο ψύξης με εξάτμιση, το οποίο εστιάζει περισσότερο στη ρύθμιση της υγρασίας.

B. Αντίστοιχο στοιχείο είναι δυνατό να τοποθετηθεί και πριν τον τροχό ανάκτησης θερμότητας, στο ρεύμα του αέρα αναγέννησης. Φυσικά πιθανή αύξηση της υγρασίας του είναι διαχειρίσιμη στον τροχό ανάκτησης θερμότητας.

4.3.4. Θερμοδυναμική Ανάλυση Κύκλου Ψύξης με Αφύγρανση

Η βασική λειτουργία της διεργασίας ψύξης με αφύγρανση περιγράφηκε πιο πάνω. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί ο θερμοδυναμικός κύκλος της διεργασίας στο ψυχομετρικό διάγραμμα του ατμοσφαιρικού αέρα και θα γίνουν κάποιοι βασικοί υπολογισμοί.

Οι μεταβολές είναι:

- 1-2: Ξήρανση (μείωση w & αύξηση T λόγω απορρόφησης τμήματος της παραγόμενης θερμότητας αλλά και λόγω μετάδοσης θερμότητας από το θερμαινόμενο-αναγεννούμενο τμήμα του τροχού)
- 2-3: Ανάκτηση θερμοκρασίας
- 4-5: Υγροποίηση / Ψύξη δ'εξάτμισης (αύξηση w , πτώση T)
- 6-7: Υγροποίηση / Ψύξη δ'εξάτμισης (αύξηση w , πτώση T)
- 7-8: Θέρμανση (λόγω πρόσδωσης θερμότητας από το ρεύμα εισόδου)
- 8-9: Θέρμανση (από την πηγή ενέργειας)
- 9-10: Ψύξη (λόγω πρόσδωσης θερμότητας στο αναγεννούμενο μέσο)

Ένας τυπικός θερμοδυναμικός κύκλος, στο ψυχομετρικό διάγραμμα του αέρα ($P=1 \text{ atm}$), Πρόκειται για παράδειγμα υφιστάμενης εγκατάστασης,

στην Αγγλία . Οι συντεταγμένες (T,w) των σημείων της διεργασίας είναι :
 Η θερμοκρασία του αέρα αναγέννησης φτάνει τους
 55°C.

Οι μεταβολές των δύο ρευμάτων δεν μπορούν να συσχετιστούν, παρά μόνο η
 εναλλαγή θερμότητας στον εναλλάκτη ($q_{sens,2-3} = q_{sens,7-8}$).

Χαρακτηριστικά μεγέθη της διεργασίας αποτελούν το *συνολικό φορτίο*,
 το οποίο αναφέρεται στη μεταβολή που υφίσταται ο αέρας εισόδου στο κτίριο,
 καθώς και το *εσωτερικό φορτίο* που αναφέρεται στο φορτίο του χώρου που
 καλύπτει το σύστημα. φορτία αυτά διαχωρίζονται σε *αισθητό* και *λανθάνον*.
 Σύμφωνα με το θερμοδυναμικό διάγραμμα:

$$Q_{sen_συν} = \dot{m}(h_2' - h_1) = \dot{m}C_p(T_2' - T_1) \quad [\text{εξ.3.1α}]$$

$$Q_{lat_συν} = \dot{m}(h_2'' - h_1) \quad [\text{εξ.3.1β}]$$

$$Q_{sen_εσωτ} = \dot{m}(h_6' - h_5) = \dot{m}C_p(T_6' - T_5) \quad [\text{εξ.3.1γ}]$$

$$Q_{lat_εσωτ} = \dot{m}(h_6'' - h_5) \quad [\text{εξ.3.1δ}]$$

όπου οι δείκτες 'ή '' αναφέρονται στις αντίστοιχες ισοθερμοκρασιακές και
 σταθερής σχετικής υγρασίας διεργασίες που συνθέτουν τη μεταβολή , ή είναι
 δυνατό να συνδέσουν τις καταστάσεις .

Ενδεικτικά, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, για παροχή του αέριου ρεύματος
 εισόδου στο κτίριο 5000 m³/h, το συνολικό αισθητό φορτίο που καλύπτεται
 είναι 15.2 kW, το λανθάνον 10.7 kW, ενώ ο ρυθμός αφαίρεσης υγρασίας από
 τον εισερχόμενο στο κτίριο αέρα 15.6 kg/h. Αντίστοιχα καλύπτονται 8.4 kW
 αισθητού φορτίου, 5.3 kW λανθάνοντος και πραγματοποιείται αφαίρεση
 υγρασίας 7.8 kg/h από το κτίριο.

4.3.5. Συστήματα Ψύξης Στερεού Ξηραντικού Μέσου

Η βασική αρχή λειτουργίας των συστημάτων ψύξης στερεού
 ξηραντικού μέσου περιγράφηκε παραπάνω. Ο πυρήνας των συστημάτων
 αυτών είναι ο τροχός αφύγρανσης (καθώς και ο τροχός ανάκτησης ενέργειας,
 κατά δεύτερο λόγο), ο οποίος και περιέχει το ξηραντικό. Στη συνέχεια,
 ανάλογα με το επιθυμητό θερμοκρασιακό επίπεδο, ενδέχεται ο κλιματιζόμενος

αέρας να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία ψύξης.

4.3.5.1. Τροχοί αφύγρανσης - STATE OF THE ART

4.3.5.1.1. Βασικοί τύποι

Κατά τη δεκαετία του '70, τα συστήματα αφύγρανσης ξηραντικού μέσου, έβρισκαν βιομηχανική εφαρμογή, σε ειδικές διεργασίες όπως η κατασκευή προϊόντων ευαίσθητων στην υγρασία (φαρμακευτικά προϊόντα, ηλεκτρονικά εξαρτήματα κλπ.), καθώς και στην προστασία από διάβρωση, υγρασία κατά τη διάρκεια αποθήκευσης διάφορων προϊόντων. Προς το τέλος της δεκαετίας του '70, το αυξημένο ενδιαφέρον για τα ενεργειακά θέματα έδωσε ώθηση στην έρευνα συστημάτων αφύγρανσης ξηραντικού μέσου για εμπορικές και οικιακές εφαρμογές. Οι περισσότεροι αφυγραντές χρησιμοποιούσαν (π.χ Bry Air) στρωματοποιημένες διατάξεις (packed beds) πυριτικής πηκτής ή άλλων σωματιδίων στερεού ξηραντικού μέσου, τονίζοντας το βασικό μειονέκτημα της υψηλής πτώσης πίεσης (και της απαίτησης για αυξημένη ισχύ των ανεμιστήρων).

