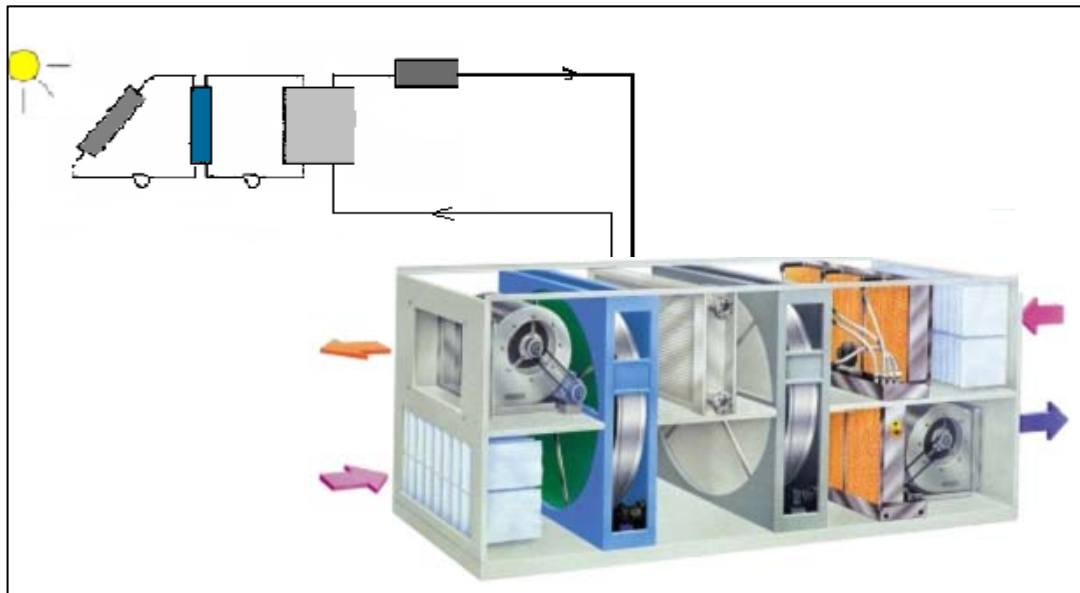




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

## ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΣΤΕΡΕΑ ΑΦΥΓΡΑΝΤΙΚΑ ΜΕΣΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΙΩΑΝΝΟΥ ΜΑΡΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:**  
ΖΕΡΒΟΣ ΑΡΘΟΥΡΟΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

## Ευχαριστίες

Με αφορμή την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Αρθούρο Ζερβό για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την ευκαιρία που μου έδωσε να μελετήσω ένα τόσο ενδιαφέρον και πρωτότυπο θέμα, καθώς και τον Δρ.Γεώργιο Κάραλη για τη βοήθειά του καθ'όλη τη διάρκεια της εργασίας αλλά και τη συμβολή του στη διαμόρφωση του τελικού κειμένου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», το οποίο διαθέτει πλούσια ερευνητική δραστηριότητα και εμπειρία στον τομέα των εφαρμογών της θερμικής ηλιακής ενέργειας γενικά, και του ηλιακού κλιματισμού ειδικότερα. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον Προϊστάμενο του Εργαστηρίου, Δρ.Βασίλη Μπελεσιώτη, για τη συμβολή του στον καθορισμό του θέματος και την ευκαιρία που μου έδωσε να υλοποιήσω τη παρούσα διπλωματική εργασία στο χώρο του Εργαστηρίου.

Ιδιαίτερη μνεία οφείλω στον Δρ. Μανώλη Μαθιουλάκη για το ενδιαφέρον του και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για τη συνεργασία μας. Η συμβολή και η καθοδήγησή του συνέβαλαν σημαντικά στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας. Ακόμα, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου στον Γεώργιο Πανάρα για την συμπαράστασή και τη βοήθειά του κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και σε όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ» για την συνεργασία, την καλή τους διάθεση και συναδελφικότητα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους στενούς μου φίλους για την ενθάρρυνσή και τη συμπαράστασή που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Αθήνα , Οκτώβριος 2009  
Μαρία Ιωάννου

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία αύξηση των φορτίων κλιματισμού, σε συνδυασμό με την όξυνση των προβλημάτων που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές και τις εντάσεις στο πεδίο της ενεργειακής τροφοδοσίας έχουν στρέψει το ενδιαφέρον στις τεχνολογίες κλιματισμού που βασίζονται ενεργειακά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ειδικότερα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάζεται μια από τις διαθέσιμες τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού, αυτή που χρησιμοποιεί στερεά αφυγραντικά μέσα (solar desiccant cooling). Ειδικότερος στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση των προβλημάτων που σχετίζονται με το σχεδιασμό στην πράξη τέτοιων εγκαταστάσεων, καθώς και η διατύπωση μεθοδολογικών προσεγγίσεων για την επίλυσή τους.

Αρχικά συζητούνται οι προσπάθειες αναζήτησης εναλλακτικών μεθόδων και τεχνολογιών κλιματισμού που βασίζονται ενεργειακά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αναλύονται τα πλεονεκτήματα που έχουν οι τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού, με έμφαση στο βασικό τους χαρακτηριστικό που είναι ο ταυτοχρονισμός μεταξύ προσφοράς (αυξημένη ηλιοφάνεια) και ζήτησης (αυξημένα φορτία ψύξης).

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται η αρχή λειτουργίας ενός τυπικού συστήματος ηλιακού κλιματισμού με αφυγραντικά μέσα, που περιλαμβάνει τον τροχό αφύγρανσης (desiccant), τον εναλλάκτη, τους υγραντήρες (άμεσο και έμμεσο) και την πηγή θερμότητας για την αναγέννηση του τροχού. Από τη συζήτηση προκύπτει ότι το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι γίνεται ταυτόχρονη ρύθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας, συνδυάζοντας έτσι την αντιμετώπιση τόσο του αισθητού όσο και του λανθάνοντος φορτίου κλιματισμού. Παρουσιάζεται επίσης η έννοια της ποιότητας εσωτερικού χώρου, εισάγοντας την ιδέα ότι ο κλιματισμός ενός χώρου υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς που αφορούν όχι μόνο τη θερμική άνεση των ατόμων που βρίσκονται σε αυτόν, αλλά και τη διασφάλιση της υγιεινής του αέρα.

Ακολουθεί η παρουσίαση των δομικών στοιχείων ενός τυπικού συστήματος ηλιακού κλιματισμού με αφυγραντικά μέσα, καθώς και η αρχή λειτουργίας τους, και αξιολογούνται οι δυνατές εναλλακτικές διαμορφώσεις τους, που είναι δυνατόν να υλοποιηθούν στην πράξη, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών που σχετίζονται με την αποδοτικότητα, το κόστος αλλά και την εμπορική διαθεσιμότητά τους.

Επιχειρείται στη συνέχεια η διατύπωση ενός συνόλου οδηγιών που σκοπό έχουν να κατευθύνουν, βήμα προς βήμα, τον ενδιαφερόμενο ως προς το σχεδιασμό συστημάτων ηλιακού κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα. Διατυπώνονται κανόνες που επιτρέπουν τον υπολογισμό της δυναμικότητας (διαστασιολόγηση) των υποσυστημάτων με βάση τις επιθυμητές συνθήκες του χώρου, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τα φορτία του χώρου. Ακόμα δίνεται έμφαση σε στοιχεία και παραμέτρους που πρέπει να λάβει κανείς υπόψη προκειμένου να σχεδιάσει ένα σύστημα που να

ανταποκρίνεται στους στόχους που έχουν τεθεί και να είναι όσο το δυνατόν συμφέρον από τεχνοοικονομικής άποψης.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αφενός για την καλύτερη επεξήγησή της και αφετέρου για να φωτιστούν πτυχές του ζητήματος και ενδεχόμενα προβλήματα που δεν είχαν γίνει φανερά στη προηγούμενη ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα μελετάται, ακολουθώντας βήμα προς βήμα την προτεινόμενη μεθοδολογία σχεδιασμού, εργασιακός χώρος που βρίσκεται στο Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ», όπου άλλωστε και εκπονήθηκε η παρούσα εργασία.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας παραθέτονται συμπεράσματα από την προηγούμενη ανάλυση, τα οποία εστιάζονται στη διατύπωση κριτηρίων σχετικά με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες είναι εφικτή και συμφέρουσα η χρήση τέτοιων συστημάτων, καθώς και ορισμένων γενικών κανόνων βάση των οποίων θα μπορεί να επιλέγεται η καταλληλότερη διάταξη, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κλιματιζόμενου χώρου.

**Λέξεις κλειδιά :** << ηλιακός κλιματισμός, αφυγραντικά υλικά (desiccant), ποιότητα εσωτερικού χώρου, θερμική άνεση, αφύγρανση, ρεύμα αναγέννησης, silica gel, σχεδιασμός, εναλλάκτης θερμότητας, υγραντήρας, ηλιακός συλλέκτης, μέθοδος καμπυλών f, ψυκτικά φορτία >>

# Πίνακας Περιεχομένων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Η ανάγκη για κλιματισμό.....	10
1.2	Ηλιακός κλιματισμός.....	11
1.2.1	Γιατί ενδιαφέρει ο ηλιακός κλιματισμός;.....	11
1.2.2	Είδη ηλιακού κλιματισμού.....	12
1.3	Αντικείμενο διπλωματικής.....	13
1.3.1	Συνεισφορά.....	14
1.4	Οργάνωση κειμένου.....	14

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1	Λίγα λόγια για τα desiccant.....	15
2.2	Τύποι συστημάτων desiccant.....	16
2.2.1	Σύστημα με χρήση αποκλειστικά αφυγραντικών μέσων (All desiccant systems).....	16
2.2.1.1	Λειτουργία με 100% εξωτερικό αέρα (ventilation mode) .....	16
2.2.1.2	Λειτουργία με αέρα ανακυκλοφορίας (recirculation mode).....	19
2.2.1.3	Λειτουργία με αέρα περιβάλλοντος και ανακυκλοφορίας.....	20
2.2.2	Υβριδικά συστήματα .....	21

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

3.1	Αποδεκτή ποιότητα αέρα.....	24
3.2	Θερμική άνεση.....	24
3.2.1	Μηχανισμοί ρύθμισης θερμοκρασίας .....	24
3.2.2	Παράγοντες που επιδρούν στην άνεση.....	25
3.2.3	Διάγραμμα άνεσης.....	26
3.3	Ασθένειες και υγεία.....	27
3.3.1	Εξασφάλιση ποιότητας αέρα.....	27
3.3.2	Φυσιολογία και υγεία.....	28

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

4.1	Τροχός desiccant .....	29
4.1.1	Αρχή λειτουργίας του τροχού desiccant.....	29
4.1.2	Στερεά desiccant-χαρακτηριστικά απορροφητικών μέσων.....	31
4.1.3	Μοντελοποίηση της απόδοσης του τροχού desiccant.....	33
4.2	Εναλλάκτης θερμότητας.....	35
4.2.1	Πλακοειδής εναλλάκτης (plate type heat exchanger).....	35
4.2.2	Τροχοί ανάκτησης (heat wheels).....	36
4.2.3	Θερμοσωλήνες (heat pipes).....	37
4.2.4	Εναλλάκτες κελύφους –σωλήνων (shell and tubes heat exchanger).....	38
4.3	Υγραντήρες.....	39
4.3.1	Υγραντήρες άμεσης επαφής.....	39
4.3.1.1	Υγραντήρες Random Media Air Coolers.....	40
4.3.1.2	Υγραντήρες Rigid Media Air Coolers.....	41
4.3.1.3	Υγραντήρες ψεκασμού (spray type air washers).....	42
4.3.1.4	Υδραυλικό στροφέιο ψεκασμού (impeller).....	43
4.3.1.5	Υπερηχητικοί ψεκαστήρες (ultrasonic atomizer).....	43
4.3.2	Υγραντήρες έμμεσης επαφής.....	44

4.3.3	Δύο σταδίων ύγρανση.....	46
4.4	Φίλτρα.....	47
4.4.1	Ινωδών μέσων φίλτρα.....	47
4.4.2	Ανανεώσιμων μέσων φίλτρα.....	47
4.4.3	Ηλεκτρονικοί καθαριστές αέρα.....	47
4.5	Ανεμιστήρες.....	49
4.5.1	Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες .....	49
4.5.2	Αξονικοί ανεμιστήρες .....	50
4.6	Σύστημα θέρμανσης του αέρα αναγέννησης (reactivation heaters).....	51
4.6.1	Επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors).....	52
4.6.1.1	Συλλέκτες υγρού.....	53
4.6.1.2	Συλλέκτες αέρα.....	55
4.6.1.3	Απόδοση συλλεκτών.....	56
4.6.1.4	Σύγκριση επίπεδων συλλεκτών.....	57
4.6.2	Συγκεντροτικοί συλλέκτες (concentrating collectors).....	85
4.6.3	Σύγκριση συλλεκτών .....	61
4.7	Αποθήκευση ενέργειας.....	62
4.7.1	Δεξαμενές αποθήκευσης νερού.....	62
4.7.2	Δεξαμενές αποθήκευσης αέρα (packed beds).....	63
4.8	Εναλλάκτες για συλλέκτες υγρού.....	65
4.8.1	Εναλλάκτης υγρού-αέρα.....	65
4.9	Συστήματα ελέγχου.....	66
4.9.1	Ρύθμιση της υγρασίας .....	66
4.9.1.1	Με bypass διάταξη στο ρεύμα εισόδου του αέρα.....	66
4.9.1.2	Με ρύθμιση της θερμοκρασίας αναγέννησης.....	66
4.9.1.3	Με άνοιγμα και κλείσιμο του συστήματος θέρμανσης του αέρα αναγέννησης.....	67
4.9.2	Ρύθμιση της θερμοκρασίας .....	68

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ DESICCANT

5.1	Καθορισμός στόχων που πρέπει να πληρεί το σύστημα desiccant.....	69
5.2	Καθορισμός ορίων εντός των οποίων ικανοποιούνται οι στόχοι του συστήματος.....	69
5.3	Προσδιορισμός των ακραίων καιρικών συνθηκών.....	70
5.4	Υπολογισμός των φορτίων του χώρου/ μέθοδος CLTD/ CLF.....	71
5.4.1	Ψυκτικά φορτία από εξωτερικές οροφές και εξωτερικούς τοίχους.....	71
5.4.2	Ψυκτικά φορτία από παράθυρα (υαλοπίνακες).....	73
5.4.3	Ψυκτικά φορτία από εσωτερικούς τοίχους, δάπεδα και οροφές.....	74
5.4.4	Ψυκτικά φορτία από φωτισμό.....	74
5.4.5	Ψυκτικά φορτία από συσκευές.....	75
5.4.6	Ψυκτικά φορτία από ανθρώπους .....	75
5.4.7	Ψυκτικά φορτία λόγω ανανέωσης και διείδυσης αέρος.....	76
5.4.8	Υπολογισμός παροχής και λόγου υγρασίας .....	77
5.5	Μέθοδος των καμπυλών f /f-chart για συστήματα υγρού.....	78
5.5.1	Υπολογισμός του $\overline{H_T}$ .....	80
5.6	Επιλογή του εξοπλισμού που θα απαρτίζει το σύστημα.....	81
5.6.1	Επιλογή του τροχού desiccant.....	81
5.6.2	Επιλογή του εναλλάκτη θερμότητας (αέρα-αέρα).....	83
5.6.3	Επιλογή του άμεσου υγραντήρα.....	83
5.6.4	Επιλογή του έμμεσου υγραντήρα.....	84
5.6.5	Επιλογή του συστήματος θέρμανσης: ηλιακού συλλέκτη- δεξαμενής αποθήκευσης - εναλλακτών - εναλλακτική πηγή θερμότητας.....	84
5.6.6	Επιλογή του ανεμιστήρα.....	85
5.7	Επιλογή του συστήματος ελέγχου (controller) .....	85



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.      ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ DESICCANT

6.1	Καθορισμός στόχων που πρέπει να πληρεί το σύστημα desiccant.....	87
6.2	Καθορισμός ορίων εντός των οποίων ικανοποιούνται οι στόχοι του συστήματος.....	87
6.3	Προσδιορισμός των ακραίων καιρικών συνθηκών.....	87
6.4	Υπολογισμός των φορτίων του χώρου/ μέθοδος CLTD/ CLF.....	88
6.4.1	Ψυκτικά φορτία από εξωτερικές οροφές και εξωτερικούς τοίχους.....	88
6.4.2	Ψυκτικά φορτία από παράθυρα (υαλοπίνακες).....	90
6.4.3	Ψυκτικά φορτία από εσωτερικούς τοίχους, δάπεδα και οροφές.....	91
6.4.4	Ψυκτικά φορτία από φωτισμό και συσκευές.....	91
6.4.5	Ψυκτικά φορτία από ανθρώπους .....	92
6.4.6	Ψυκτικά φορτία λόγω ανανέωσης και διείδυσης αέρος.....	93
6.4.7	Υπολογισμός παροχής και λόγου υγρασίας .....	94
6.5	Επιλογή του εξοπλισμού που θα απαρτίζει το σύστημα.....	96
6.5.1	Επιλογή του τροχού desiccant.....	96
6.5.2	Επιλογή του εναλλάκτη θερμότητας (αέρα-αέρα).....	97
6.5.3	Επιλογή του άμεσου υγραντήρα.....	100
6.5.4	Επιλογή του έμμεσου υγραντήρα.....	102
6.5.5	Επιλογή του συστήματος θέρμανσης: ηλιακού συλλέκτη- δεξαμενής - εναλλακτών - εναλλακτική πηγή θερμότητας.....	103
6.5.5.1	Επιλογή του εναλλάκτη θέρμανσης αέρα αναγέννησης.....	103
6.5.5.2	Επιλογή ηλιακού συλλέκτη.....	104
6.5.5.3	Υπολογισμός της συλλεκτικής επιφάνειας του συλλέκτη με χρήση της μεθόδου f chart.....	105
6.5.5.4	Επιλογή εναλλάκτη υγρού-υγρού, δεξαμενής αποθήκευσης, εναλλακτική πηγή θερμότητας, ανεμιστήρα, συστήματος ελέγχου.....	119
6.6	Υπολογισμός απόδοσης συστήματος desiccant-COP.....	120

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

7.1	Σύνοψη και συμπεράσματα.....	121
7.2	Μελλοντικές επεκτάσεις .....	122

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

# 1

## *Εισαγωγή*

### *1.1 Η ανάγκη για κλιματισμό*

Μπορεί η έννοια του κλιματισμού να είναι σχετικά πρόσφατη, η ανάγκη όμως για άνετες συνθήκες σε έναν χώρο υπήρχε από τα αρχαία ήδη χρόνια έως και σήμερα, για αυτό οι άνθρωποι σε όλες τις εποχές προσπαθούσαν με διάφορους τρόπους να τις εξασφαλίσουν. Στην αρχαία Ελλάδα ήταν πολύ σημαντικό το θέμα του προσανατολισμού μιας κατοικίας για δροσιά το καλοκαίρι και ζέστη το χειμώνα. Στην αρχαία Ρώμη νερό πενούσε μέσα από τους τοίχους σπιτιών προκειμένου να τους ψύξει, ενώ παρόμοια τεχνική ακολουθήθηκε στην μεσαιωνική Περσία, στην Ινδία, ακόμα και στην Ελλάδα στην Σάμο. Τον 2<sup>ο</sup> αιώνα στην Κίνα και αργότερα στην Αίγυπτο κάθε σπίτι είχε και από έναν ανεμιστήρα. Το 1820 ο Michael Faraday ανακάλυψε τη χρήση της μηχανικής συμπίεσης της αμμωνίας για ψύξη του αέρα καθώς αυτή εξατμίζεται. Ακολούθησε η ατμοποιητική ψύξη και η παραγωγή των πρώτων κλιματιστικών που χρησιμοποιούσαν ψυκτικά μέσα και οι καινοτομίες συνεχίζονται...

Η έννοια του κλιματισμού αρχικά αφορούσε την ψύξη ή γενικότερα τη βελτίωση των συνθηκών ενός εσωτερικού χώρου κατά τους ζεστούς μήνες του χρόνου. Αργότερα και ως τις μέρες μας αυτό επεκτάθηκε στην συνολική ρύθμιση των συνθηκών για όλο το χρόνο. Πιο συγκεκριμένα ο όρος κλιματισμός πλέον αναφέρεται στον έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της καθαρότητας του αέρα και της ποιότητας αυτού και στην κυκλοφορία του αέρα που είναι απαραίτητη σε έναν χώρο με βάση τις ανάγκες του.