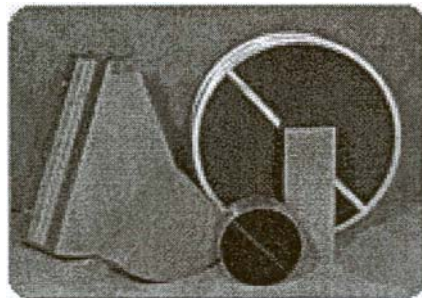
Για πολλά χρόνια, η Cargocaire Engineering χρησιμοποιούσε τροχούς με δομή κερήθρας (honeycomb), από πορώδες χαρτί ή fiberglass ημιτονοειδούς διαμόρφωσης, πληρωμένων με LiCl ή συνθετικό ζεόλιθο. Τη δεκαετία του '80 οι τροχοί με LiCl άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογή στα supermarket, για αφύγρανση του αέρα στα μεγάλα ψυγεία. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τροχοί τύπου κερήθρας εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερη πτώση πίεσης από τους τροχούς τύπου packed bed, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλοι για εφαρμογές κλιματισμού χώρων.

Κατά τη δεκαετία του '80, η έρευνα εστίασε στην ανάπτυξη καλύτερων υλικών και τροχών με γεωμετρία στρωτή ροής, για την ελαχιστοποίηση της πτώσης πίεσης. Ένα βασικό πρόβλημα των τροχών LiCl, είναι η τάση τους να "δακρύζουν" σε περιβάλλοντα υψηλής σχετικής υγρασίας, αναδεικνύοντας την επιλογή του silica gel ως καταλληλότερου υλικού. Εν τούτοις, για εφαρμογές κλιματισμού χώρων, το υλικό αυτό δεν ήταν βελτιστοποιημένο.

Στο πλαίσιο αυτό, στις αρχές της δεκαετίας του '90 η εταιρεία Munters ανέπτυξε ένα τροχό με υλικό silica gel επεξεργασμένο με τιτάνιο (titanium

treated). Παράλληλα άλλοι κατασκευαστές εστίαστηκαν στην χρήση ξηραντικών μέσων δομής 1M ("type 1 M"). Σε περιβάλλοντα μέτριας σχετικής υγρασίας, ένα τέτοιο μέσο κατακρατάει περισσότερη υγρασία από το silica gel[5]. Η εταιρεία LaRocheNovelairé ανέπτυξε τροχούς ξηραντικών μέσων δομής 1M με γεωμετρία ημιτονοειδών περασμάτων. Παράλληλα αναφέρεται η προσπάθεια των ICC Technologies και Engelhard Corporation, οι οποίες εμπορεύονται τροχό αφύγρανσης αποτελούμενο από υλικό πυριτίου επεξεργασμένου με τιτάνιο (titanium silicate material), δομής 1M, με εξαγωγικά περάσματα αέρα.

Στη σημερινή αγορά, αναφέρονται χαρακτηριστικά οι τροχοί τις Munters(Σουηδία, ΗΠΑ) και της LaRocheNovelairé (ΗΠΑ) . Οι τροχοί της Munters εμφανίζονται σε τρεις τύπους: LiCl, Titanium silica gel και συνθετικών ζεόλιθων. Οι τροχοί αυτοί, με διαμόρφωση κερήθρας, αναφέρεται να εμφανίζουν στρωτή ροή (χαμηλή πτώση πίεσης), ενώ τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται ανάλογα με το ξηραντικό μέσο.



Εικόνα 2.Στοιχεία τροχών αφύγρανσης της εταιρείας Munters

Ειδικότερα:

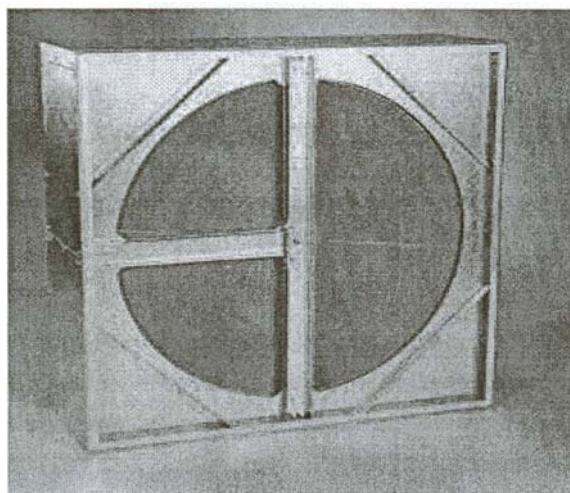
- το LiCl, εμφανίζει υψηλή δυνατότητα κατακράτησης υγρασίας, σε ποσοστό δεκαπλάσιο του βάρους του και θεωρείται από τα πλέον υγροσκοπικά συστατικά, σε μεγάλο εύρος συνθηκών αέρα. Παράλληλα, δρα αντιβακτηριδιακά, ενώ εμφανίζει, ως άλας, σταθερές χημικές ιδιότητες και δεν αντιδρά με τα συστατικά του αέριου ρεύματος. Γενικά, οι τροχοί με LiCl θεωρούνται υψηλής απόδοσης, δεδομένου ότι απαιτείται μικρή μάζα ξηραντικού μέσου για υψηλή δυνατότητα απορρόφησης υγρασίας, άρα και μικρότερο βάρος και όγκος του τροχού.
- το titanium silica gel εμφανίζει χαμηλότερη ικανότητα κατακράτησης υγρασίας από το LiCl (το ποσοστό απορροφούμενης υγρασίας

φτάνει το 40% του βάρους του), με το πλεονέκτημα ότι λειτουργεί ικανοποιητικά σε περιβάλλοντα υψηλής σχετικής υγρασίας, όπου το LiCl εμφανίζει προβλήματα.

- ο συνθετικός ζεόλιθος έχει τη δυνατότητα λειτουργίας σε περιβάλλοντα εξαιρετικά χαμηλού DP ($-40^{\circ}P$ to $-80^{\circ}P$) ή υψηλών θερμοκρασιών, και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν βαθιά αφύγρανση του αέρα. Από την άλλη θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συνθετικός ζεόλιθος είναι ευπαθής σε υψηλές συγκεντρώσεις ισχυρών οξέων ή βάσεων.

Η εταιρεία Novel_Aire εμπορεύεται τροχούς τριών τύπων silica gel, 1M και συνθετικού ζεόλιθου. Το υλικό του πλαισίου είναι γαλβανισμένο ατσάλι με νεύρο από αλουμίνιο . Ειδικότερα οι τροχοί:

- silica gel (WSG), βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές βιομηχανικής αφύγρανσης, χαμηλού dew point, και κορεσμένων αέριων ρευμάτων
- 1M (LCX), βρίσκουν χρήση σε εφαρμογές αφύγρανσης καλοκαιρινών κλιματικών συνθηκών, καθώς και σε συστήματα ψύξης υψηλών θερμοκρασιών αναγέννησης συνθετικού ζεόλιθου (T3), βρίσκουν χρήση σε εμπορικές εφαρμογές συστημάτων ψύξης με αφύγρανση χαμηλής θερμοκρασίας αναγέννησης.



Εικόνα 3.Εμπορικός τροχός αφύγρανσης της εταιρείας Novelaire

Άλλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται σήμερα στο χώρο των τροχών αφύγρανσης είναι[8] η Seibu Giken, Nichias (Ιαπωνία), DRI (Ινδία),

Klingenburg (Γερμανία), ProFlute (Σουηδία), Seasons4 (ΗΠΑ), κλπ.

4.3.5.1.2. Χαρακτηριστικά απόδοσης τροχών αφύγρανσης

Η απόδοση της αφύγρανσης, η ικανότητα δηλαδή του τροχού να αφαιρεί υγρασία από το ρεύμα αέρα, σχετίζεται με διάφορες παραμέτρους[9], αναφέροντας χαρακτηριστικά την θερμοκρασία και υγρασία του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, τα χαρακτηριστικά και την ποσότητα του υλικού απορρόφησης, το πάχος του τροχού, την επιφάνεια επαφής της κατάλληλα διαμορφωμένης κυψέλης, την ταχύτητα του εισερχόμενου ρεύματος αέρα, και την ταχύτητα περιστροφής του τροχού. Η ρύθμιση των παραμέτρων αυτών στοχεύει στην εξασφάλιση των ευνοϊκότερων συνθηκών για τη διεργασία απορρόφησης, δηλαδή την ευνοϊκότερη επαφή με το απορροφητικό μέσο του ρεύματος αέρα. Τυπικά εμπορικά συστήματα έχουν διάμετρο 0.1-6m, πάχος 4-8", περιστρέφονται με ταχύτητα της τάξης του 0.2 rpm και είναι ικανά για αφύγρανση αέριων ρευμάτων παροχής 500-45.000 cfm.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τις βασικότερες παραμέτρους ρύθμισης της διεργασίας απορρόφησης, είναι η θερμοκρασία αναγέννησης του μέσου, η οποία εξασφαλίζει την ανανέωση του μέσου απορρόφησης. Οι τροχοί που κυκλοφορούν στο εμπόριο αναγεωούνται σε θερμοκρασίες 82-107°C[9].

Η ποσοτική προσέγγιση της διεργασίας της αφύγρανσης, αναφέρεται, σε δύο δείκτες, MRC & RSHI[10]. Ο δείκτης MRC, εκφράζει την ποσότητα υγρασίας που αφαιρεί ο τροχός στη μονάδα του χρόνου (lb/hr). Πρόκειται για χαρακτηριστικό μέγεθος του τροχού, το οποίο μεταβάλλεται με την επιφάνεια αναφοράς. Ο δείκτης RSHI, εκφράζει την προσδιδόμενη ενέργεια αναγέννησης, στη μονάδα μάζας της απορροφούμενης υγρασίας (kBtu/lb).

Οι τροχοί χαρακτηρίζονται στην Αμερική σύμφωνα με το πρότυπο ARI*, σε συγκεκριμένες συνθήκες. Για ταχύτητα ανέμου 3m/s και T αναγέννησης = 107°C, ο δείκτης MRC παίρνει τις ακόλουθες τυπικές τιμές (d=30 in) :

Πίνακας.1 .Τιμές δείκτη MRC για εμπορικούς τροχούς desiccant

T_{in} (OC)_ w_{in} (gr/lb)	MRC (lb/hr)
35 - 98	50
27 -123	76
27 -77-	54
7 -44	45

Παράλληλα για τυπικούς τροχούς της αγοράς αναφέρονται[11] οι τιμές MRC στο εύρος 125-600 lb/hr, ενώ πρέπει να σημειωθούν οι ιδιαίτερα αυξημένες τιμές των υγρών ξηραντικών μέσων.

Συνοψίζοντας, η εξέλιξη των τροχών desiccant σχετίζεται με τη δυνατότητα επίτευξης υψηλών τιμών ρυθμού αφαίρεσης υγρασίας, σε συνδυασμό με χαμηλή πτώση πίεσης και χαμηλότερες δυνατές τιμές θερμότητας αναγέννησης (δείκτης RSHI : kBtu/lb). Οι ιδιότητες αυτές συνδέονται άμεσα με τις ιδιότητες (και τη γεωμετρία) των ξηραντικών μέσων.

4.3.6. Συστήματα Ψύξης Υγρού Ξηραντικού Μέσου

4.3.6.1. Βασική αρχή λειτουργίας

Αν και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανάπτυξη στην κατασκευή εμπορικών συστημάτων στερεού ξηραντικού μέσου, τα συστήματα υγρού μέσου, σταθερά καταλαμβάνουν σημαντικό μερίδιο της αγοράς.

Τα συστήματα αυτά διαχωρίζονται σε δύο βασικές περιοχές, όπου εκτελούνται ανάλογες διεργασίες. Στη μία πλευρά της εγκατάστασης (απορροφητής), ο αέρας διέρχεται του ψεκαζόμενου απορροφητικού μέσου, όπου και γίνεται ρύθμιση της υγρασίας και θερμοκρασίας του. Η υγρασία ρυθμίζεται βάσει της συγκέντρωσης του απορροφητικού διαλύμματος, ενώ η θερμοκρασία βάσει της θερμοκρασίας του απορροφητικού μέσου. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι η θερμοκρασία του απορροφητικού μέσου ρυθμίζεται μέσω πύργου ψύξης ή συμβατικής διάταξης. Το απορροφητικό μέσο, διοχετεύεται

στην άλλη πλευρά της εγκατάστασης (αναγεωητής), όπου και αναγεωάται μέσω διερχόμενου ρεύματος θερμού αέρα. Η πηγή θέρμανσης μπορεί να αξιοποιεί συμβατική πηγή ενέργειας, απορριπτόμενη θερμότητα, ή ηλιακή ενέργεια.

Αναλύοντας κάποιες κατασκευαστικές λεπτομέρειες, στην έξοδο του κλιματιζόμενου αέρα και του αέριου θερμού ρεύματος αναγέννησης, υπάρχουν φίλτρα που εμποδίζουν τυχόν διαφυγή του υγρού απορροφητικού μέσου, αποφεύγοντας και διάβρωση των αεραγωγών.

Το απορροφητικό μέσο που διέρχεται από το ρεύμα του κλιματιζόμενου αέρα, συλλέγεται σε μια λεκάνη. Η λεκάνη αυτή συνδέεται βαρυτικά με λεκάνη που βρίσκεται στο τμήμα της εγκατάστασης αναγέννησης, ώστε να γίνεται αυτόματη τροφοδότηση των δύο τμημάτων.

Η στάθμη τη λεκάνης απορρόφησης αποτελεί την παράμετρο (βάσει κατάλληλου αισθητηρίου) για την ποσοτική ρύθμιση της προσδιδόμενης ενέργειας αναγέννησης.

Οι χρησιμοποιούμενες αντλίες, οδηγούν το απορροφητικό μέσο στους εναλλάκτες θερμότητας (πύργος ψύξης ή ψύκτης-απορροφητής και εναλλάκτης θερμού αναγεωητής), ενώ τροφοδοτούν και τον ψεκασμό στα τμήματα απορρόφησης και αναγέννησης.