Όλοι μας έχουμε νιώσει την ανακούφιση που μπορεί να παρέχει ένας κλιματιζόμενος χώρος κατά τη διάρκεια μιας πολύ κρύας ή μιας πολύ ζεστής ημέρας. Είτε είναι στο σπίτι, είτε στο γραφείο, είτε αλλού ο κλιματισμός που ξεκίνησε ως πολυτέλεια για τους λίγους, είναι πλέον αναγκαίος για την άνεση και την υγεία, όπως θα αποδειχθεί και σε επόμενο κεφάλαιο, αλλά και για την παραγωγικότητα ενός ανθρώπου. Είναι φανερό ότι καθώς καθορίζονται τα επιθυμητά όρια θερμοκρασίας και υγρασίας και βελτιώνονται οι συνθήκες του χώρου, η εργασία μπορεί να γίνει πιο αποδοτική αφού οι άνθρωποι μπορούν να κινηθούν και να εργαστούν με άνεση χωρίς προβλήματα. Λόγου χάρι σε περιπτώσεις

εργοστασίων που οι διαδικασίες παραγωγής μπορεί να οδηγούν σε ακραίες θερμοκρασίες μη ανεκτές από το ανθρώπινο σώμα ο κλιματισμός είναι αναγκαίος, σε οποιοδήποτε κλειστό χώρο σε περιοχή με πολύ ζεστό κλίμα ή και αντίθετα με πολύ ψυχρό κλίμα όπως στις βόρειες χώρες, που θα καθιστούσε ανυπόφορη την ύπαρξη και την εργασία. Για όλες αυτές αλλά και για πολλές ακόμα περιπτώσεις ο κλιματισμός είναι απαραίτητος.

## **1.2 Ηλιακός κλιματισμός**

### **1.2.1 Γιατί ενδιαφέρει ο ηλιακός κλιματισμός;**

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ξεκίνησε η εγκατάσταση των κλιματιστικών συστημάτων και τα συστήματα αυτά σχεδιάστηκαν με βάση την τότε αφθονία του συμβατικού καύσιμου και την χαμηλή τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν το σκηνικό άρχισε να αλλάζει και τα καύσιμα άρχισαν να κοστίζουν βαθμιαία όλο και περισσότερο, ξεκίνησαν έρευνες για την βελτιστοποίηση των συστημάτων και την επίτευξη καλύτερων βαθμών απόδοσης προκειμένου να εξοικονομηθεί καύσιμο και να υπάρξει οικονομία. Παράλληλα η ζήτηση για κλιματιστικά σε όλο και περισσότερους χώρους λόγω της βελτίωσης του επιπέδου ζωής, άρχισε να αυξάνει καθώς άρχισαν να γίνονται φανερά τα πλεονεκτήματα και η σημασία του ελεγχόμενου άνετου περιβάλλοντος. Έτσι συνεχίστηκε η περαιτέρω έρευνα για οικονομικά και αποδοτικά συστήματα.

Τα τελευταία όμως χρόνια η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε δραματικά κάτι που οδήγησε :

1. Στην σταδιακή εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και, κατά συνέπεια, σε υψηλές τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας
2. Στην μόλυνση του περιβάλλοντος εξαιτίας της υπερκατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων και των επιβλαβών εκπομπών που αυτά προκαλούν. Αυτό είχε ως συνέπεια την κλιματική αλλαγή και την λεγόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη.

Έτσι λοιπόν η όξυνση των προβλημάτων που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές και τις εντάσεις στο πεδίο της ενεργειακής τροφοδοσίας σε συνδυασμό με την ραγδαία αύξηση των φορτίων κλιματισμού στο ενεργειακό ισοζύγιο, επέβαλλαν τη στροφή προς άλλες τεχνολογίες που βασίζονται ενεργειακά σε λιγότερο επιβλαβείς μορφές ενέργειας για το περιβάλλον. Ταυτόχρονα η ολοένα και αυξανόμενη υποστήριξη των κυβερνήσεων προς την κατεύθυνση αυτή οδήγησαν στην αυξανόμενη προσφυγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), στην τάση για κατασκευή κτιρίων με λιγότερες ενεργειακές απώλειες και στην προσπάθεια για συνετή χρήση των αποθεμάτων καυσίμου. Άλλωστε, οι εναλλακτικές αυτές μορφές ενέργειας αποτέλεσαν στο παρελθόν τη μοναδική πηγή ενέργειας για πολλά χρόνια.

Μια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια. Αυτή η μορφή ενέργειας παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα. Καταρχήν δε μολύνει καθόλου την ατμόσφαιρα (όπως και οι υπόλοιπες ΑΠΕ), υπάρχει σε όλες σχεδόν τις περιοχές του πλανήτη (αλλού περισσότερο και αλλού λιγότερο), θα συνεχίσει να υπάρχει για πάντα, και η διαθεσιμότητα της ταυτίζεται χρονικά με το μέγιστο της ζήτησης σε κλιματισμό. Αυτή η ταύτιση είναι που κάνει τη χρήση της ηλιακής ενέργειας πολύ δελεαστική. Για παράδειγμα οι μέρες με την περισσότερη ζέστη, με τα μεγαλύτερα ψυκτικά

φορτία χώρου και επομένως με την μεγαλύτερη ανάγκη για κλιματισμό, είναι εκείνες που θα έχουν την περισσότερη ηλιακή ενέργεια διαθέσιμη για αξιοποίηση.

Έχοντας όλα αυτά υπόψη μπορεί πλέον να απαντηθεί το αρχικό ερώτημα : Γιατί ηλιακός κλιματισμός; Ήδη φάνηκε ότι σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητος ο κλιματισμός χώρων, όπως επίσης ότι η τεχνολογία των συστημάτων αυτών δούλεψε προς την κατεύθυνση της εξοικονόμησης ενέργειας και επομένως της οικονομίας. Αυτά σε συνδυασμό με τις τελευταίες εξελίξεις - περιβαλλοντικές και οικονομικές – οδηγούν από μόνα τους στην απάντηση. Οι τεχνολογίες του ηλιακού κλιματισμού μπορούν να συμβιβάσουν όλα αυτά πλεονεκτώντας συγκριτικά με άλλες λόγω διαθεσιμότητας του ήλιου και ταυτοχρονισμού μεταξύ ζήτησης (αυξημένα φορτία ψύξης) και προσφοράς (αυξημένη ηλιοφάνεια). Συμφέρει λοιπόν να υπάρχουν κλιματιστικά συστήματα όσο το δυνατόν πιο φθηνά στην χρήση και όσο το δυνατόν πιο φιλικά ως προς το περιβάλλον με όσο μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Ακόμα, επειδή στα ζεστά και υγρά κλίματα όπως στην Ελλάδα και γενικά στις μεσογειακές χώρες, η ανάγκη για κλιματισμό έχει επεκταθεί και ως συνέπεια υπάρχει αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, πολλές φορές συμβαίνει στη μέγιστη ζήτηση το σύστημα να αδυνατεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση. Ο ηλιακός κλιματισμός μπορεί να συμβάλει στο να δοθούν θετικές απαντήσεις σε όλα αυτά τα προβλήματα. Χρησιμοποιείται μια ελεύθερα διαθέσιμη μορφή ενέργειας και επομένως μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση, μειώνεται η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος και καταπονείται λιγότερο το δίκτυο, ενώ παράλληλα δεν επιβαρύνεται επιπλέον το περιβάλλον λόγω της μη χρησιμοποίησης ψυκτικών μέσων που παρουσιάζουν προβλήματα και είναι βλαβερά για το περιβάλλον..

### **1.2.2 Είδη ηλιακού κλιματισμού**

Τα είδη ηλιακού κλιματισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

1. Ηλιοκινούμενα συστήματα ψύξης με μηχανική συμπίεση
2. Ψύξη με υλικά απορρόφησης και χρήση θερμικής ηλιακής ενέργειας

Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στην ψύξη που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά πάνελ και κατόπιν χρήση του για να κινήσουν έναν συμπιεστή ατμού. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα ψύξης με απορρόφηση που εκμεταλεύονται την ικανότητα ορισμένων υλικών να έλκουν και να συγκρατούν άλλα υγρά ή αέρια. Η κατηγορία αυτή χωρίζεται σε δύο υποκατηγορίες που είναι τα συστήματα κλειστού και ανοιχτού κύκλου. Στα συστήματα κλειστού κύκλου περιλαμβάνονται οι απορροφητές (absorption) όπου η απορρόφηση γίνεται στην εξωτερική επιφάνεια από το σύνολο του υγρού απορροφητικού μέσου, και οι προσροφητές (adsorption) όπου η απορρόφηση γίνεται μόνο από την εξωτερική επιφάνεια στερεού απορροφητικού μέσου. Στα συστήματα ανοιχτού κύκλου η απορρόφηση πραγματοποιείται με αφυγραντικά υλικά (desiccant). Τα συστήματα ανοιχτού κύκλου λειτουργούν με εργαζόμενο μέσο τον αέρα περιβάλλοντος ενώ το ψυκτικό μέσο, που εν προκειμένου είναι το νερό, απορρίπτεται από το σύστημα αφού δημιουργήσει την ψύξη και στη συνέχεια επανατροφοδοτείται. Τα απορροφητικά μέσα που ονομάζονται desiccant, βρίσκονται είτε σε στέρεη, είτε σε υγρή μορφή. Όπως είναι φυσικό ανάλογα με τη μορφή τους υπάρχει και η αντίστοιχη απορροφητική διάταξη.

### ***1.3 Αντικείμενο διπλωματικής***

Η παρούσα διπλωματική θα επικεντρωθεί στα συστήματα ψύξης με στερεά αφυγραντικά μέσα (desiccant) και πιο συγκεκριμένα στα στερεά desiccant. Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον αφού αξιοποιεί όλα τα οφέλη του ηλιακού κλιματισμού όπως προαναφέρθηκαν, ενώ έχει μελετηθεί λιγότερο συγκριτικά με τις άλλες τεχνολογίες ηλιακού κλιματισμού που αναφέρθηκαν νωρίτερα. Θα μελετηθούν τα στερεά desiccant έναντι των υγρών γιατί ενώ τα υγρά είναι πολύ αποδοτικά, σε μικρές διαστάσεις είναι πολύ ακριβότερα από τα στερεά. Ακόμα, τα συστήματα ψύξης με στερεά αφυγραντικά μέσα είναι λιγότερο σύνθετα στην υλοποίησή τους, δεν είναι διαβρωτικά και οι αντίστοιχες τεχνολογίες είναι σήμερα πιο ώριμες από τεχνολογική και εμπορική άποψη.

Αρχικά θα περιγραφεί τυπική διάταξη ηλιακού κλιματισμού με desiccant, και στη συνέχεια θα παρουσιασθούν αναλυτικά τα επιμέρους εξαρτήματα που την απαρτίζουν, καθώς και η λειτουργία αυτών. Στόχος είναι η εξοικείωση με τα συστήματα και τις παραλλαγές τους και ο εντοπισμός των κριτηρίων επιλογής τους ενώ δίνεται έμφαση στα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την αναζήτηση και την επιλογή τους. Παρουσιάζεται επίσης η έννοια της ποιότητας εσωτερικού χώρου και διαφαίνεται ότι ο κλιματισμός ενός χώρου υπόκειται σε κάποιους περιορισμούς.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μεθοδολογία σχεδιασμού των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα. Σκοπός είναι να δημιουργηθεί ένας οδηγός που να εξετάζει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες είναι εφικτή και συμφέρουσα η χρήση ενός τέτοιου συστήματος και, επιπλέον, να προτείνει κάποια κριτήρια βάση των οποίων θα επιλέγεται η καταλληλότερη διάταξη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κλιματιζόμενου χώρου. Για το σκοπό αυτό δίνονται οδηγίες και υποδείξεις για τα ζητήματα που πρέπει να απασχολήσουν προκειμένου να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σύστημα και για το λόγο αυτό παρουσιάζονται οι αναγκαίες μέθοδοι υπολογισμού που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η μέθοδος υπολογισμού φορτίου CLTD/ CLF και η μέθοδος κάλυψης μηνιαίου θερμικού φορτίου f-chart. Επιπλέον προτείνονται κριτήρια βάση των οποίων θα επιλέγεται η καταλληλότερη διάταξη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κλιματιζόμενου χώρου.

Ακολουθεί παράδειγμα χώρου στο οποίο εφαρμόζονται όσα έχουν αναφερθεί στη μεθοδολογία προκειμένου να γίνουν καλύτερα αντιληπτά. Τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της εφαρμογής οφείλονται στην αλληλεξάρτηση πολλών παραμέτρων του συστήματος. Έτσι έγιναν αρκετές υποθέσεις και παραδοχές, ενώ πολλοί υπολογισμοί μεγεθών έγιναν με δοκιμές. Στη πορεία χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν και λογισμικά που παρείχαν οι εταιρείες του εμπορίου.

Τελικά γίνονται εκτιμήσεις και συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή και από τη βιβλιογραφία.

### **1.3.1 Συνεισφορά**

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής :

1. Παρουσιάστηκε τυπικό σύστημα desiccant και αναφέρθηκαν τα δομικά στοιχεία που το αποτελούν.
2. Μελετήθηκαν παραλλαγές του τυπικού συστήματος και εξετάστηκαν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες προτείνεται η χρήση τους.
3. Συζητήθηκε το θέμα της ποιότητας εσωτερικού χώρου και δόθηκε έμφαση στο γεγονός ότι ο κλιματισμός πρέπει να εξασφαλίζει τη θερμική άνεση και την υγεία των ατόμων.
4. Παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα υποσυστήματα ενός συστήματος desiccant και προσδιορίστηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα καθενός, ενώ μελετήθηκε η αρχή λειτουργίας αυτών.
5. Προτάθηκε η μέθοδος σχεδιασμού στην οποία φιλοδοξεί να παρέχει βήμα-βήμα καθοδήγηση για τον ενδιαφερόμενο σχεδιαστή.
6. Συζητήθηκαν τα κριτήρια επιλογής των υποσυστημάτων προκειμένου να σχεδιασθεί ένα σύστημα κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα.
7. Εφαρμόστηκαν τα προαναφερθέντα σε αντιπροσωπευτικό παράδειγμα.
8. Υλοποιήθηκαν υπολογισμοί και τα αποτελέσματά τους αξιοποιήθηκαν προκειμένου να γίνει η επιλογή των υποσυστημάτων.
9. Εξήχθησαν συμπεράσματα.

### **1.4 Οργάνωση κειμένου**

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια συμπεριλαμβανομένου και του παρόντος κεφαλαίου που είναι η εισαγωγή. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του τροχού desiccant, ένα τυπικό σύστημα κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα και πως λειτουργεί, καθώς και παραλλαγές αυτού και υβριδικές διατάξεις. Στο Κεφάλαιο 3 συζητιέται η έννοια της ποιότητας αέρα εσωτερικού χώρου. Στο Κεφάλαιο 4 μελετώνται τα επιμέρους συστήματα ενός συστήματος desiccant και δίνονται πληροφορίες σχετικά με την αρχή λειτουργίας και την απόδοσή τους. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται και αναλύεται ο οδηγός σχεδιασμού βήμα-βήμα. Στο κεφάλαιο 6 εφαρμόζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία σε μια αντιπροσωπευτική εφαρμογή. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 εξάγονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή και από τη συνολική μελέτη επί του θέματος.

# 2

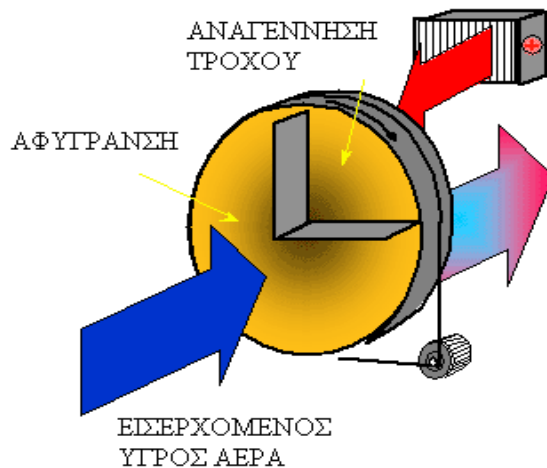
## ***Θεωρητικό Υπόβαθρο***

Στο σημείο αυτό θα δοθούν πρωταρχικές πληροφορίες τόσο για τους τροχούς desiccant όσο και για τις διατάξεις που μπορούν να σχηματισθούν με βάση αυτούς. Θα παρουσιασθεί αρχικά τυπική διάταξη ηλιακού κλιματισμού desiccant και στη συνέχεια θα παρουσιασθούν παραλλαγές αυτού και πιο πολύπλοκες διατάξεις.

### ***2.1 Λίγα λόγια για τα desiccant***

Τα desiccant είναι μια υποκατηγορία των απορροφητών, και αυτό που απορροφούν και συγκρατούν είναι το νερό και πιο συγκεκριμένα την υγρασία του αέρα. Στην παρούσα εργασία θα απασχολήσει, όπως ήδη αναφέρθηκε, μόνο η περίπτωση του συστήματος με τροχό desiccant. Η αρχή λειτουργίας αυτών των συστημάτων είναι απλή. Το ρεύμα αέρα που πρόκειται να εισέλθει στο χώρο περνάει από τον τροχό και αφυγραίνεται. Ξηρός πλέον ο αέρας έχει τη δυνατότητα να ψυχθεί και να ρυθμιστεί περαιτέρω η υγρασία και η θερμοκρασία του με μια σειρά διατάξεων οι οποίες θα παρουσιαστούν στην πορεία εκτενέστερα. Ο τροχός συγκρατεί την υγρασία μέχρι να περάσει από αυτόν το ρεύμα αναγέννησης (θερμός αέρας) και να απελευθερώσει την υγρασία που έχει συγκρατήσει σ' αυτό το ρεύμα. Έτσι είναι πάλι έτοιμος για περαιτέρω απορρόφηση. Το παρακάτω σχήμα δείχνει απλοποιημένα την λειτουργία του, η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.





Σχήμα 2.1.1 Λειτουργία τροχού desiccant

## 2.2 Τύποι συστημάτων desiccant

Νωρίτερα επεξηγήθηκε η λειτουργία ενός τροχού desiccant. Στη συνέχεια θα συζητηθεί πως μπορεί να ενταχθεί σε ένα ενιαίο σύστημα και να συνδυαστεί με άλλα υποσυστήματα.

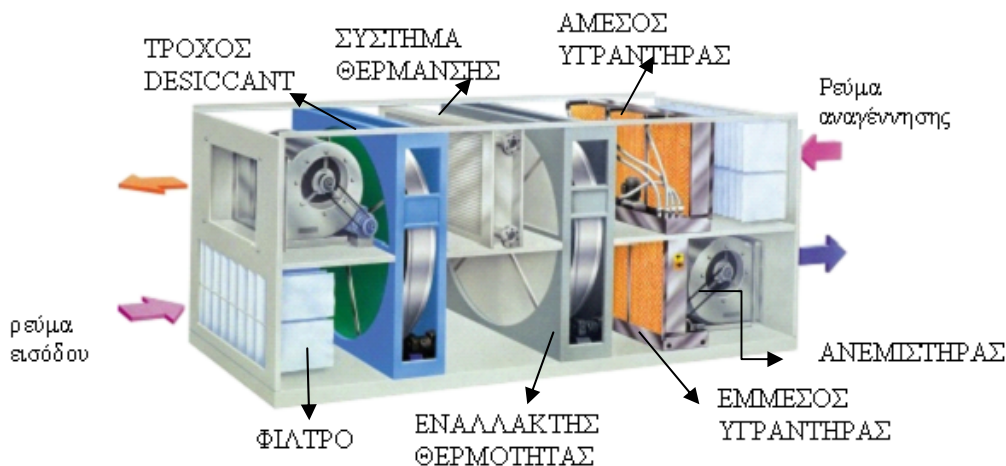
### 2.2.1 Σύστημα με χρήση αποκλειστικά αφυγραντικών μέσων (All desiccant systems)

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιασθούν οι διατάξεις στις οποίες δε χρησιμοποιείται καθόλου συμβατικός κλιματισμός.

#### 2.2.1.1 Λειτουργία με 100% εξωτερικό αέρα (ventilation mode)

##### Τυπικό σύστημα

Είναι το σύστημα που θα μελετηθεί αναλυτικά στη συνέχεια αυτής της εργασίας. Με βάση αυτό λοιπόν θα γίνει η προσπάθεια επεξήγησης της λειτουργίας ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού με στερεά αφυγραντικά μέσα (SOLAR DESICCANT COOLING). Το χαρακτηριστικό αυτού του συστήματος είναι ότι το ρεύμα αέρα που περνάει μέσω του τροχού και οδεύει προς τον χώρο που θα κλιματισθεί προέρχεται εξ' ολοκλήρου από το εξωτερικό περιβάλλον. Ακόμα, το ρεύμα αναγέννησης που περνάει με τη σειρά του από τον τροχό προκειμένου να τον αναγεννήσει προέρχεται μόνο από τον κλιματιζόμενο χώρο. Άλλες διατάξεις όσον αφορά τις παροχές του αέρα θα εξετασθούν στη συνέχεια.



**Σχήμα 2.2.1 Τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού-υποσυστήματα**

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ένα τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού με παροχή εξωτερικού αέρα 100% (all desiccant system-ventilation mode) με αφυγραντικά μέσα που περιλαμβάνει:

- τον τροχό desiccant
- τον τροχός ανάκτησης θερμότητας που ουσιαστικά είναι εναλλάκτης θερμότητας
- δύο υγραντήρες, έναν άμεσο και έναν έμμεσο
- το σύστημα θέρμανσης του αέρα αναγέννησης
- τα φίλτρα
- τους ανεμιστήρες

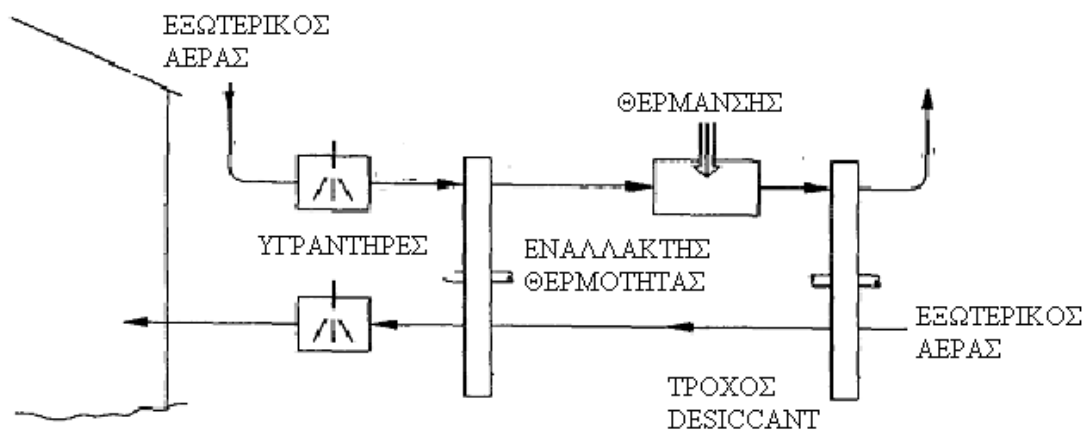
Ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται στο σύστημα και αφού περάσει τα φίλτρα, μπαίνει στον τροχό desiccant και αφυγραίνεται. Εξέρχεται πλέον ξηρός αλλά και πιο θερμός και επομένως πρέπει να ψυχθεί και να ρυθμιστεί η υγρασία του κατάλληλα. Περνάει από τον τροχό ανάκτησης θερμότητας όπου συναλλάζει θερμότητα με το ρεύμα αναγέννησης, και βγαίνοντας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία αφού έχει προσδώσει μέρος της αισθητής θερμότητάς του σε αυτό επομένως ψύχεται. Μετά περνάει από τον υγραντήρα ο οποίος επειδή είναι άμεσος υγραίνει τον αέρα και τον ψύχει περαιτέρω ώστε να βρίσκεται στις επιθυμητές συνθήκες για να τροφοδοτήσει τον χώρο. Από την άλλη μεριά, το ρεύμα αναγέννησης εισέρχεται στον έμμεσο υγραντήρα προκειμένου να πέσει η θερμοκρασία του και μετά μπαίνοντας στον εναλλάκτη και όντας πλέον πιο ψυχρός μπορεί να απορροφήσει μεγαλύτερο ποσό αισθητής θερμότητας από το άλλο ρεύμα και να το ψύξει καλύτερα. Στην συνέχεια εισέρχεται στον θερμαντήρα, ο οποίος στην περίπτωση που μελετάται θα λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια, και ζεσταίνεται. Έτσι είναι έτοιμος να περάσει από τον τροχό desiccant και να τον αναγεννήσει ώστε να μπορεί να απορροφήσει και άλλη υγρασία από το ρεύμα αέρα εισόδου. Δεν πρέπει να συγχέεται ο τροχός desiccant με τον τροχό ανάκτησης, καθώς η λειτουργία τους είναι εντελώς διαφορετική.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η διάταξη επιτρέπει τη διαχείριση μεγάλων παροχών φρέσκου αέρα, η αναγκαιότητα των οποίων θα γίνει σαφής σε επόμενο κεφάλαιο.

Είναι φανερό λοιπόν ότι η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει το πλεονέκτημα ότι επιχειρεί την ταυτόχρονη ρύθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας, συνδυάζοντας την αντιμετώπιση τόσο του αισθητού όσο και του λανθάνοντος φορτίου κλιματισμού.

#### Σύστημα με αέρα αναγέννησης από το περιβάλλον

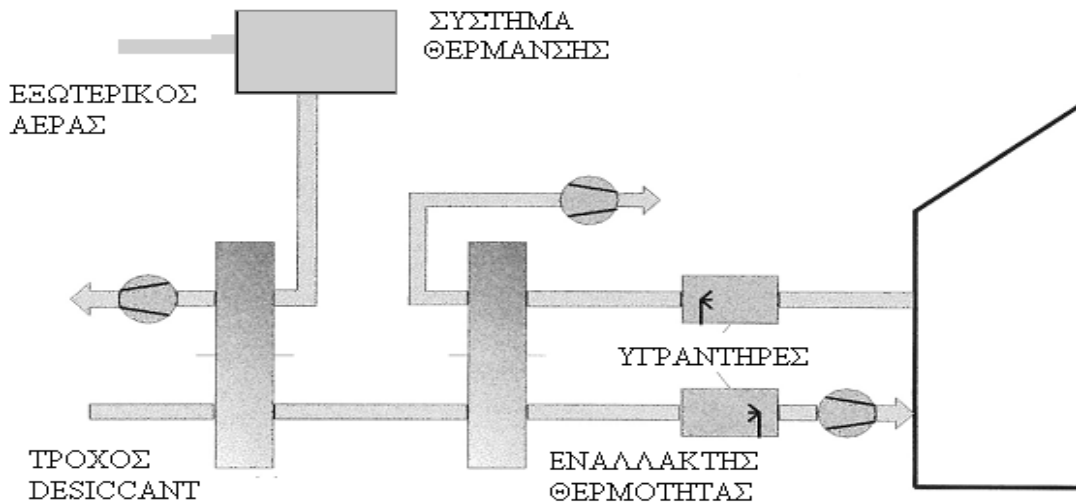
Εδώ, η μοναδική διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση που εξετάστηκε είναι η προέλευση του αέρα αναγέννησης ο οποίος πλέον λαμβάνεται από το περιβάλλον. Η επιλογή αυτή πολλές φορές προτιμάται αν υπάρχει δυσκολία συγκέντρωσης του αέρα του χώρου που προορίζεται για αναγέννηση.



**Σχήμα 2.2.2 Σύστημα ηλιακού κλιματισμού με αέρα αναγέννησης από το περιβάλλον**

#### Σύστημα με αέρα αναγέννησης από διαφορετικές θέσεις

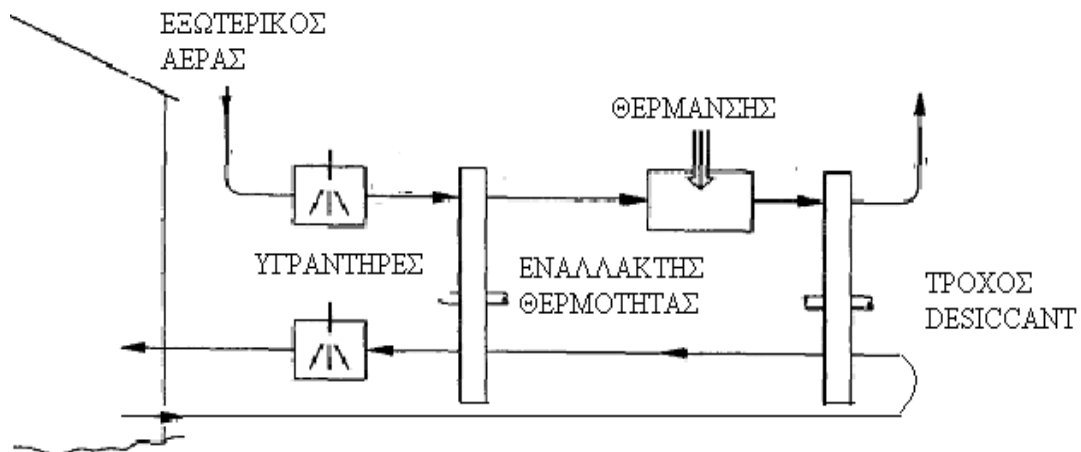
Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο αέρας ανανέωσης λαμβάνεται αρχικά από τον χώρο και αφού ψυχθεί και περάσει και τον εναλλάκτη θερμότητας απορρίπτεται στο περιβάλλον και φρέσκος αέρας λαμβάνεται εκ νέου για να θερμανθεί και να αναγεννήσει τον τροχό desiccant. Η διάταξη αυτή προτιμάται επειδή πολλές φορές η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι υψηλότερη από αυτή που έχει αποκτήσει ο αέρας αναγέννησης βγαίνοντας από τον εναλλάκτη και έτσι λοιπόν χρειάζεται να προσδοθεί λιγότερη θερμική ενέργεια για τη θέρμανση του και συνεπώς για την αναγέννηση του τροχού.



Σχήμα 2.2.3 Σύστημα ηλιακού κλιματισμού με αέρα αναγέννησης από διαφορετικές θέσεις

### 2.2.1.2 Λειτουργία με αέρα ανακυκλοφορίας (recirculation mode)

Στη παρακάτω διάταξη ο αέρας που κλιματίζεται προέρχεται αποκλειστικά και μόνο από τον κλιματιζόμενο χώρο, ενώ ο αέρας αναγέννησης από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο λόγος ύπαρξης μιας τέτοιας διάταξης είναι προφανής. Ο αέρας στον κλιματιζόμενο χώρο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος και με τη προσαγωγή του για περαιτέρω ψύξη και αφύγρανση επιτυγχάνονται πολύ ευκολότερα οι επιθυμητές συνθήκες. Έτσι λοιπόν το κόστος του κλιματισμού είναι πολύ μικρότερο. Οι περιορισμοί και τα προβλήματα υγείας που προκύπτουν από τέτοιες διατάξεις θα γίνουν φανερά σε επόμενο κεφάλαιο.

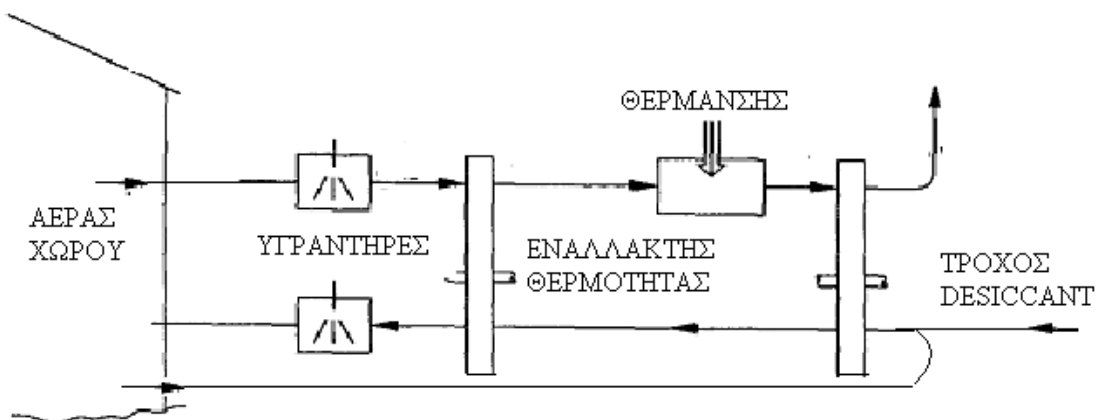


Σχήμα 2.2.4 Σύστημα ηλιακού κλιματισμού με αέρα ανακυκλοφορίας

### 2.2.1.3 Λειτουργία με αέρα περιβάλλοντος και ανακυκλοφορίας

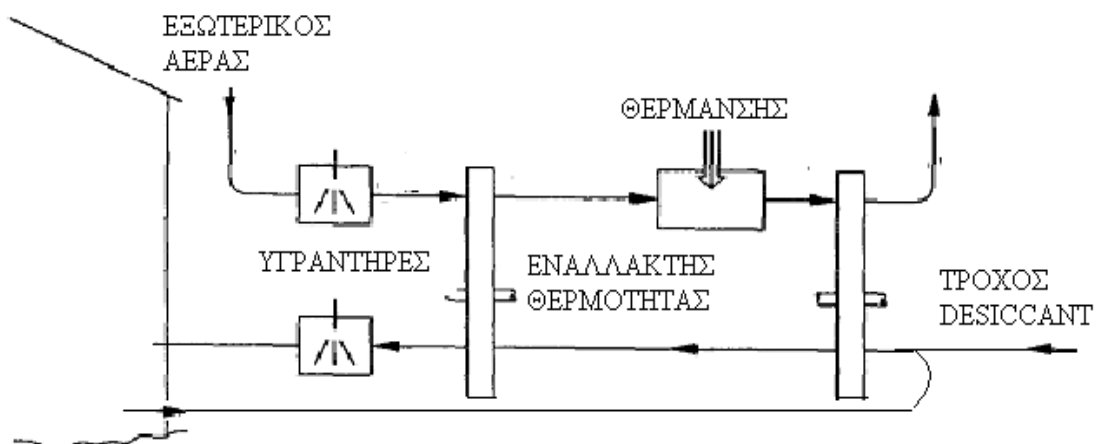
Εδώ ο αέρας που πρόκειται να κλιματισθεί λαμβάνεται κατά ένα ποσοστό από το περιβάλλον και το υπόλοιπο από τον χώρο. Το ποσοστό φρέσκου αέρα ποικίλει κατά περίπτωση ωστόσο μια συνήθης τιμή είναι η 30%. Με τη χρήση και φρέσκου αέρα και ανακυκλοφορίας δε παρουσιάζονται προβλήματα υγείας (αρκεί ο φρέσκος αέρας να είναι από μια τιμή και πάνω που προσδιορίζεται σε κάθε περίπτωση) ενώ ταυτόχρονα το κόστος λειτουργίας διατηρείται χαμηλότερο από τη περίπτωση λειτουργίας με 100% εξωτερικό αέρα λόγω του ότι ο συνολικός αέρας είναι λιγότερο θερμός. Και πάλι έχουμε δύο περιπτώσεις όσον αφορά τον αέρα αναγέννησης, ο οποίος μπορεί να λαμβάνεται είτε από τον χώρο είτε από το περιβάλλον.

#### Σύστημα με αέρα αναγέννησης από τον κλιματιζόμενο χώρο



Σχήμα 2.2.5 Σύστημα ηλιακού κλιματισμού με αέρα περιβάλλοντος και ανακυκλοφορίας  
Αέρας αναγέννησης από το χώρο

#### Σύστημα με αέρα αναγέννησης από το περιβάλλον

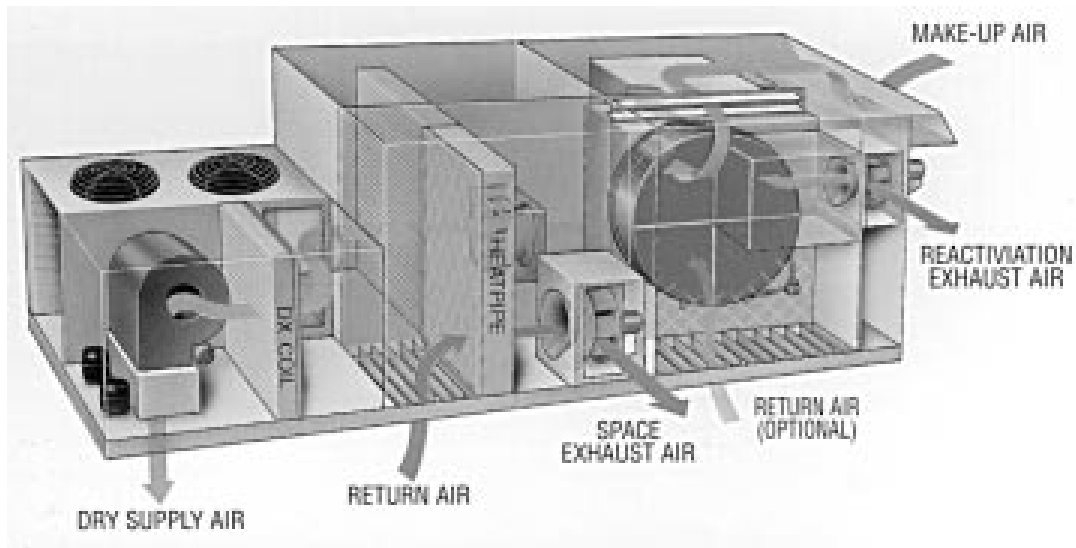


Σχήμα 2.2.6 Σύστημα ηλιακού κλιματισμού με αέρα περιβάλλοντος και ανακυκλοφορίας  
Αέρας αναγέννησης από το περιβάλλον

### 2.2.2 Υβριδικά συστήματα

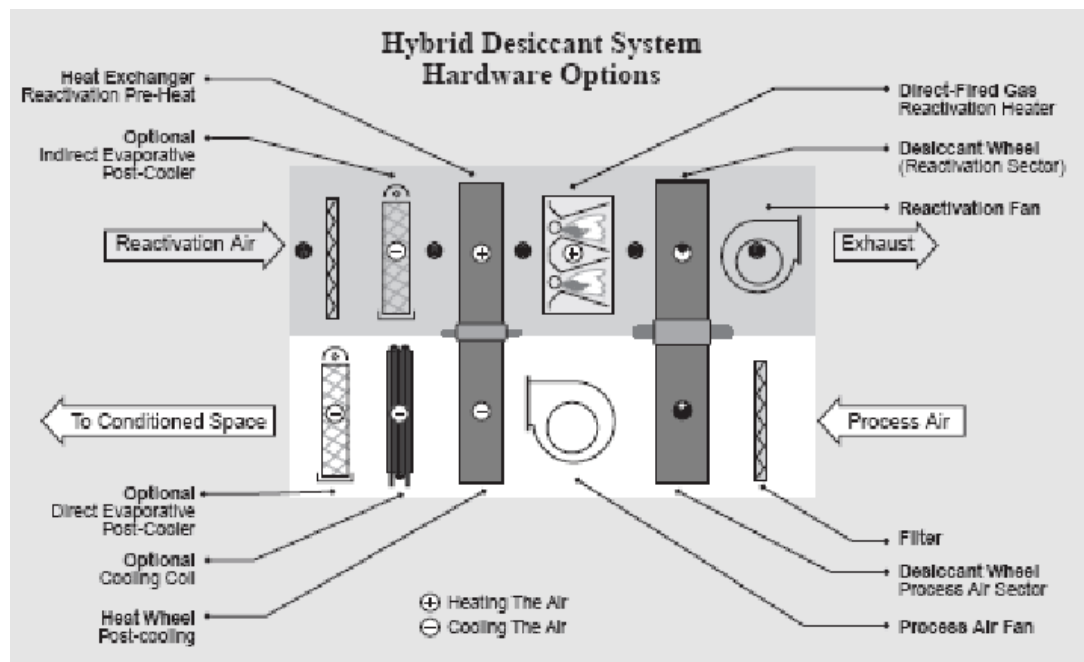
Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκε η περίπτωση ενός τυπικού συστήματος ηλιακού κλιματισμού με παροχή εξωτερικού αέρα 100%, που είναι και η περίπτωση που θα μελετηθεί στη συνέχεια, καθώς και άλλες παραλλαγές. Στο σημείο αυτό όμως, χρήσιμο είναι να αναφερθούν και άλλες διατάξεις συστημάτων που αφορούν τα desiccant και που συναντώνται γενικά.