Σε σχέση με τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί για τα υγρά απορροφητικά μέσα, επισημαίνεται το πλεονέκτημα της δυνατότητας ρύθμισης της απορροφητικής ικανότητας του απορροφητικού μέσου, τόσο μέσω της θερμοκρασίας του, όσο και της συγκέντρωσης του. Στο πλαίσιο αυτό, είναι δυνατό να γίνει ταυτόχρονη ικανοποίηση των απαιτήσεων σε υγρασία και θερμοκρασία του κλιματιζόμενου αέρα.

Όπως φαίνεται, τα συστήματα υγρού μέσου, εμφανίζουν απλό σχεδιασμό, αν και κατασκευαστικά παρουσιάζονται προβλήματα λόγω της διαβρωτικής ικανότητας του απορροφητικού μέσου και της ενδεχόμενης πολυπλοκότητας που εμφανίζει η σύνδεση τμημάτων της εγκατάστασης σε διαφορετικά τμήματα του κτιρίου.

4.3.6.2. Συστήματα ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου- STATE OF THE ART

4.3.6.2.1. Κύρια χαρακτηριστικά εμπορικών συστημάτων

Αν και τα συστήματα υγρού ξηραντικού μέσου εμφανίζουν αρκετά περιορισμένη εφαρμογή σε κτίρια, εμφανίζουν ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία καθώς έχουν τη δυνατότητα διαχείρισης υψηλών φορτίων λανθάνουσας θερμότητας, προς τη ρύθμιση υγρασίας σε στενά όρια, ή στην επίτευξη αρκετά χαμηλών επιπέδων υγρασίας .

Στοιχεία από τα εμπορικά συστήματα των ουσιαστικά μοναδικών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στο χώρο, στις ΗΠΑ, Kathabar Inc. & Niagara Blower CO., αναφέρουν ως εργαζόμενο μέσο διάλυμα LiCl ή κάποιας γλυκόλης αντίστοιχα.

Το πλεονέκτημα της γλυκόλης είναι ότι δεν είναι τόσο διαβρωτική. Από την άλλη εμφανίζει μεγάλη πίεση ατμών στις θερμοκρασίες της αναγέννησης, οπότε και μεγάλες ποσότητες μεταφέρονται στο περιβάλλον (εξάτμιση) με το διερχόμενο θερμό ρεύμα αέρα αναγέννησης. Εν τούτοις, ερευνώνται λύσεις εξασθένισης του φαινομένου αυτού.

Το διάλυμα LiCl αποτελεί ιδανικό μέσο για τα συστήματα αυτά, στο βαθμό που μπορεί να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της διάβρωσης. Εμφανίζει μηδενική τάση ατμών σε υψηλές θερμοκρασίες αναγέννησης, άρα δεν εμφανίζει και απώλειες εξάτμισης στο θερμό ρεύμα αέρα αναγέννησης. Η ικανότητα εκμετάλλευσης υψηλών θερμοκρασιών αναγέννησης, χαρακτηρίζει τα συστήματα αυτά από υψηλή απόδοση ($COP > 1.0$), ενώ δίνει τη δυνατότητα για μελλοντική ανάπτυξη και συστημάτων double-effect, με το COP να αναμένεται στα επίπεδα του 2.0. Το πρόβλημα της διάβρωσης, το οποίο και έχει χαρακτηρίσει τα συστήματα LiCl ως απαιτητικά στη συντήρηση, αντιμετωπίζεται στην πράξη με την αντικατάσταση μεταλλικών μερών της εγκατάστασης από πλαστικά.

Συνεπώς το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζουν τα συστήματα LiCl είναι η πιθανότητα απώλειας του μέσου από το ρεύμα αέρα της απορρόφησης, αν και οι προοπτικές ανάπτυξης ενός μέσου με μηδενική τάση διαφυγής είναι αυξημένες.

4.3.6.2.2. Προοπτικές ανάπτυξης συστημάτων ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου

Τα βασικά ζητήματα που ανακύπτουν, και έχουν σχέση με την ανάπτυξη της ανταγωνιστικότητας των συστημάτων αυτών, αναφέρονται στη βελτίωση των διεργασιών στον απορροφητή και αναγεννητή. Ως συστήματα αναφοράς θεωρούνται τα συστήματα LiCl.

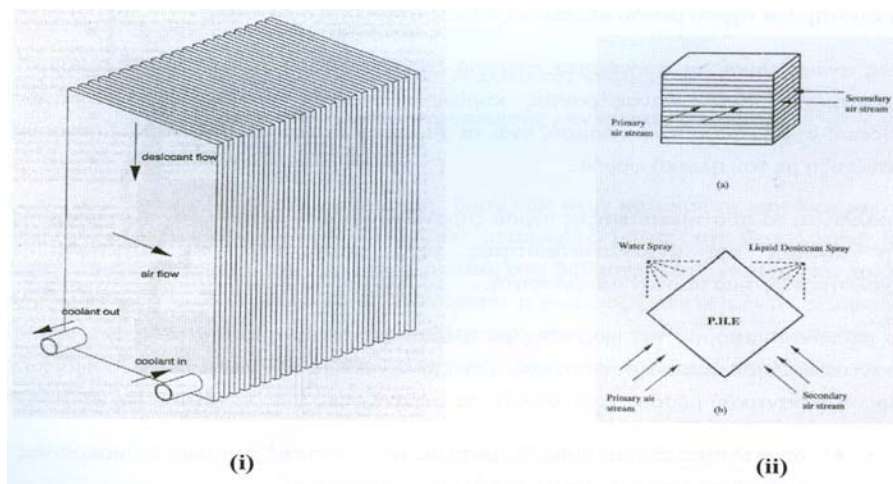
Ένας τυπικός απορροφητής, αποτελείται από κυψελλοειδή συσκευασία πάχους 36-ίν, διαμέσου της οποίας διέρχονται αντίρροπα ή κάθετα το ψεκαζόμενο ξηραντικό μέσο και το ρεύμα αέρα. Η συσκευασία είναι κατασκευασμένη από πλαστικό ενισχυμένο με γραφίτη, ούτως ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση.