Ένα σύστημα που απαντάται σε εμπορικές εφαρμογές είναι αυτό του παρακάτω σχήματος. Αποτελείται από έναν τροχό desiccant, ο οποίος είναι προορισμένος να ρυθμίζει την υγρασία και από συμβατικό κλιματιστικό σύστημα με συμπιεστή, που είναι απαραίτητο για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Ένα τέτοιο σύστημα είναι προφανές ότι συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο τεχνολογιών αφού επιτρέπει τη ρύθμιση της υγρασίας του χώρου ανεξάρτητα από τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Έτσι έχουμε τα υποβοηθούμενα από τα desiccant HVAC συστήματα.



Σχήμα 2.2.7 Υβριδικό desiccant system με συμβατικό κλιματισμό [1]

Ακόμα, στο παρακάτω σχήμα έχουμε τη διάταξη ενός υβριδικού συστήματος desiccant. Αυτό αποτελείται από τα υποσυστήματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως (εναλλάκτης, υγραντήρες, σύστημα θέρμανσης) σε συνδυασμό με συμβατικά ψυκτικά στοιχεία cooling coils. Τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος είναι και πάλι ότι συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας δηλαδή την ανεξάρτητη ρύθμιση θερμοκρασίας και υγρασίας. Επιπλέον, συστήματα τέτοιου είδους είναι σχεδόν πάντα μικρότερου μεγέθους από τα αντίστοιχα συστήματα που δεν περιλαμβάνουν καθόλου συμβατικό εξοπλισμό (all desiccant systems). Έτσι εξασφαλίζεται ότι θα επιτυγχάνονται πάντα οι επιθυμητές συνθήκες με αντίστοιχη ρύθμιση λειτουργίας των υποσυστημάτων, ενώ παράλληλα το μικρότερο μέγεθος μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερο κόστος αγοράς.



Σχήμα 2.2.8 Υβριδικό desiccant system με συμβατικό κλιματισμό [1]

# 3

## *Ποιότητα εσωτερικού χώρου*

Όπως αναφέρθηκε, η έννοια του κλιματισμού αναφέρεται στην διατήρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της ποιότητας και της κυκλοφορίας του αέρα που είναι απαραίτητη σε έναν χώρο με βάση τις ανάγκες του. Στο παρελθόν στόχος των σχεδιαστών των κλιματιστικών συστημάτων ήταν να επιτευχθεί η άνεση των ατόμων με ένα λογικό κόστος και θεωρώντας ότι το άνετο περιβάλλον ήταν και υγιεινό. Ωστόσο σύμφωνα με τις πιο πρόσφατες μελέτες δόθηκε έμφαση στο γεγονός ότι ένα άνετο περιβάλλον μπορεί να είναι ανθυγιεινό και να περιέχει είτε παθογόνους μικροοργανισμούς, είτε σωματίδια, είτε ρύπους όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Κάποια στιγμή στα πλαίσια της μείωσης του κόστους ως λύση δόθηκε η μείωση του εξωτερικού αέρα περιβάλλοντος και συνεπώς η μείωση των φορτίων του χώρου. Το αποτέλεσμα ήταν να υπάρξουν προβλήματα στην υγεία των ατόμων στο χώρο. Είναι αντιληπτό ότι αυτό αποτελεί πρόβλημα για χώρους εργασίας, μεγάλα κτίρια και γενικά όπου υπάρχουν πολλά άτομα ή παράγονται μυρωδιές ή άλλοι μικροοργανισμοί ή σε κάποιο εργοστάσιο που θα προκύπτουν αναθυμιάσεις από την παραγωγή. Αλλά ακόμα και όπου είναι λίγα άτομα όπως παραδείγματος χάρι σε ένα σπίτι πρέπει να δίνεται προσοχή στην ποιότητα του αέρα για να αποφευχθεί μικροβιακή ανάπτυξη και μη άνεση. Επομένως σήμερα απασχολεί όχι μόνο η άνεση των ατόμων ενός χώρου αλλά και η υγεία αυτών. Έτσι δημιουργήθηκε ο όρος ποιότητα εσωτερικού χώρου (indoor air quality-IAQ) που στοχεύει στο να προσδιορίσει αν ένα περιβάλλον είναι καθαρό, υγιεινό και χωρίς μυρωδιές, και που επηρεάζει την υγεία και την ευημερία των ατόμων που κινούνται σε αυτόν. Αυτοί οι παράγοντες με τη σειρά τους επηρεάζουν την ποιότητα, τη διαδικασία και την αποτελεσματικότητα παραγωγής ή δουλειάς που αποτελούν εξ'ίσου σημαντικούς παράγοντες. Επομένως για βιομηχανικά περιβάλλοντα θα πρέπει να υπάρχει ειδικός εξαιρισμός και ειδικές υποδομές.



### **3.1 Αποδεκτή ποιότητα αέρα**

Η ASHRAE στο standard 62 διευκρινίζει ότι αποδεκτή ποιότητα αέρα είναι εκείνη στην οποία δεν υπάρχουν επιβλαβή παθογόνα σωματίδια σε επικίνδυνες συγκεντρώσεις ( όπως θα επαληθεύεται από αρμόδιους) και στην οποία η πλειοψηφία των ανθρώπων ( 80%) που εκτίθενται στον αέρα αυτό δεν εκφράζουν δυσαρέσκεια. Έτσι με αποδεκτή ποιότητα αέρα και οι άνθρωποι είναι άνετα, αλλά και το περιβάλλον τους είναι υγιεινό. Η διατήρηση της άνεσης εξασφαλίζεται με έλεγχο θερμοκό, υγρασίας, ταχύτητας του αέρα και της θερμοκρασίας των περιβαλλουσών επιφανειών. Η διατήρηση της καλής ποιότητας εσωτερικού αέρα εξασφαλίζεται με την εντός καθορισμένου επιπέδου συγκέντρωση των αερίων και των σωματιδίων. Έτσι επιτυγχάνεται παραγωγικό εργασιακό περιβάλλον.

### **3.2 Θερμική άνεση**

Η θερμική άνεση των ατόμων παραμένει το πιο βασικό μέλημα της βιομηχανίας κλιματιστικών και ορίζεται ως η κατάσταση εκείνη στην οποία οι άνθρωποι είναι ικανοποιημένοι με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Το πρόβλημα είναι ότι δεν νιώθουν όλοι οι άνθρωποι άνετα κάτω από τις ίδιες συνθήκες και φυσικά δεν είναι επιθυμητό να έχουμε αλλαγή του ρουχισμού, της δραστηριότητας ή της θέσης, άνοιγμα παραθύρων, κλείσιμο του κλιματιστικού και άλλες τέτοιες ενδείξεις μη άνεσης, ενώ ακόμα δεν είναι επαρκώς προσδιορισμένοι όλοι οι παράγοντες που επιδρούν σε αυτήν. Ωστόσο είναι σαφές ότι η άνεση επηρεάζεται από την θερμοκρασία, την υγρασία, και την κίνηση του ατόμου, ενώ ρόλο παίζει και η προσπίπτουσα ακτινοβολία του ηλίου που απορροφάται από τις επιφάνειες και με την σειρά τις επανακτινοβολείται [2]. Ακόμα ενδιαφέρει ο χώρος να μην έχει μυρωδιές, σκόνη και φασαρία που σίγουρα εμποδίζουν κάποιον να νιώθει άνετα. Όλα αυτά οδηγούν στην εκτίμηση αυτών των παραμέτρων και στον περιορισμό τους μέσα σε κάποια όρια.

#### **3.2.1 Μηχανισμοί ρύθμισης θερμοκρασίας**

Το ανθρώπινο σώμα έχει ένα περίπλοκο σύστημα ρύθμισης της θερμοκρασίας του προκειμένου να τη διατηρήσει στους 36,9 °C ανεξαρτήτως περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι βασικοί μηχανισμοί είναι :

- A. Η κυκλοφορία του αίματος κοντά στην επιφάνεια του δέρματος-ρυθμίζει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας στο δέρμα.
- B. Με την αναπνοή-το σώμα χάνει αισθητό και λανθάνον φορτίο τόσο με συναγωγή όσο και με ατμοποίηση.
- C. Με την εφίδρωση-μεταφορά θερμότητας και μάζας από το δέρμα στο περιβάλλον.
- D. Με τη ρύθμιση του μεταβολισμού-ενέργεια μετατρέπεται από χημική σε θερμική κάτι που εξαρτάται σαφώς από η δραστηριότητα. Ο μεταβολικός ρυθμός ποικίλει ανάλογα με την δραστηριότητα, τον άνθρωπο και τις συνθήκες στις οποίες αυτός κινείται.

Μετρίεται σε  $\text{met}=58.1 \text{ W/m}^2=50 \text{ kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  [2]. Τυπικές τιμές δίνονται στο Παράρτημα στον Πίνακα 1.

Έτσι ένας άνθρωπος είναι αναμενόμενο να νιώθει πιο άνετα σε ένα θερμοκρασιακό περιβάλλον όπου το σώμα του μπορεί να διατηρήσει πιο εύκολα την σταθερή αυτή θερμοκρασία. Επομένως πρέπει η θερμοκρασία του σώματος να βρίσκεται σε ένα στενό πεδίο τιμών, η υγρασία του δέρματος να κρατείται σε χαμηλά επίπεδα και η προσπάθεια για ρύθμιση αυτών να είναι η ελάχιστη.

### 3.2.2 Παράγοντες που επιδρούν στην άνεση

Οι πιο βασικοί παράγοντες για να εξασφαλίζεται άνεση είναι όπως αναφέρθηκε η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας, η υγρασία, η ταχύτητα του αέρα, η ακτινοβολία από τις επιφάνειες, που είναι περιβαλλοντικοί παράγοντες, αλλά και ο ρουχισμός και η δραστηριότητα του ανθρώπου (σχετίζεται με τον μεταβολισμό) που είναι καθαρά προσωπικοί. Εκτός όμως από αυτούς υπάρχουν και άλλοι δευτερογενείς παράγοντες, όπως η ανομοιομορφία του περιβάλλοντος, τα οπτικά ερεθίσματα, η ηλικία, το φύλο, η διάρκεια έκθεσης αλλά και το εξωτερικό περιβάλλον [2]. Με ορισμένες συσχετίσεις και εξισώσεις έχει δημιουργηθεί η παρακάτω κλίμακα θερμικής αίσθησης.

**Πίνακας 3.2.1 Κλίμακα θερμικής αίσθησης. ASHRAE thermal sensation scale [2]**

+3	πολύ ζεστό
+2	ζεστό
+1	σχετικά ζεστό
0	ουδέτερο
-1	σχετικά κρύο
-2	κρύο
-3	πολύ κρύο

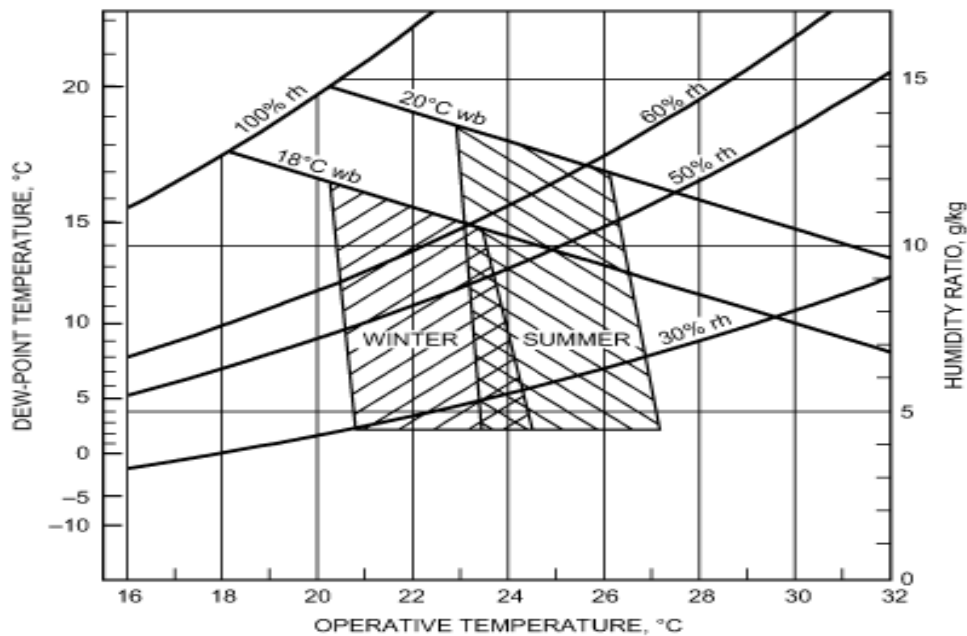
Ο ρουχισμός παρέχει μόνωση στο δέρμα και έτσι μειώνει την μεταφορά θερμότητας από το δέρμα στο εξωτερικό περιβάλλον. Ενδιαφέρει η θερμική αντίσταση που παρέχει το ρούχο και η οποία μετράται συνήθως σε clo. Ακόμα ενδιαφέρει η διαπερατότητα της υγρασίας μέσα από τα ρούχα και η συνολική επιφάνεια αυτών.

Η ανομοιομορφία του περιβάλλοντος όπως προαναφέρθηκε αποτελεί παράγοντα δυσφορίας γιατί ενώ το συνολικό σώμα μπορεί να είναι ουδέτερο, μέρη αυτού μπορεί να είναι πολύ ζεστά ή πολύ κρύα εξαιτίας ασύμμετρης θερμικής ακτινοβολίας στις επιφάνειες (κρύα ή ζεστά παράθυρα, ζεστά μηχανήματα κ.α), λόγω πολλών ρευμάτων αέρα (τοπική ψύξη ή θέρμανση του σώματος οδηγεί στην αλλαγή της θερμοκρασίας κλιματισμού ή ακόμα και σε κλείσιμο αυτού, και σχετίζεται με την ταχύτητα του αέρα στο χώρο) και οριζόντιων θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ κεφαλιού και ποδιών.

Πραγματική θερμοκρασία (effective temperature  $ET^*$ ) είναι η θερμοκρασία ενός χώρου με 50% σχετική υγρασία που προκαλεί τόση συναλλαγή θερμότητας όση και στο πραγματικό περιβάλλον και εξαρτάται από τη δραστηριότητα και το ρουχισμό. Ενεργός θερμοκρασία (operative temperature) είναι το μέσο της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας, και είναι εκείνη η ομοιόμορφη υποθετική θερμοκρασία που θα είχε ένας χώρος στον οποίο ένα άτομο θα είχε τόση συναλλαγή θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία όση και στο πραγματικό περιβάλλον. [3]

### 3.2.3 Διάγραμμα άνεσης

Προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητό το αρχικό πρόβλημα, δηλαδή αυτό της άνεσης θα μελετηθεί το παρακάτω διάγραμμα συνθηκών άνεσης [2].



**Σχήμα 3.2.1 Ζώνες άνεσης για χειμώνα και καλοκαίρι [2] για τυπικές τιμές ρουχισμού και στατική δραστηριότητα**

Το διάγραμμα αυτό απεικονίζει τις καλοκαιρινές και χειμερινές συνθήκες θερμικής άνεσης όπως δίνεται από το Standard 55 της ASHRAE, ώστε το 80% του συνόλου των ατόμων που είτε κάνουν καθιστική δουλειά, είτε είναι σχετικά ενεργητικοί να την βρίσκουν θερμικά αποδεκτή. Σε αυτό λοιπόν έχει θεωρηθεί ότι το επίπεδο μόνωσης ρουχισμού είναι της τάξης των 0,5 clo για καλοκαίρι και 0,9 clo για χειμώνα (δηλαδή κάποιες ενδεικτικές τιμές ρουχισμού ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες). Τα άνω και κάτω θερμοκρασιακά όρια του πεδίου άνεσης συμπίπτουν με τις γραμμές σταθερής ET\* και επηρεάζονται από την υγρασία.

Στο κέντρο του διαγράμματος ένας τυπικός άνθρωπος με τις δεδομένες προδιαγραφές ρουχισμού και ακτινοβολίας θα είχε μια θερμική αίσθηση σχεδόν ουδέτερη, ενώ κοντά στα όρια θα είχε αίσθηση περίπου στο +0,5 για καλοκαίρι και στο -0,5 για χειμώνα.

Για άλλο επίπεδο μόνωσης ρουχισμού, πρέπει για κάθε 0,1 clo αύξηση να μειώνονται κατά 0,5°C τα θερμοκρασιακά όρια, και αν το επίπεδο μεταβολικής δραστηριότητας αυξηθεί πάνω από τα 1,2 met μπορεί να μικραίνει κατά 1,25°C η θερμοκρασία [2]. Αντίθετα τα όρια της υγρασίας είναι λιγότερο ακριβή. Έτσι χαμηλή υγρασία μπορεί να προκαλέσει ξηρότητα και γι' αυτό το standard 55 συνιστά να μην είναι το σημείο δρόσου κάτω από 2,2°C, ενώ υψηλή οδηγεί σε δυσφορία οπότε συνιστάται το καλοκαίρι να μην ξεπερνά η σχετική υγρασία το 60%.

### **3.3 Ασθένειες και Υγεία**

Η αραίωση των μολυσματικών σωματιδίων του αέρα επιτυγχάνεται με εισαγωγή εξωτερικού αέρα και είναι το πρώτο βήμα για τη διασφάλιση κατάλληλων συνθηκών υγιεινής. Η μείωση του εισερχόμενου εξωτερικού αέρα προκειμένου να μειωθεί η καταναλισκόμενη ενέργεια προκάλεσε προβλήματα υγείας και δεν ενδείκνυται ως μέθοδος. Μερικά από τα σωματίδια και τα αέρια που είναι επιθυμητό να βρίσκονται εντός ορισμένων πλαισίων είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μονοξείδιο του άνθρακα, ατμοί, ραδιενεργά υλικά, μικροοργανισμοί, ιοί, αλλεργιογόνα και σωματίδια. Ακόμα τα πιο σύγχρονα κτίρια έχουν μοκέτες, χαλιά και επίπλωση που απελευθερώνουν πτητικές οργανικές ενώσεις (τα λεγόμενα volatile organic compounds VOCs) που είναι επιβλαβή για τον άνθρωπο και την υγεία του.

Συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ναυτίες, ερεθισμοί ματιών και μύτης, άσθμα, αλλά και πολλές σοβαρότερες ασθένειες επικίνδυνες για την υγεία, μπορεί να είναι δείγματα κακής ποιότητας αέρα. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που έχει παρατηρηθεί το “sick building syndrome” όπου ένας ασυνήθιστα μεγάλος αριθμός ατόμων που δουλεύουν σε ένα χώρο παρουσιάζει προβλήματα υγείας λόγω κακής ποιότητας αέρα. Στο Παράρτημα ο Πίνακας 2 δείχνει ορισμένες ασθένειες που οφείλονται σε κακή ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου.

#### **3.3.1 Εξασφάλιση ποιότητας αέρα**

Η ASHRAE στο Standard 62 περιγράφει δύο μεθόδους για την επίτευξη καλής ποιότητας αέρα. Η πρώτη και βασική μέθοδος είναι η χρήση εξωτερικού αέρα σε ικανοποιητική ποσότητα μαζί με αέρα ανακυκλοφορίας του χώρου (Ventilation Rate Procedure) ενώ η δεύτερη είναι η μείωση της συγκέντρωσης όλων των βλαβερών ουσιών σε αποδεκτά επίπεδα (Indoor air Quality Procedure) με μεθόδους όπως καθαρισμό του αέρα, φιλτράρισμα, κατάλληλη διανομή του αέρα και μπορεί να συνδυαστεί με την πρώτη μέθοδο προκειμένου να μειωθεί ο απαιτούμενος εξωτερικός αέρας, τα φορτία που αυτός εισάγει στο χώρο και συνεπώς το κόστος. Τυπικές τιμές αερισμού όπως δίνονται στο standard 62 της ASHRAE βρίσκονται στο παράρτημα.

Επειδή υπάρχει περίπτωση ο χώρος που ενδιαφέρει να βρίσκεται σε περιοχή με μολυσματικές πηγές και ο εξωτερικός αέρας να είναι μολυσμένος ή γενικότερα βλαβερός, ενδεικτικά αναφέρονται τα όρια συγκέντρωσης (National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards for Outdoor Air) όπως καθορίστηκαν από την United States Environmental Protection Agency (EPA) και από την World Health Organization για την Ευρώπη [2]. Στο Παράρτημα δίνεται Πίνακας με τις ενδεικτικές συγκεντρώσεις.

### 3.3.2 Φυσιολογία και υγεία

Πέρα όμως από τους μολυσματικούς και ρυπογόνους παράγοντες ακόμα και η θερμοκρασία επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων διότι επηρεάζει τη θερμοκρασία του σώματος και την εσωτερική και την εξωτερική. Η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος διατηρείται περίπου σταθερή μέσω ενός πολύπλοκου μηχανισμού ρύθμισής της, ενώ η θερμοκρασία του δέρματος μεταβάλλεται αρκετά ανάλογα με τις συνθήκες και τη δραστηριότητα. Ακόμα, διαφορετικά σημεία του σώματος πολλές φορές έχουν διαφορετική θερμοκρασία όπως τα χέρια και τα πόδια. Έτσι όταν υπάρχουν μεταβολές στη θερμοκρασία του χώρου, το σώμα αυξάνει την προσπάθεια για ρύθμιση της εσωτερικής του θερμοκρασίας (ρύθμιση ποσότητας αίματος με την εφίδρωση με αλλαγές του μεταβολικού ρυθμού) με αποτέλεσμα να προκαλούνται από διαταραχές στην ψυχολογία μέχρι και στην ίδια την υγεία όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [2].

**Πίνακας 3.3.1 Αισθητήριες αντιδράσεις, φυσιολογία και υγεία για παρατεταμένη έκθεση σε ορισμένη θερμοκρασία**

NEW $t_{eff}$ SCALE	SENSATION		PHYSIOLOGY	HEALTH
°C	TEMP.	COMFORT		
40	LIMITED TOLERANCE		BODY HEATING FAILURE OF REGULATION	CIRCULATORY COLLAPSE
	VERY HOT	VERY UNCOMFORTABLE	INCREASING STRESS CAUSED BY SWEATING AND BLOOD FLOW	INCREASING DANGER OF HEAT STROKES CARDIOVASCULAR EMBARRASSMENT
35	HOT			
	WARM	UNCOMFORTABLE		
30	SLIGHTLY WARM		NORMAL REGULATION BY SWEATING AND VASCULAR CHANGE	
25	NEUTRAL	COMFORTABLE	REGULATION BY VASCULAR CHANGE	NORMAL HEALTH
20	SLIGHTLY COOL		INCREASING DRY HEAT LOSS	
	COOL	SLIGHTLY UNCOMFORTABLE	URGE FOR MORE CLOTHING OR EXERCISE (BEHAVIORAL REGULA.)	
15	COLD		VASOCONSTRICTION IN HANDS AND FEET	INCREASING COMPLAINT FROM DRY MUCOSA AND SKIN (<1.4 kPa)
10	VERY COLD	UNCOMFORTABLE	SHIVERING	MUSCULAR PAIN IMPAIRMENT OF PERIPHERAL CIRCULATION

# 4

## *Περιγραφή λειτουργίας υποσυστημάτων*

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους υποσυστήματα που απαρτίζουν ένα τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού με αφυγραντικά μέσα desiccant. Εκτός από την περιγραφή τους θα δοθούν αναλυτικά στοιχεία της αρχής λειτουργίας τους καθώς και τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που εμφανίζουν.

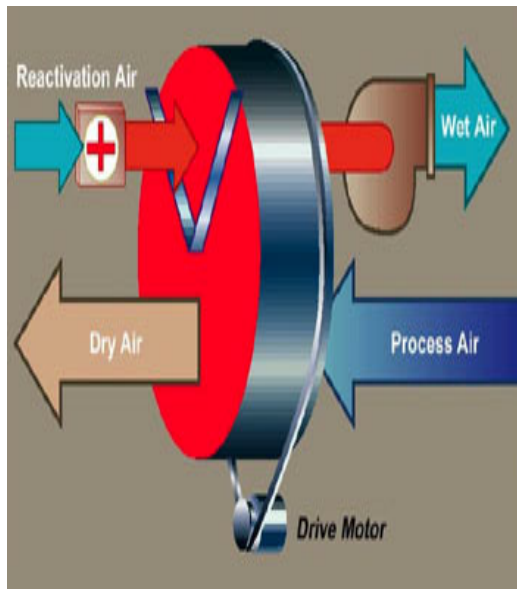
### *4.1 Τροχός desiccant*

#### *4.1.1 Αρχή λειτουργίας του τροχού desiccant*

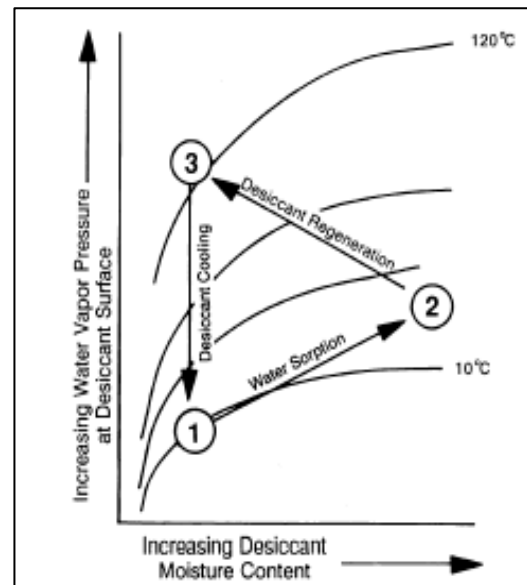
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα desiccant είναι μια υποκατηγορία των απορροφητών, και αυτό που απορροφούν και συγκρατούν είναι το νερό και πιο συγκεκριμένα την υγρασία του αέρα. Είναι συστήματα ανοικτού κυκλώματος γιατί λειτουργούν με τον εξωτερικό αέρα ως εργαζόμενο μέσο και έτσι έχουν άμεση συναλλαγή μάζας και θερμότητας. Ενώ θεωρητικά όλα τα υλικά μπορούν να θεωρηθούν desiccant, όπως π.χ. το γυαλί, ένα σφουγγάρι η διαφορά είναι ότι τα κανονικά εμπορικά desiccant συγκρατούν πολλή μεγάλη ποσότητα νερού (μπορούν να συγκρατήσουν από 10%-1100% του βάρους τους σε νερό σε αντίθεση με άλλα υλικά που φτάνουν το 6% ή το 23%), ενώ συνεχίζουν να απορροφούν υγρασία ακόμα και αν ο αέρας είναι σχετικά ξηρός. Ακόμα υπάρχουν και τα υγρά desiccant τα οποία μπορούν να συγκρατούν ακόμα μεγαλύτερες ποσότητες υγρασίας, αλλά στη προκειμένη περίπτωση δε θα απασχολήσουν. Εδώ θα εξετασθεί μόνο η περίπτωση τροχού desiccant.

Τα desiccant έλκουν την υγρασία και επομένως την απομακρύνουν από τον αέρα, λόγω διαφοράς στην πίεση υδρατμών. Όταν ο αέρας είναι υγρός έχει μεγαλύτερη πίεση υδρατμών ενώ στην επιφάνεια του desiccant η πίεση είναι πολύ μικρή αφού υπάρχουν λίγα μόρια νερού. Έτσι μεταφέρονται μόρια νερού από τον αέρα στο desiccant μέχρι να εξισωθεί η πίεση αυτού με την πίεση του αέρα. Ο τροχός περιστρέφεται πολύ αργά συνεχώς και περνάνε δύο ρεύματα μέσω αυτού. Το πρώτο είναι αυτό από το οποίο πρόκειται να αφαιρεθεί η υγρασία ή αλλιώς ρεύμα προσαγωγής

(process air), και το δεύτερο είναι αυτό που ονομάζεται ρεύμα αναγέννησης ή ρεύμα απαγωγής (reactivation air) το οποίο επειδή είναι ζεστό, ζεσταίνει τον τροχό, θερμαίνει το ξηραντικό μέσο του και έτσι μειώνεται η δυνατότητα για συγκράτηση υγρασίας οπότε απελευθερώνει την υγρασία που έχει απορροφήσει. Μετά ψύχοντάς τον, αυτός συνεχίζει να έλκει υγρασία από το άλλο ρεύμα και επομένως συνεχίζει την διαδικασία της απορρόφησης όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 4.1.1 Διαδικασία απορρόφησης υγρασίας από τροχό desiccant**

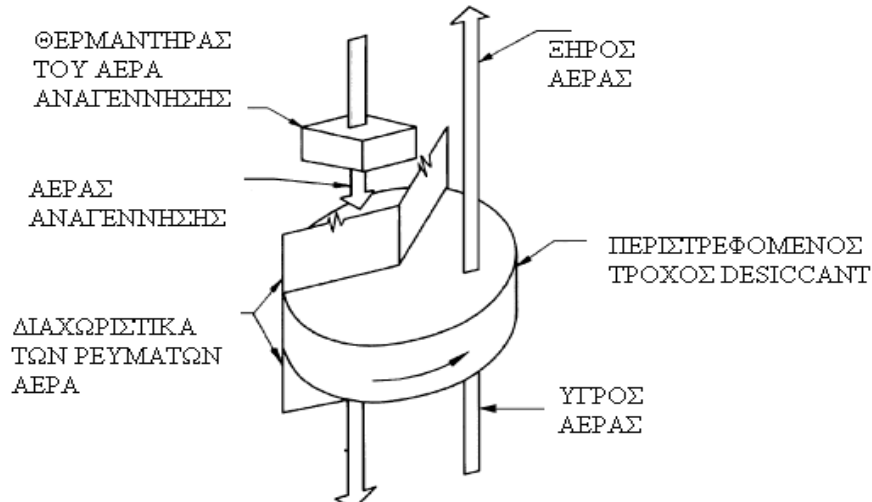


**Σχήμα 4.1.2 Κύκλος λειτουργίας ξηραντικού μέσου [2]**

Ο αέρας περνώντας από τον τροχό είναι πλέον ξηρός, αλλά πιο θερμός. Πιο συγκεκριμένα, η απορρόφηση δημιουργεί αισθητή θερμότητα ίση με την λανθάνουσα θερμότητα της υγρασίας που απορροφάται, αυξημένη κατά ένα ποσοστό της τάξης του 5%-25% της θερμότητας αυτής [2]. Η θερμότητα αυτή πάει στον τροχό και στον περιβάλλοντα αέρα. Η δημιουργία της οφείλεται στον αντίθετο μηχανισμό της ατμοποιητικής ψύξης, δηλαδή ενώ κατά την ατμοποίηση μειώνεται το αισθητό φορτίο και αυξάνεται το λανθάνον, τώρα μειώνεται το λανθάνον φορτίο και αυτό συνοδεύεται με αύξηση του αισθητού. Ακόμα ένα μέρος της οφείλεται στην μεταφορά θερμότητας μεταξύ του ρεύματος ενεργοποίησης το οποίο είναι πολύ πιο ζεστό στο ρεύμα τροφοδότησης μέσω του τροχού.

Όσον αφορά το ρεύμα αναγέννησης, η θερμοκρασία του πριν αναγεννήσει τον τροχό είναι από τις βασικότερες παραμέτρους ρύθμισης της διεργασίας απορρόφησης ακριβώς επειδή εξασφαλίζει την ανανέωση του μέσου απορρόφησης. Η επιθυμητή θερμοκρασία του είναι λοιπόν μεταξύ 50-250° C [2] (γενικά γιατί το κάθε ξηραντικό μέσο λειτουργεί σε διαφορετικό εύρος θερμοκρασιών για παράδειγμα το silica gel αναγεννάται επαρκώς στους 70° C (ισοθερμοκρασιακά) ενώ ο synthetic zeolites στους 130° C [4]) και στο θερμοκρασιακό πεδίο των 38-120 ° C [5] όσο πιο πολύ θερμότητα προσφέρεται τόσο πιο βαθιά ξηραίνεται ο τροχός. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι θέρμανσης όπως θα αναλυθεί σε επόμενη παράγραφο, επειδή όμως ενδιαφέρει η ηλιακή ψύξη, το ρεύμα αναγέννησης θα θερμανθεί με την ηλιακή ενέργεια και οι θερμοκρασίες που είναι επιθυμητό να επιτευχθούν θα είναι μεταξύ 50-85°C ανάλογα και με το ξηραντικό μέσο που θα επιλεγεί.

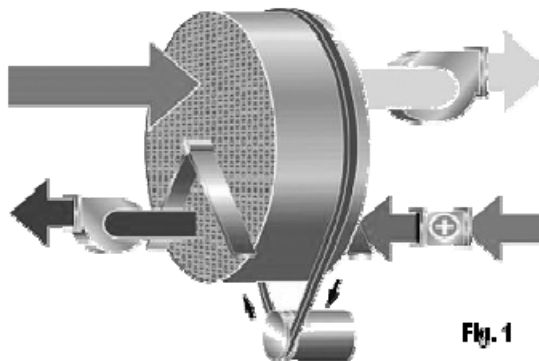
Το σύστημα οδήγησής του αποτελείται από κινητήρα που κινεί τον ιμάντα που είναι δεμένος γύρω από τον τροχό. Σε εμπορικά desiccant ο τροχός περιστρέφεται συνεχώς με ταχύτητα της τάξης των 6-20 περιστροφών ανά ώρα.(6-20 rph) [1]. Ακόμα τα στεγανωτικά στην άκρη του τροχού αποτρέπουν διαρροές, αλλά και αυτά που χωρίζουν το ρεύμα εισόδου από το ρεύμα αναγέννησης είναι σημαντικά για την απόδοση του συστήματος.



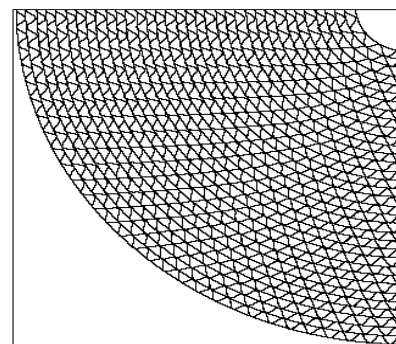
Σχήμα 4.1.3 Σύστημα οδήγησης και εξαρτήματα τροχού desiccant

#### 4.1.2 Στερεά desiccant-χαρακτηριστικά απορροφητικών μέσων

Το βασικό στοιχείο ενός συστήματος desiccant είναι αναμφισβήτητα ο τροχός. Αυτός αποτελείται από ξηραντικό μέσο το οποίο βρίσκεται σε κυψελοειδή διάταξη ανοιχτή στα δύο άκρα, από ένα σύστημα οδήγησης για την περιστροφή του και από μονωτικό υλικό για την αποφυγή διαρροών από το ένα ρεύμα αέρα στο άλλο. Έτσι ο αέρας περνά από τις κυψέλες της επάνω πλευράς του τροχού, αφήνοντας την υγρασία του, ενώ από την κάτω πλευρά διέρχεται το ρεύμα της αναγέννησης (σύμφωνα με το σχήμα), καθώς αυτός περιστρέφεται αδιάκοπα. Πιο συγκεκριμένα, το ξηραντικό μέσο είναι εμποτισμένο σε μια υποστηρικτική αυλακωτή δομή (wheel support structure) που είναι κατασκευασμένη από διαφορετικές ίνες, γυαλί κεραμικά υλικά και πλαστικά ενώ μπορεί να είναι και από κράματα αλουμινίου (core material). Όλα αυτά όμως εξασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες του ρεύματος ενεργοποίησης και στην υγρασία.



Σχήμα 4.1.4 Δομή τροχού desiccant



Σχήμα 4.1.5 Αυλακωτή δομή τροχού και κυψελοειδής διάταξη ξηραντικού μέσου



Όσον αφορά το ξηραντικό μέσο, υπάρχει ποικιλία υλικών. Τα απορροφητικά μέσα έχουν πολύ μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής ανά μονάδα μάζας (ενδεικτικά 1gr μόνο μπορεί να έχει πάνω από 4.600 m<sup>2</sup> επιφάνεια) και η συμπεριφορά τους εξαρτάται από την επιφάνεια αυτή, τον όγκο των κοιλοτήτων του υλικού καθώς και το εύρος των διαμέτρων των κοιλοτήτων αυτών. Επομένως όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια συναλλαγής τόσο μεγαλύτερη η απορροφητική ικανότητα για χαμηλής σχετικής υγρασίας περιβάλλον, και όσο μεγαλύτερος ο όγκος των κοιλοτήτων τόσο μεγαλύτερη κατακράτηση συμπυκνωμένου νερού σε υψηλές σχετικές υγρασίες, ενώ στενό εύρος διαμέτρων οδηγεί σε επιλεκτικότητα των ατμών που θα συγκρατήσει. Επομένως επειδή το κάθε υλικό έχει άλλες δυνατότητες συχνά συνίσταται ο συνδυασμός αυτών για βελτίωση των επιδόσεων απορρόφησης. (Πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και να καλυφθεί όλη η επιφάνεια του μέσου από τους υδρατμούς το μέσο συνεχίζει να απορροφά υγρασία αφού ο συμπυκνωμένος υδρατμός καταλαμβάνει τις εσωτερικές κοιλότητες του μέσου και σταδιακά προχωρά προς τα έξω). Τυπικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα [2]:

- Silica gels (πυρετική πηκτή). Είναι άμορφα στερεά συμπυκνώματα που προέρχονται από συμπυκνωμένα διαλύματα πυριτίου σε νερό ή άλλους διαλύτες. Πλεονεκτεί ως προς το ότι προσφέρει χαμηλό κόστος και κατασκευαστική απλότητα για συγκεκριμένες απαιτήσεις, ενώ είναι διαθέσιμα σε πολλά μεγέθη. Είναι από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα υλικά στο εμπόριο.
- Zeolites (ζεόλιθος). Είναι ένυδρα ορυκτά τα οποία παρουσιάζουν μια χαλαρή κρυσταλλική δομή που αποτελείται από τρισδιάστατο αργιλοπυριτικό πλέγμα που επιτρέπει την κατακράτηση ατμών νερού, και το μέγεθος των ατόμων του κρυστάλλου αυτού καθορίζει το μέγιστο μέγεθος των μορίων που μπορούν να συγκρατηθούν.
- Synthetic zeolites (συνθετικός ζεόλιθος) ή αλλιώς "μοριακό κόσκινο (molecular sieve)" είναι κρυσταλλικά αργιλοπυριτικά άλατα που προέρχονται από θερμική επεξεργασία στην οποία ελέγχοντας τη θερμοκρασία και τη ποσότητα των συστατικών καθορίζεται η δομή και η επιφάνεια τους. Και αυτό το υλικό συναντάται εξ ίσου συχνά στο εμπόριο.
- Activated aluminas (ενεργό αλουμίνιο). Είναι οξείδια και υδρίδια αλουμινίου που κατασκευάζονται θερμικά και η δομή τους μπορεί να ελεγχθεί μέσω των αερίων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους, καθώς και με τη διεργασία και τη διάρκεια της παραγωγής.
- Carbons (ενεργοί άνθρακες). Χρησιμοποιούνται σπάνια για την απορρόφηση νερού μιας και έχουν μεγαλύτερη χημική έλξη για άλλα αέρια. Έχουν μεγάλη εσωτερική επιφάνεια και επομένως μεγάλη ικανότητα απορρόφησης.
- Synthetic polymers (συνθετικά πολυμερή). Αποτελούνται από μακριά μόρια και απορροφούν και συγκρατούν υδρατμό τόσο στην επιφάνεια των μορίων τους όσο και στα διάκενα μεταξύ αυτών.
- Lithium chloride. Ανήκει στην κατηγορία των απορροφητών, αλλά συναντάται εμπορικά σε τροχούς desiccant. Έχει πολύ μεγάλη δυνατότητα αφύγρανσης και υψηλό κόστος, ενώ εν γένει για θερμοκρασία αναγέννησης πάνω από 130 °C επιτυγχάνει πολύ καλή αφύγρανση. Ωστόσο στα πιο σύγχρονα εμπορικά συστήματα που χρησιμοποιείται, έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αναγεννάται σε θερμοκρασίες χαμηλές που μπορούν να επιτευχθούν και με ηλιακούς συλλέκτες.[6]

Όσον αφορά στην διάρκεια των desiccant, αυτά διαρκούν περίπου όσο διαρκεί το υλικό (core material) του τροχού δηλαδή συνήθως πέντε με είκοσι χρόνια ή όπως αναφέρεται στην ASHRAE [2] διαρκούν 10.000-100.000 h. Αυτό οφείλεται στην αλλαγή των απορροφητικών δυνατοτήτων του υλικού λόγω αλληλεπίδρασης με στοιχεία του αέρα και στην μείωση της συνολικής επιφάνειας απορρόφησης του ξηραντικού μέσου λόγω φραξίματος από σκόνη, φτερά κ.α., ή λόγω θερμοκρασιακής κόπωσης εξ αιτίας των απορροφούμενων υδρατμών. Ωστόσο τα συστήματα desiccant σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η αντικατάσταση του απορροφητικού μέσου και αυτό μπορεί να επιτευχθεί βάζοντας φίλτρα στην προσαγωγή του αέρα και στο process αλλά και στο reactivation ρεύμα.