Το ξηραντικό μέσο ψεκάζεται σε μεγάλες ταχύτητες. Η πρακτική αυτή αποσκοπεί: (i) στην εξασφάλιση ικανοποιητικής διαβροχής της συσκευασίας, (ii) στη διαθεσιμότητα ικανοποιητικής ποσότητας ρευστού, ούτως ώστε η απορρόφηση από το ξηραντικό μέσο της παραγόμενης κατά την αφύγρανση θερμότητας να μην οδηγεί σε μεγάλη άνοδο της θερμοκρασίας του. Εν τούτοις, η υψηλή παροχή ξηραντικού μέσου στον απορροφητή, δημιουργεί προβλήματα καθώς θα πρέπει:

- τα περάσματα του αέρα να είναι ευρεία ώστε να διευκολύνεται η ροή του αέρα, περιορισμός που αυξάνει το μέγεθος άρα και το κόστος του απορροφητή
- οι ταχύτητες του αέρα να είναι χαμηλές, ούτως ώστε να αποφεύγεται μεγάλη πτώση πίεσης στη διάταξη του απορροφητή και ενσωμάτωση σταγόνων του ξηραντικού μέσου στο ρεύμα του αέρα, εν τούτοις και ο περιορισμός αυτός αυξάνει το μέγεθος, λόγω της ανάγκης ικανοποίησης των απαραίτητων παροχών, άρα και το κόστος
- να χρησιμοποιούνται μεγάλες αντλίες, αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας

Παράλληλα, στην περίπτωση της υψηλής παροχής, εμφανίζεται χαμηλή μεταβολή της συγκέντρωσης του ξηραντικού μέσου στον απορροφητή.

Η αποτελεσματική χρησιμοποίηση απορροφητή χαμηλής παροχής ξηραντικού μέσου, έχει νόημα μόνο αν μπορεί να επιτευχθεί εσωτερική, ταυτόχρονη της διεργασίας ξήρανσης, ψύξη του απορροφητή. Οι προτεινόμενες λύσεις είναι δύο, ψύξη : (i) με κυκλοφορία κρύου ρευστού διαμέσου ειδικών περασμάτων στον απορροφητή, (ii) μέσω εξάτμισης, βάσει της ταυτόχρονης κυκλοφορίας μέσω των περασμάτων του απορροφητή ρεύματος νερού και αέρα .



Σχήμα 6. Διαμορφώσεις απορροφητή υγρού ξηραντικού μέσου ανάλογα με την ψυκτική διεργασία

Η βελτίωση της διεργασίας του αναγεννητή, αναφέρεται στη δυνατότητα ανάπτυξης 2-βάθμιων συστημάτων κλπ., αξιοποιώντας την λειτουργική ικανότητα του LiCl σε υψηλές θερμοκρασίες αναγέννησης. Αν και η πρακτική αυτή εφαρμόζεται ευρέως στα συστήματα κλειστού κύκλου (absorption), στα ανοιχτού κύκλου εμφανίζει ιδιαιτερότητες. Οι ιδιαιτερότητες-περιορισμοί αναφέρονται στην εμπλοκή στη διεργασία μη συμπυκνούμενων αερίων, όπως το οξυγόνο, καθώς το μέσο βρίσκεται σε επαφή με το περιβάλλον, και στα προβλήματα της διάβρωσης.

4.3.7. Συστήματα Ψύξης Στερεού και Υγρού Ξηραντικού Μέσου- Συγκριτική Αξιολόγηση Δυνατότητας Σύζευξης με Ηλιακό Φορέα

Τα συστήματα υγρού και στερεού ξηραντικού μέσου, αν και βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, εμφανίζουν πολλές διαφορές οι οποίες υποδεικνύονται από αυτή ακριβώς τη διαφορά στη φύση του μέσου. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στα στερεά δεν πραγματοποιείται ψύξη του

τροχού μετά την αναγέννηση, ενώ στα υγρά αποτελεί απαίτηση για επαναφορά της απορροφητικής ικανότητας. Επιπρόσθετα, στα συστήματα στερεού μέσου η αναγέννηση του τροχού πραγματοποιείται ουσιαστικά ταυτόχρονα με τη διεργασία της ξήρανσης (μέσω της περιστροφής του τροχού), ενώ στα συστήματα υγρού μέσου αποτελεί εντελώς αυτόνομη διεργασία.

Όπως αναφέρθηκε, τα συστήματα στερεού ξηραντικού μέσου αποτελούν εμπορικά ανεπτυγμένες λύσεις, αναφέροντας κυρίως εφαρμογές υβριδικών συστημάτων desiccant-συμβατικού κλιματισμού, ενώ τα χαρακτηριστικά της διεργασίας ευνοούν τη σύζευξη με τον ηλιακό φορέα.

Παράλληλα, τα συστήματα ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου εμφανίζουν περιορισμούς στην αύξηση της ανταγωνιστικότητας τους, εστιάζοντας σε συγκεκριμένα τεχνολογικά ζητήματα στον απορροφητή.

Στο επίπεδο αναφοράς της σύζευξης με ηλιακό φορέα τα συστήματα ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου εμφανίζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα έναντι των συστημάτων στερεού ξηραντικού μέσου. Αναλυτικότερα εμφανίζουν :

- δυνατότητα αξιοποίησης θερμότητας αναγέννησης χαμηλής θερμοκρασίας (καταλληλότητα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας)
- δυνατότητα αποθήκευσης ποσότητας διαλύματος του απορροφητή, σε περίπτωση που το ψυκτικό φορτίο (ή η θερμότητα αναγέννησης) είναι χαμηλό ~ μείωση ανάγκης αποθήκευσης ζεστού νερού στην περίπτωση του ηλιακού φορέα
- δυνατότητα ενσωμάτωσης ψύξης με εξάτμιση στον απορροφητή, η οποία έχει ως συνέπεια την έμμεση αναγέννηση του απορροφητή ~ μείωση της απαίτησης θερμότητας αναγέννησης (σημαντικό για σύζευξη με ηλιακό φορέα), ενώ εμφανίζουν και ορισμένα γενικότερα πλεονεκτήματα, όπως:
- μικρότερη πτώση πίεσης αέρα, άρα μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
- εν γένει, χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης
- δυνατότητα εξάλειψης βιολογικών ρύπων (βακτήρια, μικρόβια) του κλιματιζόμενου αέρα

4.3.8 Μοντελοποίηση Συστήματος Ψύξης με Αφύγρανση

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος ψύξης με αφύγρανση εστιάζεται στην προσομοίωση των βασικών διεργασιών που συνθέτουν τον κύκλο της ψύξης. Αντίστοιχα με τη διάταξη της διεργασίας, και για σύστημα στερεού ξηραντικού μέσου, αναφέρονται:

- Τροχός ξήρανσης (ξήρανση μέσου)
- Τροχός ανάκτησης ενέργειας (εναλλάκτης ψύξης)
- Υγροποιητής (Ψύξη μέσω υγροποίησης - evaporative cooling)
- Εναλλάκτης θερμής πηγής

Η προσομοίωση του τροχού αφύγρανσης βασίζεται στην κατανόηση των φαινομένων και αριθμητική επίλυση των εξισώσεων μεταφοράς μάζας και θερμότητας που περιγράφουν το φαινόμενο. Στο επίπεδο αυτό, στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλές προσεγγίσεις. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η ανάπτυξη πεπλεγμένων εξισώσεων δυναμικού (potential functions). Εναλλακτικά αναφέρεται η προσέγγιση του τροχού desiccant ως εναλλάκτη, με ισχυρή εξάρτηση της απόδοσης του από τις συνθήκες λειτουργίας:

όπου $s-e$ τα ρεύματα προσαγωγής και επιστροφής του εναλλάκτη, $i-o$ είσοδος και έξοδος του κάθε ρεύματος, και το X αντιπροσωπεύει θερμοκρασία, υγρασία και ενθαλπία για βαθμό απόδοσης που αναφέρεται σε αισθητή, λανθάνουσα διεργασία και ή συνολικό βαθμό απόδοσης ταυτόχρονα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με την περίπτωση των εναλλακτών αισθητής θερμότητας, ο παρανομαστής της παρακάτω σχέσης δεν εκφράζει τη μέγιστη δυνατή θερμοδυναμική ενεργειακή μεταφορά, με αποτέλεσμα ο βαθμός απόδοσης να παίρνει τιμές και έξω από το εύρος $[0,1]$. Ο βαθμός απόδοσης εμφανίζει ισχυρή εξάρτηση στις συνθήκες λειτουργίας και η ανάπτυξη αδιάστατων σχέσεων συσχέτισης αποτελεί χρήσιμο εργαλείο.

Παράλληλα, εμπειρικά δεδομένα λειτουργίας ξηραντικών τροχών, είναι δυνατό να συγκροτήσουν σύστημα πολυωνυμικών εξισώσεων. Αντίστοιχα μοντέλα (σε φιλικό περιβάλλον) αναπτύσσουν οι εταιρείες κατασκευής ξηραντικών τροχών (κυρίως για λόγους προώθησης των προϊόντων τους, τα οποία και δίνουν πλήρη, παραμετρική πληροφορία για τις επιδόσεις του τροχού (π.χ. NovelAire).

Στο επίπεδο των εναλλακτών, η βασική εξίσωση που διέπει το φαινόμενο εναλλαγής θερμότητας είναι του τύπου:

$n_{he} = (\text{outlet temperature} - \text{inlet temperature}) / \text{Maximum possible temperature differ.}$

Συνεπώς, στον τροχό ανάκτησης ενέργειας, αν t_4, t_5 η θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του ρεύματος προσαγωγής προς το κτίριο και t_2, t_3 αντίστοιχα του αέρα επιστροφής.

$$n_{TW} = \frac{t_4 - t_5}{t_4 - t_2} \quad \text{ή} \quad n_{TW} = \frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_2} \quad [\text{εξ.3.3}]$$

Για την περίπτωση του evaporative cooler, αν t_{w1} και t_1 η θερμοκρασία υγρού και ξηρού βολβού αντίστοιχα του αέρα στην είσοδο, και t_2 στην έξοδο :

$$n_{EVAP} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{w1}} \quad [\text{εξ.3.4}]$$

$$n_{EVAP} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{w1}} \quad [\text{εξ.3.4}]$$

$$n_{EVAP} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{w1}} \quad [\text{εξ.3.4}]$$

Η απόδοση των εναλλακτών (n_{TW}, n_{HE}) κυμαίνεται στο εύρος 0.4-0.9. Τα μοντέλα προσομοίωσης βαθμονομούνται βάσει πειραματικών αποτελεσμάτων εγκαταστάσεων.

Για τα συστήματα **liquid desiccant**, το κύριο βάρος της προσομοίωσης εστιάζει στον εναλλάκτη του υγρού ξηραντικού μέσου, ειδικά δε στην περίπτωση όπου πραγματοποιείται ταυτόχρονη της απορρόφησης ψύξη. Η ανάλυση διαμορφώνει σχέση της μορφής:

$$n = \frac{\omega_{in} - \omega_{out}}{\omega_{in} - \omega_s} \quad [\text{εξ.3.5}]$$

όπως εκφράζει το λόγο της πραγματικής μεταβολής στην υγρασία του αέρα προς τη μέγιστη δυνατή.

Βιβλιογραφία

Άρθρα-Δημοσιεύσεις

Alizadeh, S. (2008). Performance of a solar liquid desiccant air conditioner –An experimental and theoretical approach. *Solar Energy*, 82, pp 563-572.

Charoensupaya D., & Worek W. M. (1988). Parametric study of an open-cycle adiabatic solid desiccant cooling system. *Energy*, 13, 9, pp 739-747.

Cui, Q., Chen, H., Tao, G., & Yao, H. (2005). Performance study of new adsorbent for solid desiccant cooling. *Energy*, 30, pp 273-279.

Daou, K., Wang, R. Z., & Xia, Z. Z. (2006). Desiccant cooling air conditioning: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10, pp 55-77.

Gandhidasan, P. (1990). Performance analysis of an open-cycle liquid desiccant cooling system using solar energy for regeneration. *Analysis of a solar space cooling system using liquid desiccants*, 17, 7, pp 475-479.

Gommed, K., & Grossman, G. (2007). Experimental investigation of a liquid desiccant system for solar cooling and dehumidification, *Solar Energy*, 81, pp 131-138.

Guozhen, X., Sheng, G., Bansal, P. K., & Li, G. (2008). Absorber performance of a water/lithium–bromide absorption chiller. *Applied Thermal Engineering*, 28, pp 1557-1562.

Halliday, S. P., Beggs, C. B., & Sleigh, P. A. (1998). The potential for solar desiccant cooling in the UK GAIA Research. *Desiccant cooling: Parametric energy study*, 19, 2, pp 87-91.

Henning H.M. (2007). Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. *Applied Thermal Engineering*, 27, pp 1734-1749.

Henning, H. M., Erpenbeck, T., Hindenburg, C., & Santamaria, I.S. (2001). The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles. *International Journal of Refrigeration*, 24, pp 220-229.

Jia, C. X., Dai, Y. J., Wu, J. Y., & Wang, R. Z. (2006). Analysis on a hybrid desiccant air- conditioning system. *Applied Thermal Engineering*, 26, pp 2393-2400.

Jia, C. X., Dai, Y. J., Wu, J. Y., & Wang, R. Z. (2007). Use of compound desiccant to develop high performance desiccant cooling system. *International Journal of Refrigeration*, 30, pp 345-353.

Peng, D., & Zhang, X. (2008). Modeling and performance analysis of solar air pretreatment collector/ regenerator using liquid desiccant. *Renewable Energy*, pp 1-7.


Shelpuk, B. (1993). The technical challenges for solid desiccant cooling. *Heat Recovery Systems & CHP*, 13, 4, pp 321-328.

Vitte, T., Brau, J., Chatagnon, N., & Woloszyn, M. (2008). Proposal for a new hybrid control strategy of a solar desiccant evaporative cooling air handling unit. *Energy and Buildings*, 40, pp 896-905.

Zhang, H. F., & Jin-Di, W. (1996). The research and development of the key components for desiccant cooling systems. *WREC* , pp 653-656.

Ζερεφός, Χ. Σ. (2007). Η εξελισσόμενη κλιματική αλλαγή και η σχέση της με τα ενεργειακά πρότυπα του 20ου αιώνα. Περιοδικό “Ανάπτυξη” του Εμπορικού κ Βιομηχανικού Επιμελητηρίου Αθηνών, Τεύχος 5^ο.