#### 4.1.3 Μοντελοποίηση της απόδοσης του τροχού desiccant

Η απόδοση του τροχού desiccant μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας τη μη γραμμική αναλογική θεωρία όπως προτείνεται από τον Bank [7]. Σύμφωνα με αυτήν, η μεταφορά θερμότητας και μάζας που πραγματοποιείται στον τροχό desiccant είναι ανάλογη με τη μεταφορά θερμότητας που πραγματοποιείται σε έναν τροχό ανάκτησης θερμότητας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι παράμετροι  $F_1$  και  $F_2$ , όπου ο δείκτης 1 αναφέρεται στο ρεύμα προσαγωγής και ο 2 στο ρεύμα αναγέννησης, και που είναι συναρτήσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας του ρεύματος αέρα. Πιο συγκεκριμένα :

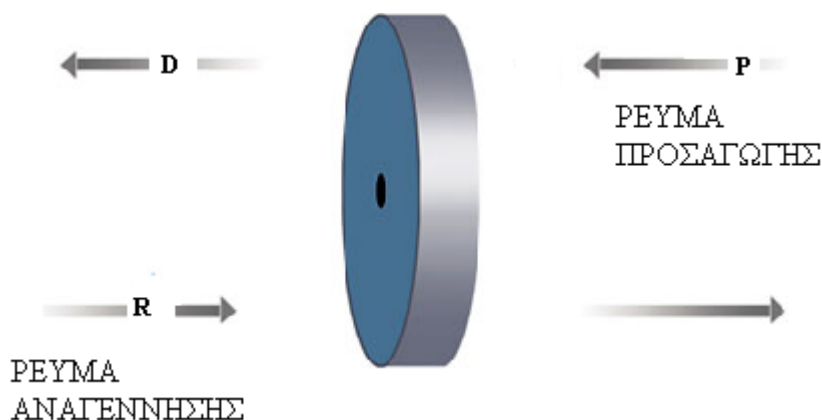
$$F_1 = \frac{-2865}{T^{1.49}} + 4.244 \cdot w^{0.8624}$$

$$F_2 = \frac{T^{1.49}}{6360} + 1.127 \cdot w^{0.07969}$$
(1)

Όπου :

$T$  είναι η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του ρεύματος αέρα ( K )

$w$  είναι η υγρασία του ρεύματος αέρα (kg/kg)



Σχήμα 4.1.6 Καταστάσεις του αέρα εκατέρωθεν του τροχού

Στο παραπάνω σχήμα με P αναφέρεται η κατάσταση εισόδου του αέρα προσαγωγής και με D η πραγματική κατάσταση εξόδου του ενώ με R αναφέρεται η κατάσταση του αέρα αναγέννησης πριν εισέλθει στον τροχό. Χρησιμοποιώντας τους βαθμούς απόδοσης των δύο αυτών παραμέτρων  $F_1$  και  $F_2$  προσδιορίζεται η τελική κατάσταση D του αέρα προσαγωγής καθώς εξέρχεται από τον τροχό. Οι βαθμοί απόδοσης των τροχών δίνονται από το [7] και είναι:

$$\eta_{F1} = \frac{F_{1D} - F_{1P}}{F_{1R} - F_{1P}}$$

$$\eta_{F2} = \frac{F_{2D} - F_{2P}}{F_{2R} - F_{2P}} \quad (2)$$

Αξίζει να σημειωθεί πως για τον ιδανικό τροχό desiccant οι βαθμοί απόδοσης παίρνουν αντίστοιχα τις τιμές  $\eta_{F1} = 0$  και  $\eta_{F2} = 1$ . Ακόμα θεωρείται πως ο τροχός είναι μια μηχανή άπειρης χωρητικότητας και συνεπώς η κατάσταση D του αέρα δεν επηρεάζεται από τη ροή μάζας των δύο ρευμάτων μέσω αυτού (όσο βρίσκεται σε λογικά πλαίσια).

## 4.2 Εναλλάκτης θερμότητας

Στα περισσότερα συστήματα κλιματισμού desiccant υπάρχει ένας εναλλάκτης θερμότητας προκειμένου να μεταφέρει θερμότητα μεταξύ των ρευμάτων δηλαδή να ψύξει τον αέρα που εξέρχεται από τον τροχό desiccant και να θερμάνει το ρεύμα αναγέννησης χωρίς όμως τα δύο αυτά ρεύματα να έρθουν σε άμεση επαφή. Η μεταφορά της θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε έχοντας αλλαγή φάσης του ρευστού (δηλαδή από υγρό σε αέριο ή το αντίστροφο) είτε όχι. Ακόμα μπορούμε να έχουμε είτε μεταβολή του αισθητού φορτίου, είτε μεταβολή του λανθάνοντος που θα συνοδεύεται με αλλαγή φάσης. Η αποδοτικότητα των εναλλακτών ορίζεται ως εξής (αν θεωρηθεί ότι η θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι περίπου σταθερή για τις διάφορες καταστάσεις):

$$\eta = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \quad (3)$$

Όπου :

$t_1$  είναι η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του ρεύματος εισόδου καθώς εισέρχεται στον εναλλάκτη ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_2$  είναι η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του ρεύματος εισόδου καθώς εξέρχεται από τον εναλλάκτη ( $^{\circ}\text{C}$ )

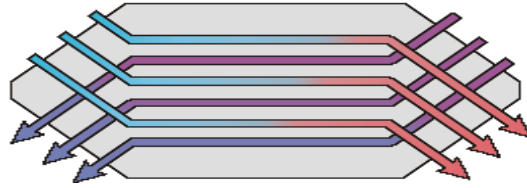
$t_3$  είναι η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του ρεύματος αναγέννησης καθώς εισέρχεται στον εναλλάκτη ( $^{\circ}\text{C}$ )

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι εναλλακτών είναι οι παρακάτω:

### 4.2.1 Πλακοειδής εναλλάκτης (plate type heat exchanger)

Συναντάται και ως "αέρα - αέρα" εναλλάκτης και είναι ο πιο οικονομικός αλλά και ο λιγότερο αποδοτικός στην απλή του μορφή (40-65% απόδοση) [1]. Όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι κατασκευασμένος από λεπτά φύλλα πλαστικού ή μετάλλου και τα δύο ρεύματα ρέουν το ένα κατά μήκος της μίας μεριάς του φύλλου και το άλλο κατά μήκος της άλλης. Φυσικά το θερμότερο ρεύμα θερμαίνει το ψυχρότερο και τα δύο ρεύματα είναι χωρισμένα οπότε αποφεύγονται οι διαρροές, μειώνεται το κόστος της συσκευής λόγω της έλλειψης μόνωσης, και μειώνεται και η μεταφορά θερμότητας από το ένα ρεύμα στο άλλο κάτι που οδηγεί σε μεγάλες και ογκώδεις συσκευές με μικρή αποδοτικότητα.

Ακόμα υπάρχει και η σταυροειδής διάταξη όπου τα ρεύματα διασταυρώνονται επιτυγχάνοντας ακόμα μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα μέχρι και 95% [8] (αυτό εξαρτάται βέβαια και από τη διάσταση του εναλλάκτη και την απόσταση των πλακών μεταξύ τους). Επομένως τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου είναι η χαμηλή του τιμή, η έλλειψη διαρροών, ενώ στα μειονεκτηματά του συμπεριλαμβάνονται η μειωμένη απόδοση και οι μεγάλες του διαστάσεις.



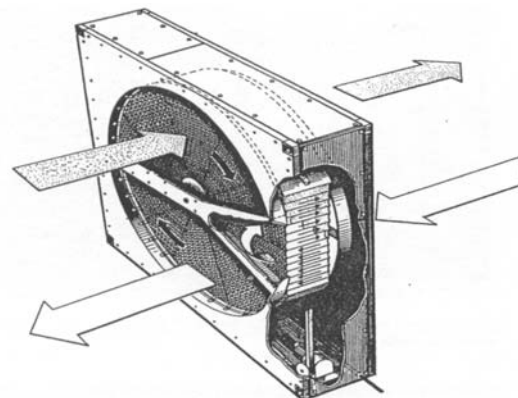
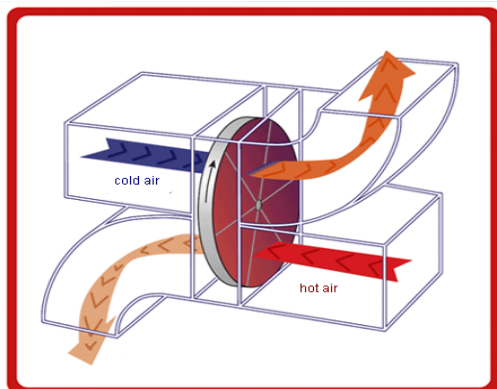
Σχήμα 4.2.1 Ροή αέρα σε σταυροειδή διάταξη εναλλάκτη



Σχήμα 4.2.2 Διαμόρφωση εναλλάκτη σταυροειδούς διάταξης

#### 4.2.2 Τροχοί ανάκτησης (heat wheels)

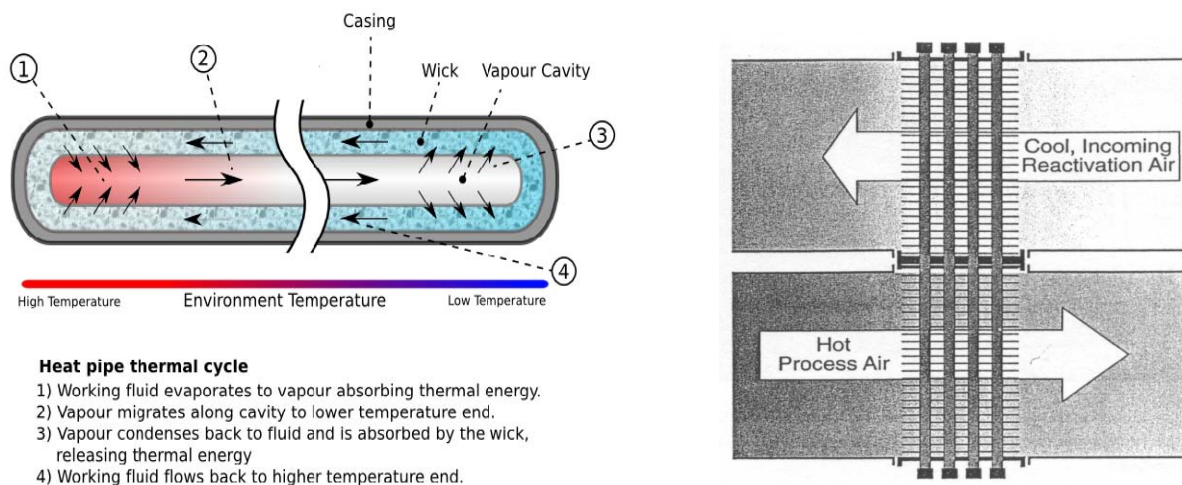
Οι εναλλάκτες αυτοί είναι οι πιο ακριβοί αλλά και οι πιο αποδοτικοί (80-95% απόδοση) [1]. Η υψηλή τους απόδοση οδηγεί τελικά σε μειωμένο κόστος γιατί επιτρέπει εξοικονόμηση του υπόλοιπου ψυκτικού εξοπλισμού σε μέγεθος, κόστος και πολυπλοκότητα αφού θα είναι επιβαρημένος με μικρότερο φορτίο. Εξωτερικά μοιάζουν πολύ με τους τροχούς desiccant γιατί έχουν και αυτοί κυβελωτή διάταξη, περνάνε δύο ρεύματα μέσω αυτών, ένα θερμό στην κάτω πλευρά και ένα ψυχρό στην πάνω τα οποία συναλλάζουν θερμότητα, ενώ εμπεριέχονται σε παρόμοιο εξωτερικό κυλινδρικό περίβλημα. Ωστόσο η λειτουργία τους είναι εντελώς διαφορετική και ο σκοπός τους επίσης. Αυτοί οι τροχοί περιστρέφονται με ταχύτητα της τάξης των 20rpm –δηλαδή 20 φορές το λεπτό-τη στιγμή που οι τροχοί desiccant περιστρέφονται με ταχύτητα το πολύ 20 φορές την ώρα! Είναι προορισμένοι για μεταφορά αισθητής θερμότητας ενώ οι desiccant για την μεταφορά λανθάνοντος φορτίου. Η αποδοτικότητα αυτών των τροχών εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής τους και έτσι ρυθμίζοντας αυτήν δύναται να μεταβληθεί το ψυκτικό αποτέλεσμα [1]. Στα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου συμπεριλαμβάνονται η υψηλή απόδοση, το μικρό τους μέγεθος (υπάρχει βέβαια ποικιλία διαστάσεων ανάλογα με την περίπτωση), η ρύθμιση της ψύξης με αλλαγή της ταχύτητας, ενώ τα μειονεκτήματά του είναι το υψηλό κόστος, η ανάγκη συντήρησης και οι διαρροές των ρευμάτων. Ωστόσο ο τύπος αυτός είναι αρκετά δημοφιλής.



Σχήμα 4.2.3 Ροή αέρα και εξωτερική διαμόρφωση στους τροχούς ανάκτησης

### 4.2.3 Θερμοσωλήνες (heat pipes)

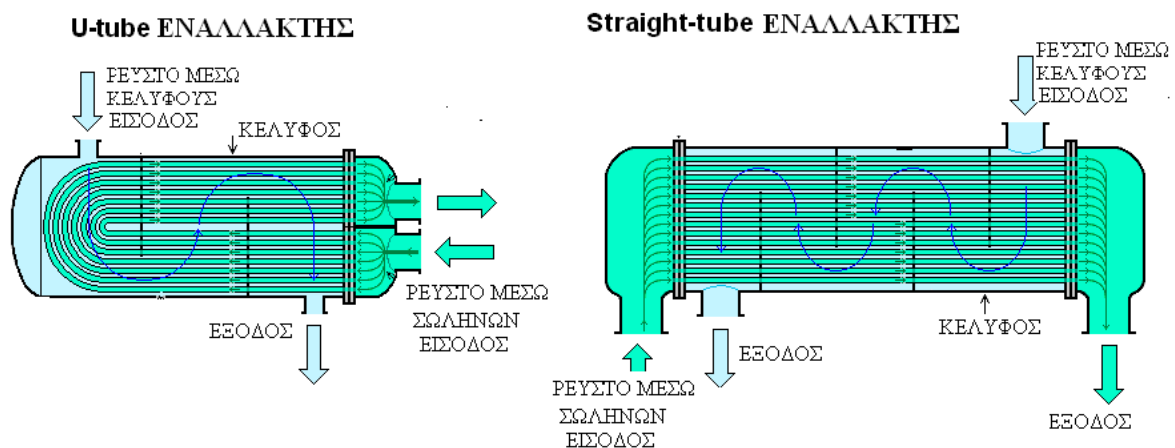
Οι εναλλάκτες αυτοί είναι μικρότεροι και πιο οικονομικοί από τους τροχούς ανάκτησης αλλά και λιγότερο αποδοτικοί (55-75% απόδοση) [1]. Εξωτερικά θυμίζουν τα συμβατικά ψυκτικά στοιχεία και αποτελούνται από σωλήνες που στο κάτω τους άκρο βρίσκεται το θερμό ρεύμα αέρα και στο πάνω το ψυχρό, και τα ρεύματα αυτά χωρίζονται από μια πλάκα. Η αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής, μέσα στους σωλήνες υπάρχει υγρό το οποίο έχει την ιδιότητα να ατμοποιείται όταν γύρω από τον σωλήνα βρίσκεται το ζεστό ρεύμα. Στη συνέχεια το αεριοποιημένο πλέον μέσο οδεύει προς την άλλη μεριά του σωλήνα αφού είναι πιο ελαφρύ και περνώντας γύρω του το ψυχρό ρεύμα, συμπυκνώνεται προσδίδοντας στο ρεύμα θερμότητα και ζεσταίνοντας το. Το υγρό μέσο επιστρέφει στην ζεστή πλευρά για να συνεχιστεί η διαδικασία και να επαναληφθεί ο κύκλος. Στα πλεονεκτήματα του κύκλου αυτού συμπεριλαμβάνονται πέρα από την ικανοποιητική απόδοση και την δυνατότητα να μεταφέρονται μεγάλα ποσά θερμότητας ακόμα και αν η θερμοκρασιακή διαφορά των δύο επιφανειών (θερμής και ψυχρής) είναι πολύ μικρή, η χαμηλότερη τιμή αλλά και λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως το μικρό μέγεθος και η σχεδιαστική ευελιξία αφού μπορεί ο ενδιαφερόμενος να βάλει όσες σειρές σωλήνων νομίζει ότι χρειάζεται. Ακόμα δε χρειάζεται συντήρηση και έχει τη δυνατότητα να τοποθετηθεί σε τέτοιο σημείο ώστε να παραλαμβάνει το θερμότερο ρεύμα αέρα καθώς περιστρέφεται ο αφυγραντικός τροχός, και ο λιγότερο θερμός αέρας να μην περνάει από την διάταξη. Αυτό βέβαια αποτελεί και μειονέκτημα γιατί χρειάζεται και άλλος εξοπλισμός προκειμένου να ψυχθεί και το ρεύμα αέρα που δεν πέρασε καθόλου από τον εναλλάκτη. Ακόμα πρόβλημα αποτελεί η έλλειψη δυνατοτήτων ρύθμισης του ψυκτικού φορτίου γιατί δεν υπάρχει μέθοδος ρύθμισης της αποδοτικότητας παρά μόνο με διατάξεις by-pass που είναι δαπανηρές.



Σχήμα 4.2.4 Θερμικός κύκλος του μέσου του θερμοσωλήνα και διάταξη θερμοσωλήνων σε λειτουργία [9,1]

#### 4.2.4 Εναλλάκτες κελύφους –σωλήνων (shell and tubes heat exchanger)

Όπως υποδηλώνει και το όνομά τους αυτοί οι εναλλάκτες αποτελούνται από ένα κέλυφος που εμπεριέχει σωλήνες. Η αρχή λειτουργίας τους είναι η εξής: υπάρχουν δύο ρευστά που είναι διαφορετικών θερμοκρασιών. Το ένα ρευστό διέρχεται μέσα από τους σωλήνες και το άλλο περνάει μέσα στο κέλυφος και γύρω από τους σωλήνες. Έτσι μεταφέρεται θερμότητα είτε από το ρευστό των σωλήνων στο ρευστό του κελύφους, ή αντίστροφα. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγάλη απόδοση είναι αναγκαία η μεγάλη επιφάνεια συναλλαγής και συνεπώς πολλοί σωλήνες. Κατασκευαστικά, οι σωλήνες συγκολλώνται ή δένονται στο κέλυφος, και μπορεί να είναι ελασμένοι και συγκολλημένοι ώστε να έχουν διάταξη τύπου U (U-tube) ή να είναι και τα δύο τους άκρα στις άκρες του κελύφους (straight-tube). Το κέλυφος συνήθως είναι ένας σωλήνας που έχει είσοδο και έξοδο κατά μήκος του. Επειδή στην περίπτωση που εξετάζεται τα ρευστά είναι και τα δύο αέρας ο εναλλάκτης αυτός χαρακτηρίζεται μονοφασικός. Στα πλεονεκτήματά του συμπεριλαμβάνονται η δυνατότητά του να διαχειριστεί μεγάλες ποσότητες ρευστού. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή υλικού προκειμένου να αντέξει στις θερμικές τάσεις και στη ενδεχόμενη διάβρωση.



Σχήμα 4.2.5 Τυπικές διαμορφώσεις εναλλακτών τύπου κελύφους σωλήνων

Τελικά πρέπει να σημειωθεί ότι στις εφαρμογές desiccant οι πιο συχνά απαντώμενοι τύποι είναι ο τροχός ανάκτησης και τα heat pipes [1]. Φυσικά οι συνθήκες και τα δεδομένα της κάθε περίπτωσης είναι αυτά που θα οδηγήσουν στην τελική επιλογή.

### 4.3 Υγραντήρες

Στα συστήματα κλιματισμού desiccant πολύ συχνά συναντώνται υγραντήρες για να απομακρυνθεί η θερμότητα που προστέθηκε στο ρεύμα του αέρα από την αφύγρανση που προηγήθηκε και συνεπώς να ψυχθεί ο αέρας. Η γενική αρχή λειτουργίας τους είναι η ψύξη μέσω ατμοποίησης. Πιο συγκεκριμένα :

Ο αέρας εισέρχεται διαμέσου ενός υγρού στοιχείου και επειδή μέρος της αισθητής του θερμότητας προκαλεί εξάτμιση του υγρού και κατά συνέπεια υγρασία, πέφτει η θερμοκρασία και αυξάνεται η υγρασία του. Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αέρα και νερού τόσο μεγαλύτερο είναι και το ψυκτικό αποτέλεσμα. Η διαδικασία αυτή είναι αδιαβατική και δε χρειάζεται να καταναλωθεί εξωτερική ενέργεια για να πραγματοποιηθεί. Έτσι εξοικονομείται ενέργεια, χρησιμοποιώντας ηλεκτρισμό μόνο για την αντλία του νερού και για τους ανεμιστήρες μειώνοντας το κόστος λειτουργίας. Ακόμα λόγω της κατασκευαστικής του απλότητας το κόστος απόκτησης ενός τέτοιου εξοπλισμού είναι μικρό. Ωστόσο στα μειονεκτήματά του συμπεριλαμβάνονται η απαιτούμενη συντήρηση για να μην παγώσουν τα δίκτυα διανομής του νερού και η απαιτούμενη προσοχή στην ποιότητα του νερού. Επομένως έγκειται στον κάθε ενδιαφερόμενο να επιλέξει εάν τον συμφέρει να χρησιμοποιήσει ένα τέτοιο σύστημα ή αν πρέπει να προτιμήσει συμβατικό σύστημα περαιτέρω ψύξης και φυσικά εξαρτάται από την περίπτωση.

Η υγραντήρες χωρίζονται στους άμεσης (direct evaporative cooling) και έμμεσης επαφής (indirect evaporative cooling). Στα desiccant βάζουμε έναν άμεσης επαφής στο ρεύμα που θα τροφοδοτήσει το κτίριο και έναν άμεσης στο ρεύμα αναγέννησης.

#### 4.3.1 Υγραντήρες άμεσης επαφής

Στους άμεσης επαφής που είναι ανοιχτού κυκλώματος, ο αέρας από ξηρός και ζεστός μετατρέπεται σε υγρό και ψυχρό που είναι σχεδόν κορεσμένος, επειδή όπως αναφέρθηκε μέρος της θερμότητας ατμοποίησής του χρησιμοποιείται για τη εξάτμιση του νερού και συνεπώς πέφτει η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του και πλησιάζει την θερμοκρασία υγρής σφαίρας του εξωτερικού αέρα. Ωστόσο για θερμοκρασία υγρής σφαίρας εξωτερικού περιβάλλοντος πάνω από 21 °C, η ψύξη που παρέχεται δεν επαρκεί για συνθήκες άνεσης.

Η επαφή με το νερό γίνεται είτε μέσω μιας εκτεταμένης υγρής επιφάνειας (wet pads) είτε μέσω σειράς από ψεκαστήρες (spray). Η αποτελεσματικότητα κορεσμού είναι δείκτης της απόδοσης του υγραντήρα και ορίζεται ως ο βαθμός που ο εισερχόμενος αέρα πλησιάζει τον κορεσμό και την θερμοκρασία υγρής σφαίρας του περιβάλλοντος [5]:

$$\varepsilon_{D.EVAP} = 100 \cdot \frac{(t_{db})_{εισ} - (t_{db})_{εξ}}{(t_{db})_{εισ} - (t_{wb})_{εισ}} \quad (4)$$



Όπου:

$(t_{db})_{eis}$  η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας εισερχόμενου αέρα ( ° C )

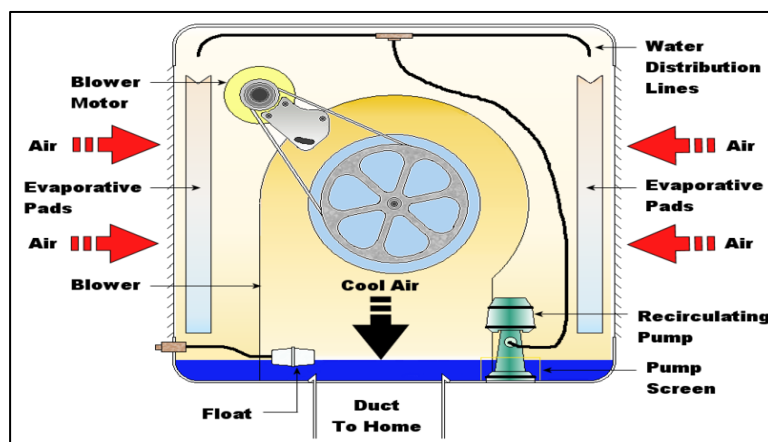
$(t_{db})_{εξ}$  η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του αέρα που εξέρχεται από τον υγραντήρα ( ° C )

$(t_{wb})_{eis}$  η θερμοκρασία υγρής σφαίρας του εισερχόμενου αέρα. ( ° C )

Μια αποτελεσματική υγρή επιφάνεια μπορεί να έχει βαθμό κορεσμού κοντά στο 95%, σε αντίθεση με έναν λιγότερο αποτελεσματικό υγραντήρα που μπορεί να μην έχει πάνω από 50% βαθμό κορεσμού [5]. Έχουμε τρία είδη άμεσων υγραντήρων:

#### 4.3.1.1 Υγραντήρες *Random Media Air Coolers*

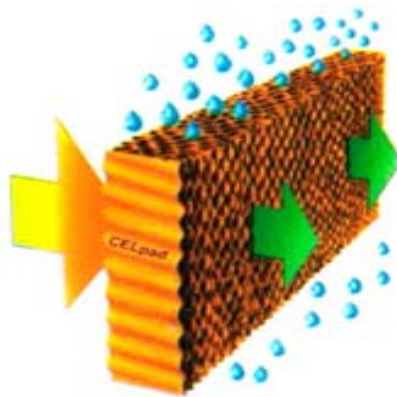
Είναι τα αρχικά συστήματα που κατασκευάστηκαν και αποτελούνται από ατμοποιητική επιφάνεια (pad) κατασκευασμένη από ξύλο λεύκας ή από απορροφητικές πλαστικές ίνες και αφρούς. Ακόμα υπάρχει αντλία που ανακυκλοφορεί το νερό στο σύστημα διανομής από μια δεξαμενή (καρτερ) νερού στην επιφάνεια και πάλι πίσω, καθώς και ανεμιστήρας που σπρώχνει τον αέρα να περάσει δια μέσου του υγραντήρα και μετά τον εισάγει στον χώρο προκειμένου να τον ψύξει. Το νερό πηγαίνει στις επιμέρους επιφάνειες μέσω σκαφιδίων που τροφοδοτούνται από σωλήνες που διανέμουν ομοιόμορφα το νερό. Στη δεξαμενή νερού, υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο και κατάλληλος εξοπλισμός (βαλβίδα ροής, σωλήνας υπερχειλίσης και οχετοί) ώστε να ανανεώνεται το νερό που χάνεται και να διατηρείται σε επιθυμητά επίπεδα καθώς και να απορρίπτεται ένα μέρος του και να συμπληρώνεται από φρέσκο προκειμένου να εξασφαλιστεί η ποιότητα του νερού. Ο ανεμιστήρας είναι συνήθως φυγοκεντρικός και έχει τον κινητήρα του και το σύστημα οδήγησης. Η υγραντικότητα της ατμοποιητικής επιφάνειας μπορεί να ενισχυθεί χημικά και μια προσθετική ουσία μπορεί να προστεθεί στις ίνες για να αποφευχθεί η ανάπτυξη μούχλας, βακτηριδίων και άλλων μικροοργανισμών. Το μέγεθός τους ποικίλει στη διαχείριση από 0,02-8,5 m<sup>3</sup>/s αέρα, και η επιλογή εξαρτάται από την περίπτωση. Η αποτελεσματικότητά τους φτάνει το 80%, η πτώση πίεσης υπολογίζεται περίπου στα 25 Pa, και ταυτόχρονα απομακρύνονται σωματίδια 10μm και πάνω από τον εισερχόμενο αέρα. Είναι σχεδιασμένοι για να συναντούν επιφανειακές ταχύτητες της τάξης των 0,5-1,3 m/s. [5].



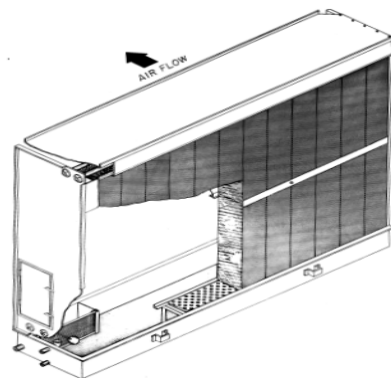
Σχήμα 4.3.1 Τυπική διάταξη υγραντήρων random media air coolers

#### 4.3.1.2 Υγραντήρες Rigid Media Air Coolers

Αποτελούνται από την ατμοποιητική επιφάνεια που απαρτίζεται από πτυχωτά τεμάχια από κυτταρίνη, πλαστικό, πλεξιγκλάς που έχουν διαμορφωθεί και επεξεργαστεί ώστε να απορροφούν νερό χωρίς να σκουριάζουν και να χαλάνε ενώ η επιφάνεια είναι και εδώ κυρλωτή ώστε να μεγιστοποιείται η επιφάνεια επαφής νερού και αέρα. Η επαφή νερού και αέρα είναι σταυρωτή και ο αέρας κινείται οριζόντια καθώς το νερό οδεύει προς τα κάτω οδηγούμενο από τη βαρύτητα, και λόγω της πτυχωτής επιφάνειας μεγιστοποιείται η επαφή νερού και αέρα. Το βάθος της επιφάνειας κυμαίνεται από 100-600mm και εμφανίζει χαμηλή αντίσταση στη ροή του αέρα, υψηλό βαθμό κορεσμού (70-95%) και αυτόματο καθαρισμό αφού το νερό πέφτει κάτω στη δεξαμενή συλλογής παρασύροντας ότι θα μπορούσε να μολύνει την επιφάνεια, ενώ είναι σχεδιασμένη να συναντάει επιφανειακές ταχύτητες της τάξεως 2-3 m/s και παροχές της τάξης των 280 m<sup>3</sup>/s [5]. Υπάρχει ποικιλία διαστάσεων οι οποίες επαρκούν για οικιακή και εμπορική χρήση.

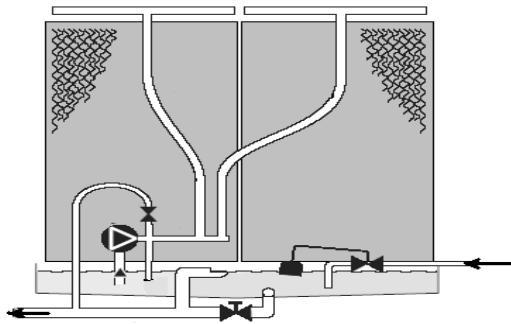


**Διασταυρούμενη ροή νερού και αέρα**

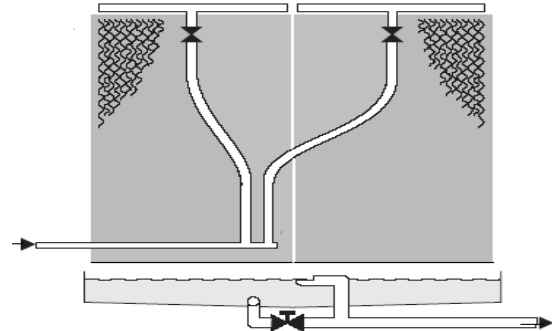


**Σχήμα 4.3.2**  
**Σχήμα 4.3.3 Εξωτερική διαμόρφωση rigid media air coolers**

Το απαιτούμενο νερό μπορεί είτε να είναι ανακυκλοφορούμενο μέσω μιας αντλίας είτε όντας συνδεδεμένη η συσκευή με το δίκτυο να έρχεται απ'ευθείας φρέσκο νερό από την κορυφή και μετά να μην επαναχρησιμοποιείται. Στην περίπτωση ανακυκλοφορίας υπάρχει δεξαμενή η οποία έχει οχετούς υπερχειλίσης, βαλβίδα ροής για να διατηρείται η στάθμη του νερού στα επιθυμητά επίπεδα (συμπλήρωση επειδή μέρος του χάνεται λόγω ατμοποίησης, απομάστευση και συμπλήρωση με φρέσκο νερό για να έχουμε μικρή συγκέντρωση μικροβίων και ρύπων και αλάτων του νερού). Πιο συγκεκριμένα η δεξαμενή γεμίζει με νερό. Όταν χρειάζεται ύγραση η αντλία τραβάει νερό στο δίκτυο διανομής από όπου το νερό μοιράζεται ομοιόμορφα σε κάθε τμήμα της επιφάνειας ύγρασης. Στη συνέχεια το νερό κυλάει στην πτυχωτή επιφάνεια, ένα μέρος κατακρατείται από αυτήν και το υπόλοιπο επιστρέφει στη δεξαμενή. Ο αέρας κατόπιν περνάει και ψύχεται. Στην περίπτωση χωρίς ανακυκλοφορία, δεν υπάρχει αντλία και επομένως είναι απαραίτητο το δίκτυο απ'όπου λαμβάνεται το νερό να έχει επαρκή πίεση. Το νερό πάει στο σύστημα τροφοδότησης μέσω βαλβίδων ροής που εξασφαλίζουν κατάλληλο ρυθμό ροής. Μετά το νερό οδεύει προς τα κάτω και ότι περισσεύει συλλέγεται στη δεξαμενή βάσης και πάει μέσω της σωλήνας εκροής στο αποχετευτικό σύστημα. Συγκριτικά με το είδος random media, επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης, ενώ λόγω μικρού ρυθμού ανακυκλοφορίας απαιτείται λίγη ενέργεια στις αντλίες σε σχέση με το επόμενο είδος που είναι με ψεκασμό.



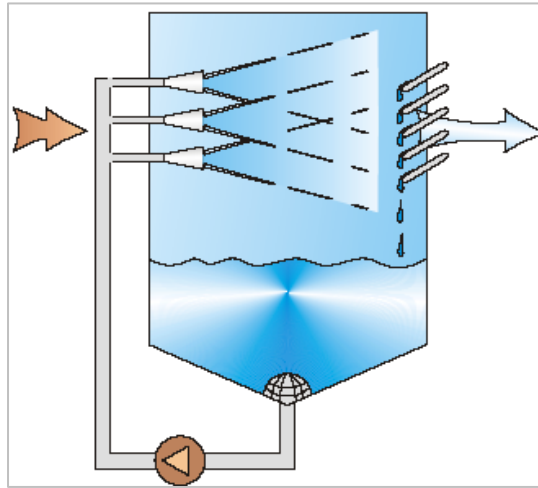
**Σχήμα 4.3.4 Διάταξη για νερό ανακυκλοφορίας**



**Σχήμα 4.3.5 Διάταξη χωρίς ανακυκλοφορία**

#### 4.3.1.3 Υγραντήρες ψεκασμού (spray type air washers)

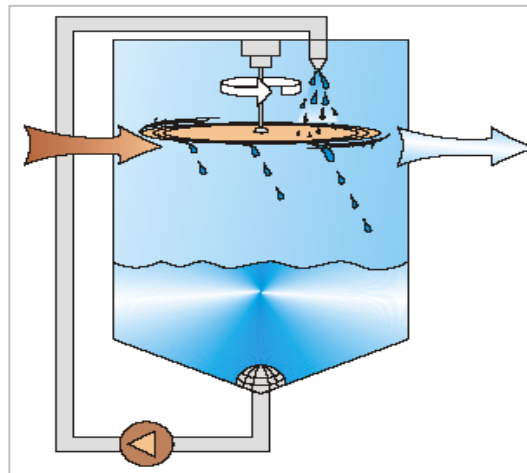
Αυτό το είδος αποτελείται από ένα θάλαμο που περιλαμβάνει τα ακροφύσια ψεκασμού του νερού, δεξαμενή συλλογής των σταγονιδίων καθώς πέφτουν που μετά θα επιστρέψουν στη δεξαμενή του νερού αν υπάρχει ανακυκλοφορία, ενδεχομένως αντλία ανακυκλοφορίας και διάταξη για ελαχιστοποίηση των σταγονιδίων που μπορεί να έχουν παραμείνει στον αέρα χωρίς να έχουν ατμοποιηθεί. Το σύστημα λειτουργεί ως εξής: καθώς περνάει ο αέρας ψεκάζονται σε αυτόν δέσμες σταγονιδίων, και αν το μέγεθος των σταγονιδίων είναι αρκετά μικρό ατμοποιούνται άμεσα ενώ αν είναι μεγαλύτερο ένα μέρος δεν ατμοποιείται και συλλέγεται από την διάταξη ελαχιστοποίησης. Αυτή αποτελείται από κάθετες πλάκες οι οποίες έχουν τέτοια κατασκευή ώστε να εκτρέπουν τον αέρα που προσκρούει σε αυτές και επειδή η υγρασία δε μπορεί να ακολουθήσει την κίνηση του αέρα να μένει στις επιφάνειες. Στο σύστημα αυτό υπάρχει άμεση επαφή νερού και αέρα και γι' αυτό έχουμε μεταφορά μάζας και θερμότητας. Το σύνθητες τυποποιημένο μέγεθός τους είναι από 1-120 m<sup>3</sup>/s παροχή [5] αλλά γίνονται κατόπιν παραγγελίας ειδικές κατασκευές, ωστόσο προκειμένου να επιλεγεί το μέγεθος αυτού πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η ταχύτητα του αέρα, η πυκνότητα των σταγονιδίων, και η πίεση ψεκασμού. Ακόμα πρέπει να επιλεγεί πόσες σειρές από ακροφύσια είναι απαραίτητα για την εφαρμογή που ενδιαφέρει και έτσι μπορεί να τοποθετηθεί μία ή δύο σειρές αυτών. Τελικά οι διαστάσεις μπορούν να προσαρμοστούν στις εκάστοτε ανάγκες, και υπάρχει μεγάλη ποικιλία. Όσον αφορά την ποιότητα του νερού, πάντα θα πρέπει να υπάρχει κάποια απομάστευση για να διατηρείται σε καλά επίπεδα στην περίπτωση ανακυκλοφορίας. Η πτώση πίεσης κυμαίνεται από 60-250 Pa και φυσικά εξαρτάται από τη διάταξη του όλου συστήματος. Εδώ συμπεριλαμβάνονται και οι πολύ μεγάλης ταχύτητας air washers οι οποίοι ακολουθούν τις ίδιες αρχές λειτουργίας και παρουσιάζουν πτώση πίεσης 120-380 Pa. Αυτοί χρησιμοποιούνται σε μικρότερου μεγέθους συστήματα [5].



**Σχήμα 4.3.6** Τυπικός υγραντήρας ψεκασμού

#### 4.3.1.4 Υδραυλικό στροφέιο ψεκασμού (*impeller*)

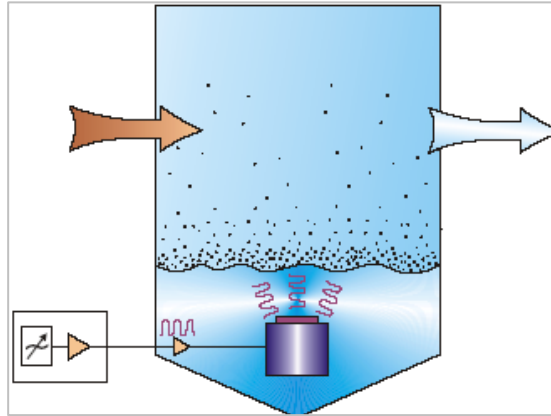
Άλλος τρόπος ψεκασμού είναι ρίχνοντας νερό σε έναν περιστρεφόμενο δίσκο, ο οποίος καθώς περιστρέφεται λόγω φυγοκέντρου δύναμης εκτοξεύει τα σταγονίδια του νερού ομοιόμορφα και περνώντας ο αέρας, αυτά μπορούν να ατμοποιηθούν [8].