Καράγιωργας Μ. (2006). Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στη θέρμανση και στη ψύξη, Σεμινάριο ΣΕΜΕΚ στην Αθήνα.

 Διευθύνσεις Internet

<http://www.gaiagroup.org>

<http://www.solair-project.eu>

<http://www.novelair.com>

<http://www.cres.gr>

<http://www.demokritos.gr>

<http://www.desiccare.com>

<http://www.drirotors.com>

<http://www.promitheas.gr>

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:
ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ**

Nomenclature

A _f	fin areas
A _o	tube areas
C _p	specific heat, kJ/kg
D	diameter of the tube, m
d	specific humidity or humidity ratio, g water/kg dry air
F	friction pressure loss, Pa/m
i	enthalpy of moist air, kJ/kg dry air
J	J factor
M	mass, kg
P	pressure, Pa
Q	heat load, kJ
Sc	Schmidt number
t	dry-bulb temperature, °C
u	velocity, m/s
w	mass flow rate of water vapor, kg/m ² s
W	electric power consuming, W
x	dryness degree
X _{tt}	Lockhart–Martinelli amendatory factor
C _p	specific heat (kJ/(kg K))
C	salt concentration of desiccant solution (kg/kg)
d _k	hydraulic diameter (m)
ESC	effective storage capacity (MJ/m ³)
ESP	effective solution proportion (%)
G	water evaporation/condensation rate for unit area of absorber (kg/(m ² h))
h _c	heat transfer coefficient between air stream and solution (kW/(m ² K))
h _m	mass transfer coefficient between air stream and solution (kg/(m ² s))
h _z	overall heat transfer coefficient between air and outdoor environment (kW/(m ² K))
h	specific enthalpy (kJ/kg)

I_c	effective solar radiation intensity (kW/m^2)
I_a	solar radiation intensity (kW/m^2)
m	mass flow rate (kg/s)
P	partial pressure of water vapor (kPa)
q	heat loss from air stream to surrounding (kW/m^2)
r_0	heat of water vaporization/condensation (kJ/kg)
SC	storage capacity (MJ/m^3)
T	temperature ($^{\circ}\text{C}$)
U_L	overall heat loss coefficient ($\text{kW}/(\text{m}^2 \text{K})$)
V	volume flow rate/volume ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^3$)
X	water content of the salt (kg/kg)
x	distance traveled by solution along the regenerator (m)
Y	humidity ratio of the air (g/kg)
α	heat diffusion coefficient (m^2/s)
D	mass diffusion coefficient (m^2/s)
m	rate of mass transfer ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)
q	heat flux (W/m^2)
R	radius of pipe (m)
u	velocity along x-axis (m/s)
c	constant for specific heat ($\text{J}/(\text{kg K})$)
g	gravitational acceleration (m/s^2)
p	pressure (Pa)
r	gasification latent heat (J/kg)
T	temperature (K)
v	velocity along y-axis (m/s)
AE	specific absorber enthalpy coefficient
AE, aux	additional specific absorber enthalpy coefficient
B	Duhring constant
b	lifting ratio
CE	specific condenser enthalpy coefficient
COP	coefficient of performance
COP_{heat}	coefficient of performance for heating applications
$c_{L, \text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}}$	specific heat capacity of liquid ammonia ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

cV,NH3	specific heat capacity of ammonia vapour(kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)
D	inner tube diameter (mm)
E	degassing width
f	specific solution circulation index
GE	specific generator enthalpy coefficient
GE,deph	additional specific dephlegmator enthalpy coefficient
hL	liquid enthalpy of condensed ammonia/water vapour (kJ kg ⁻¹)
hV	vapour enthalpy of ammonia/water vapour(kJ kg ⁻¹)
mSr	mass flow rate of rich ammonia/water solution(kg s ⁻¹)
mSw	mass flow rate of weak ammonia/water solution(kg s ⁻¹)
mV	mass flow rate of ammonia(/water) vapour(kg s ⁻¹)
p	total pressure (Pa)
pNH3	ammonia partial pressure (Pa)
QA	absorber cooling capacity (kW)
QAUX	auxiliary gas circulation cooling loss capacity(kW)
QAx	solution heat loss (kW)
QC	condenser cooling capacity (kW)
QDeph	dephlegmator cooling capacity (kW)
QGx	solution heat loss (kW)
QH	generator heating capacity (kW)
QO	evaporator cooling capacity (kW)
sE	slope of the characteristic equation (kW K ⁻¹)
T	temperature (°C)
T	mean internal temperature (°C)
TC,s	condensation temperature (°C)
TG	mean internal generator temperature (°C)
TH,in	external generator inlet temperature (°C)
TLC	condenser liquid outlet temperature (°C)
TSwG	generator outlet temperature of the weak solution(°C)
TVC	condenser vapour inlet temperature (°C)
t	mean external temperature (°C)
DDt	characteristic double temperature difference (K)
DDtmin,E	intersection of the characteristic equation (K)

UA	heat transfer coefficient (kW K ⁻¹)
VL	lifted volume flow (l/h)
VV	expelled gas volume flow (l/h)
XSr	ammonia mass concentration of rich ammonia/water solution
XSw	ammonia mass concentration of weak ammonia/water solution
XV	ammonia vapour mass concentration, vapour purity
XV1	non-rectified ammonia/water vapour mass concentration
A	area, m ²
COP	coefficient of performance
ECOP	electrical coefficient of performance
e	effectiveness, %
G	solar irradiance, W/m ²
h	enthalpy, kJ/kg
HVAC	heating, ventilation and air conditioning
L	litres
LDAC	liquid desiccant air conditioner
m	mass flow rate, kg/s
PPHE	polymer plate heat exchanger
RH	relative humidity, %
s	seconds
Ta	ambient temperature, °C
Tm	collector fluid temperature, °C
V	volt, volume flow rate, L/s
w	air humidity ratio, kg water vapour/kg dry air
gd	dehumidification efficiency
ρ	density, kg/m ³
ξ _D	mass transfer coefficient, m/s

Ελληνικά Σύμβολα

ε	effectiveness
$\underline{\alpha}$	refrigeration void fraction
α	heat transfer coefficient, $W/m^2 K$
η_f	fin efficiency
ρ	density, kg/m^3
γ	latent heat of evaporation
η_z	regeneration efficiency
v	outdoor wind velocity (m/s)
ρ	density/reflectance of absorbent solution for solar radiation (kg/m^3)
$(T\alpha)$	effective absorptance–transmittance product
α	convective heat transfer coefficient ($W/(m^2 K)$)
λ	coefficient of heat conductivity ($W/(m K)$)
ρ	solution density (kg/m^3)
θ	angle (rad.)
δ	thickness of fluid film (m)
ν	kinematics viscosity of solution (m^2/s)
ξ	concentration of solution in mass (%)
Γ	rate of sprinkling solution ($kg/(m^2 s)$)
ε_w	surface wetting factor
Φ_{GHX}	heat recovery rate of the gas heat exchanger
Φ_{sr}	heat recovery factor referred to rich solution side
Φ_{sw}	heat recovery factor referred to weak solutionside

Συντομογραφίες

a	air
at	total heat of air
as	sensible heat of air
Ev	evaporative cooling system
H	heat exchanger or hybrid desiccant system
i	inside of the tube
L	refrigerant liquid or heat load
LL	latent heat load
o	outside of the tube
R	refrigerant side
SL	sensible heat load
t	traditional vapor compression system
tp	two-phase flow
V	refrigerant vapor
W	tube wall
Web	wet-bulb
a	air
dil.sol	diluted solution
equ	equilibrium situation
in	inlet of the labeled flow
out	outlet of the labeled flow
salt	salt
s	solution
w	surroundings
-	air pretreatment process
a	air
e	equivalent
i	inlet
o	outlet

s	solution, saturation
sup	supply air
w	water
0	ambient
A, a	absorber
C, c	condenser
D, d	dephlegmator
E, e, O	evaporator
G, g, H	Generator
ACM	absorption cooling machine
DACM	diffusion–absorption cooling machine
DAHP	diffusion–absorption heat pump
DAR	diffusion–absorption refrigerator
GHX	gas heat exchanger
NH ₃ /H ₂ O	ammonia/water
SHX	solution heat exchanger

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:
ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ
DESICCANT ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ**

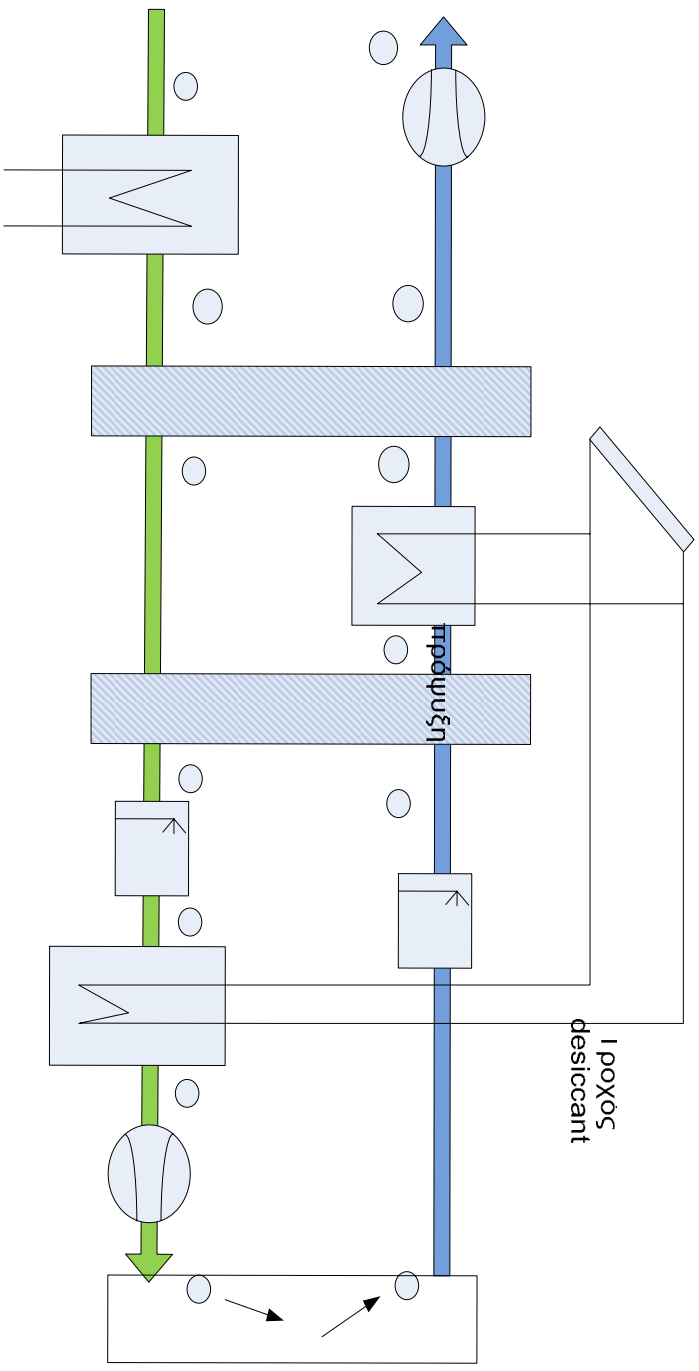
Αέρας περιβάλλοντος

1

1'

2

3



1 ποχος desiccant

Τροχος διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας

Υγρα

- 1→1'** πρόψυξη του αέρα ανεφοδιασμού σε αντίθετη φορά από τον αέρα που επιστρέφει από το κτίριο
- 1'→2** ξήρανση-απορροφητική αφύγρανση του αέρα εισαγωγής, η διαδικασία είναι σχεδόν αδιαβατική και ο αέρας θερμαίνεται από τη θερμότητα προσρόφησης και την καυτή μήτρα της ρόδας που προέρχεται από την πλευρά αναγέννησης
- 2→3** υγροποίηση /ψύξη δια εξάτμισης (w αυξάνεται, T μειώνεται)
- 3→4** εξατμιστική ψύξη του αέρα ανεφοδιασμού στην επιθυμητή υγρασία με τη βοήθεια ενός υγραντή
- 4→5** η σπείρα θέρμανσης χρησιμοποιείται μόνο στην εποχή που χρειάζεται θέρμανση, για την προθέρμανση του αέρα
- 5→6** μια μικρή αύξηση θερμοκρασίας προκαλείται από τον ανεμιστήρα
- 6→7** η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα αυξάνονται με τη βοήθεια των εσωτερικών φορτίων
- 7→8** ο αέρας επιστροφής από την κατασκευή δροσίζεται χρησιμοποιώντας την εξατμιστική ψύξη κοντά στη γραμμή κορεσμού, υγροποίηση /ψύξη δια εξάτμισης (w αυξάνεται, T μειώνεται)
- 8→9** ο αέρας επιστροφής προ-θερμαίνεται σε αντίθετη ροή από τον αέρα ανεφοδιασμού με τη βοήθεια ενός υψηλής απόδοσης αέρος-αέρος εναλλάκτη θερμότητας, π.χ. ένας τροχός διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας .
- 9→10** η αναγέννηση θερμότητας παρέχεται με τη βοήθεια ενός ηλιακού θερμικού συστήματος συλλεκτών
- 10→11** το νερό που μπαίνει στους πόρους του desiccant υλικού της ρόδας αφύγρανσης εκροφάται με τη βοήθεια του καυτού αέρα ,ψύξη
- 11→12** ο απορριπτόμενος αέρας φυσιέται στο περιβάλλον με τη βοήθεια του ανεμιστήρα επιστροφής αέρα.