**Σχήμα 4.3.7** Τυπικό υδραυλικό στροφέιο Ψεκασμού

#### 4.3.1.5 Υπερηχητικοί ψεκαστήρες (*ultrasonic atomizer*)

Ένας πρωτοποριακός τρόπος ύγρανσης με άμεση επαφή είναι χρησιμοποιώντας υπερηχητικό ψεκαστήρα. Η μεμβράνη ξεκινά να πάλλεται με ένα υψηλής συχνότητας σήμα και μεταφέρει τις δονήσεις αυτές στο νερό το οποίο πλέον ατμοποιείται ομοιόμορφα σε νέφος. Όμως η συσκευή αυτή είναι διαθέσιμη μόνο σε μικρά μεγέθη και είναι πολύ ακριβή [8].



**Σχήμα 4.3.8 Υπερηχητικός ψεκαστήρας**

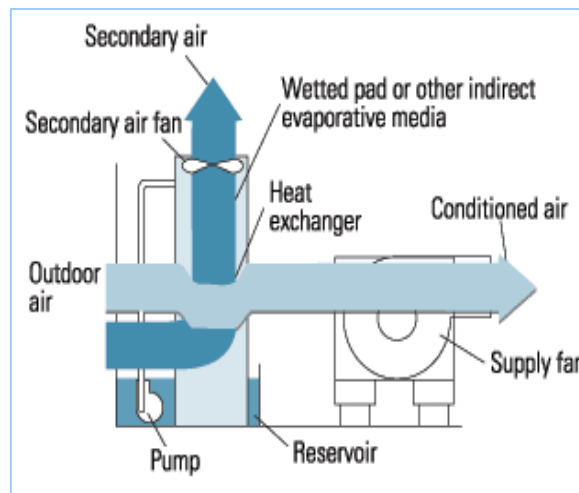
Γενικά θα πρέπει για όλους τους τύπους να ληφθεί υπόψη τι γίνεται με την ποιότητα του αέρα και του νερού που διαχειρίζονται. Όσον αφορά τον αέρα, οι rigid media και οι spray air washers έχουν τη δυνατότητα να κατακρατούν σωματίδια, ατμούς και μολυσματικές ουσίες και η συγκράτηση αυτή εξαρτάται από τον εξοπλισμό, το μέγεθος των σωματιδίων την πυκνότητα αλλά και την υγρασία τους. Ο μηχανισμός είναι απλός. Ο αέρας προσκρούει σε μία επιφάνεια και επειδή ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων αλλάζει η αντίδραση τα σωματίδια διαχωρίζονται και ο αέρας είναι πλέον πιο καθαρός. Αυτό βέβαια δε γίνεται για πολύ μικρά σωματίδια, καπνό και σκόνη. Ακόμα πρέπει να συμπληρωθεί ότι επειδή οι συσκευές αυτές κατακρατούν σωματίδια αυτό δε σημαίνει ότι τα φίλτρα δεν είναι απαραίτητα. Αντίθετα πρέπει να μπαίνουν ώστε οι rigid υγραντήρες να μην γεμίζουν γρήγορα και έχουμε ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, και όταν γεμίσουν (σε στεγνή κατάσταση) τότε θα πρέπει να αλλάζονται. Το νερό θα πρέπει να καθαρίζεται και να ανανεώνεται προκειμένου να διασφαλίζεται η ποιότητα του αέρα. Τα pads των υγραντήρων θα πρέπει να καθαρίζονται με φρέσκο νερό (flush out cycle), και για τους υγραντήρες με ψεκασμό προκειμένου να μην φράξουν τα ακροφύσια, θα πρέπει να εφαρμοσθούν ειδικές διατάξεις με διηθητήρες και by-pass ώστε να μειωθεί το πρόβλημα που αν συνεχιστεί θα οδηγήσει στην ξήρανση του υγραντήρα προκειμένου να καθαρισθεί. Ακόμα μπορούμε να βάλουμε χημικά πρόσθετα στο νερό που να κρατούν και να εξουδετερώνουν επιβλαβή συστατικά. Υπάρχουν και άλλα πρόσθετα μέτρα για την εξασφάλιση υγιεινής που όμως ξεφεύγουν από την ανάλυση αυτής της εργασίας.

### **4.3.2 Υγραντήρες έμμεσης επαφής**

Στους έμμεσης επαφής, που είναι κλειστού κυκλώματος, χρησιμοποιείται επιπλέον και ένας εναλλάκτης. Έτσι ο ψυχρός αέρας μετά την εξάτμιση δεν έρχεται σε επαφή με το ρεύμα αέρα αναγέννησης παρά μόνο συναλλάζουν αισθητή θερμότητα. Πιο συγκεκριμένα ένα δευτερεύον ρεύμα που μπορεί να προέρχεται είτε από τον χώρο είτε από το περιβάλλον, περνάει μέσα από τον εναλλάκτη αφού προηγουμένως ψυχθεί μέσω εξάτμισης. Έτσι οι επιφάνειες του εναλλάκτη ψύχονται από το δευτερεύον ρεύμα και από την άλλη μεριά του εναλλάκτη το πρωτεύον ρεύμα που μπορεί να είναι αέρας του χώρου ή εξωτερικός αέρας ή και οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών, ψύχεται χωρίς να μεταβληθεί η υγρασία του. Η εξάτμιση του δευτερεύοντος ρεύματος επιτυγχάνεται είτε με απευθείας ύγρανση της μιας πλευράς του εναλλάκτη, είτε με έναν από τους άμεσης επαφής υγραντήρες όπως περιγράφηκε νωρίτερα, είτε με ψεκασμό και με άλλους τρόπους. Μια διάταξη που προσφέρεται για

έμμεση ύγρανση είναι όταν το πρωτεύον και το δευτερεύον ρεύμα βρίσκονται κοντά, οπότε σωλήνες θερμότητας, ή ένας τροχός ανάκτησης ή ένας πλακοειδής εναλλάκτης μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από το ένα ρεύμα στο άλλο.

Έτσι η ενθαλπία μειώνεται, η θερμοκρασία υγρής σφαίρας του δευτερεύοντος ρεύματος είναι μικρότερη από την θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του πρωτεύοντος κατά την είσοδό του, και τελικά αυτό οδηγεί στην χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου για οποιεσδήποτε εξωτερικές συνθήκες. Ένας τυπικός έμμεσος υγραντήρας περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη θερμότητας, μια συσκευή ύγρανσης, ένα δευτερεύον σύστημα ανεμιστήρα, μια δευτερεύουσα είσοδο αέρα και φυσικά το εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 4.3.9 Διάταξη και ροή αέρα σε έμμεσο υγραντήρα

Η συνεχής απομάστευση, η τροφοδότηση με φρέσκο νερό και η εξασφάλιση της ποιότητας του νερού είναι απαραίτητη για να διατηρηθούν σε χαμηλά επίπεδα τόσο τα μολυσματικά στοιχεία, αλλά και η σκόνη και οι ρύποι. Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, αυτή περιλαμβάνει την κατανάλωση λόγω των δύο ανεμιστήρων (του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος) και της αντλίας του νερού.

Η αποτελεσματικότητα του υγραντήρα ορίζεται ως [5] :

$$\varepsilon_{I.EVAP} = 100 \cdot \frac{[(t_{db})_{εισ} - (t_{db})_{εξ}]_{ΠΡΩΤ}}{[(t_{db})_{εισ}]_{ΠΡΩΤ} - [(t_{wb})_{εισ}]_{ΔΕΥΤ}} \quad (5)$$

Όπου:

$(t_{db})_{εισ}$  η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας πρωτεύοντος εισερχόμενου αέρα,

$(t_{db})_{εξ}$  η θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του πρωτεύοντος αέρα που εξέρχεται από τον υγραντήρα

$(t_{wb})_{εισ}$  η θερμοκρασία υγρής σφαίρας του δευτερεύοντος εισερχόμενου αέρα.

Η εκτίμηση της απόδοσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ταχύτητα, η παροχή, η θερμοκρασία υγρής σφαίρας του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ρεύματος. Ο λόγος της ποσότητας του δευτερεύοντος προς το πρωτεύον ρεύμα ποικίλει από 0,3-1 και φυσικά επηρεάζει την απόδοση. Σε γενικές γραμμές όμως η αποτελεσματικότητα κυμαίνεται από 40-80% [5].

Αυτό το είδος υγραντήρων εφαρμόζεται σε πληθώρα συστημάτων ανάκτησης θερμότητας όπως πλακοειδείς εναλλάκτες, εναλλάκτες σωλήνων και τροχούς ανάκτησης θερμότητας.

### **4.3.3 Δύο σταδίων ύγρανση**

Ακόμα υπάρχει και μια τρίτη πιο περίπλοκη κατηγορία η δύο σταδίων ύγρανση. Περιλαμβάνει έναν έμμεσο και έναν άμεσο υγραντήρα και λειτουργεί ως εξής. Αρχικά ο αέρας ψύχεται μέσω του έμμεσου υγραντήρα και πέφτει η θερμοκρασία ξηρής και υγρής σφαίρας χωρίς όμως να αλλάζει η υγρασία του. Στη συνέχεια περνάει από τον άμεσο υγραντήρα, η θερμοκρασία υγρής σφαίρας παραμένει ίδια ενώ η ξηρής μειώνεται μέσω ατμοποίησης και επειδή έχει χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου σε σχέση με το να μην είχε περάσει από τον έμμεσο υγραντήρα πρώτα, λιγότερη υγρασία προστίθεται στον αέρα. Έτσι έχουμε πολύ χαμηλότερη σχετική υγρασία σχετικά με τα πιο απλά συστήματα (50-70% σε σχέση με το 80% των απλών) [5].

Για ακόμα χαμηλότερη θερμοκρασία μπορεί να συνδυαστεί η δύο σταδίων ύγρανση με συμβατικό σύστημα κλιματισμού.

## **4.4 Φίλτρα**

Όπως σε όλα τα συστήματα έτσι και σε ένα σύστημα desiccant τα φίλτρα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι και πρέπει να τοποθετούνται προκειμένου να συγκρατήσουν παθογόνους μικροοργανισμούς και ρύπους και για να αποφευχθεί το φράξιμο των επιμέρους εξαρτημάτων από σωματίδια, φύλλα και άλλα στοιχεία που μπορεί να παρασύρονται με τον εξωτερικό αέρα, και που θα οδηγούσαν σε μείωση του εισερχόμενου αέρα και συνεπώς στη μείωση της απόδοσης του συστήματος. Άλλωστε είναι πολύ πιο οικονομικό να αλλαχθεί το φίλτρο παρά ο τροχός του οποίου η διάρκεια ζωής μπορεί να μειωθεί έως και 2 χρόνια εξαιτίας μη καλής συντήρησης και αλλαγής φίλτρων. Αν το φίλτρο δεν αλλαχθεί η ροή του αέρα θα μειωθεί με αποτέλεσμα το περιβάλλον να είναι είτε πολύ κρύο είτε πολύ ζεστό. Έτσι παρατηρείται πως το 90% των προβλημάτων σε ένα σύστημα desiccant οφείλεται στα φίλτρα που έχουν φράξει [1]. Συνήθως για μια τυπική εφαρμογή που δεν έχει ειδικές απαιτήσεις ένα συμβατικό, αναλώσιμο φίλτρο επαρκεί. Βάζουμε φίλτρο στην είσοδο του εξωτερικού αέρα και στην είσοδο του ρεύματος αναγέννησης. Η συντήρηση του φίλτρου στην είσοδο του αέρα είναι σημαντική γιατί αλλιώς θα περνάει λιγότερη ποσότητα αέρα για να παραλάβει το θερμικό φορτίο του χώρου, αλλά και στο ρεύμα αναγέννησης είναι εξ'ίσου σημαντική διότι αν φράξει και περνάει λιγότερος αέρας η ποσότητα δε θα είναι αρκετή για να αναγεννήσει τον τροχό, ο οποίος πλέον δε θα μπορεί να απορροφήσει την απαραίτητη ποσότητα υγρασίας και επομένως η απόδοση του συστήματος θα μειωθεί. Τα είδη των φίλτρων συνοπτικά ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες ενώ μπορεί να υλοποιηθεί και συνδυασμός αυτών.

### **4.4.1 Ινωδών μέσων φίλτρα**

Σε αυτά το συσσωρευόμενο φορτίο σκόνης αυξάνεται μέχρι κάποιο όριο και ταυτόχρονα αυξάνει και ο βαθμός απόδοσης, προκαλώντας συγχρόνως πτώση πίεσης. Από το όριο αυτό και μετά η σκόνη πλέον δεν προσκολλάται πολύ, η αποδοτικότητα μειώνεται και εμφανίζεται η μέγιστη πτώση πίεσης. Τα φίλτρα πλέον πρέπει να αντικατασταθούν ή να συντηρηθούν. Εδώ συμπεριλαμβάνονται τα φίλτρα ιξώδους διάδοσης και τα ξηρού τύπου φίλτρα τα οποία μπορούν να έχουν από πολύ μικρό μέχρι πολύ μεγάλο βαθμό απόδοσης. Τα φίλτρα ιξώδους διάδοσης είναι καλυμμένα με μια ιξώδη ουσία ώστε να κολλάνε σε αυτά. Στα ξηρού τύπου φίλτρα συμπεριλαμβάνονται τα φίλτρα σακούλας καθώς και τα φίλτρα υψηλής απόδοσης HEPA (high efficiency particulate air) και τα φίλτρα χαμηλής διεισδυτικότητας ULPA (ultralow penetration air) που χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές για χώρους με τοξικά σωματίδια, πυρηνικές εφαρμογές, clean rooms κ.α.

### **4.4.2 Ανανεώσιμων μέσων φίλτρα**

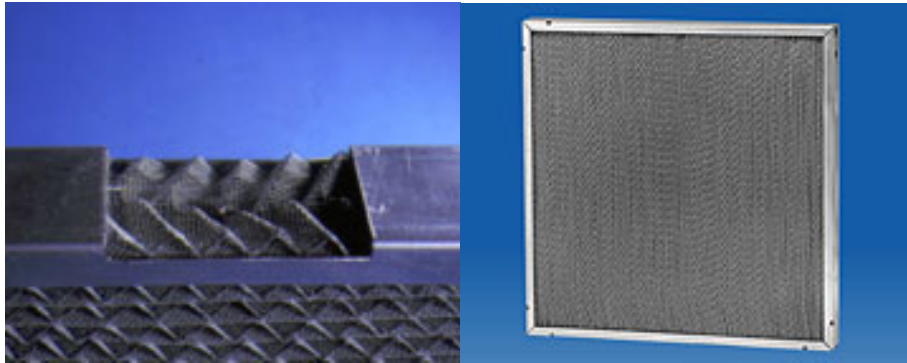
Στη κατηγορία αυτή βρίσκονται τα φίλτρα σε μορφή ρολού, το οποίο ξεδιπλώνεται αυτόματα μπροστά στην επιφάνεια του φίλτρου και σε μορφή συνδεδεμένων πάνελ που κυλινδρουν και τα οποία είτε είναι ξηρού τύπου, είτε είναι καλυμμένα με ιξώδη επίστρωση.

### **4.4.3 Ηλεκτρονικοί καθαριστές αέρα**

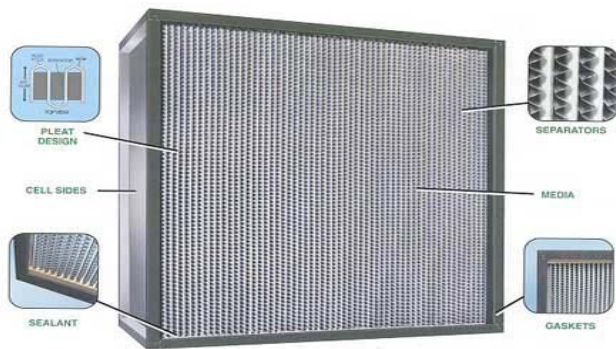
Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά φίλτρα που εκμεταλλεύονται την ηλεκτροστατική πτώση για να συλλέξουν σκόνη, καπνό και γύρη.



Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για αέριους ρυπαντές και οσμές, χρειάζεται ειδικό φιλτράρισμα το οποίο δε μπορεί να επιτευχθεί ούτε με HEPA ούτε με ULPA και σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται φίλτρα με ενεργό άνθρακα που είναι ο πιο ισχυρός φυσικός απορροφητής και έτσι μπορεί να επιτευχθεί φρέσκο και χωρίς μυρωδιές περιβάλλον.



Σχήμα 4.4.1 Φίλτρο ιξώδους επίστρωσης



Σχήμα 4.4.2 Φίλτρο HEPA



Σχήμα 4.4.3 Φίλτρο τύπου σακούλας



Σχήμα 4.4.4 Μετακινούμενο μεταλλικό φίλτρο ιξώδους επίστρωσης



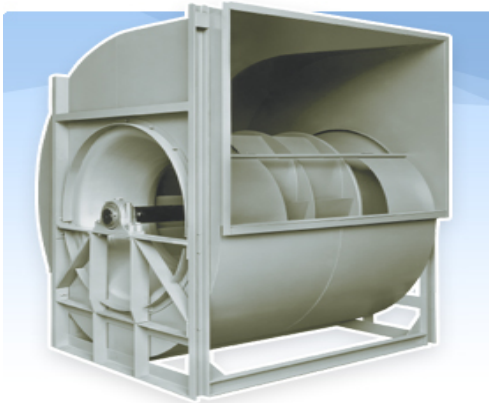
Σχήμα 4.4.5 Μετακινούμενο φίλτρο ξηρού τύπου

## 4.5 Ανεμιστήρες

Οι ανεμιστήρες είναι αντλίες αέρα που προκαλούν διαφορά πίεσης και συνεπώς ροή αέρα. Περιλαμβάνουν στροφέιο το οποίο μεταδίδει στον αέρα στατική και κινητική ενέργεια, μεγέθους που εξαρτάται από το είδος του ανεμιστήρα. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους φυγοκεντρικούς και τους αξονικούς, ανάλογα με την κατεύθυνση του ρεύματος αέρα μέσω του στροφείου.

### 4.5.1 Φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες

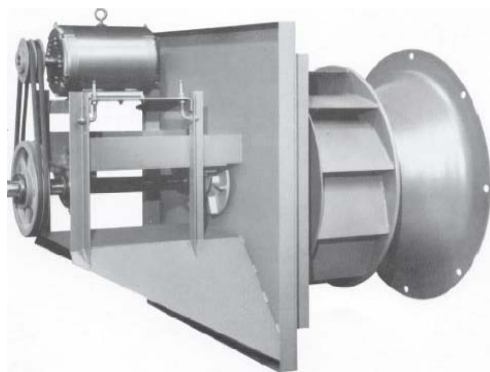
Οι φυγοκεντρικοί, αποτελούνται από ένα περιστρεφόμενο στροφέιο το οποίο κινεί το ρεύμα αέρα προσδίδοντας του ταχύτητα, η οποία αυξάνεται όσο πλησιάζει στις άκρες των πτερυγίων του ρότορα και κατόπιν μετασχηματίζεται σε πίεση. Αυτό το είδος δύναται να παράγει υψηλές πιέσεις και επομένως είναι κατάλληλο για δύσκολες συνθήκες όπως σε υψηλές θερμοκρασίες και υγρό ή βρόμικο αέρα. Ταξινομούνται με βάση το σχήμα των πτερυγίων τους που μπορεί να είναι επίπεδα, εμπρόσθιας ή οπίσθιας καμπύλωσης, ενώ υπάρχουν και δύο ακόμα κατηγορίες που είναι παραλλαγές των φυγοκεντρικών οι plug και οι plenum fans.



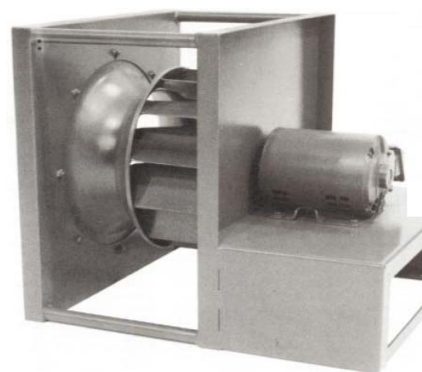
Σχήμα 4.5.1 Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας



Σχήμα 4.5.2 Ακτινωτός με επίπεδα πτερύγια



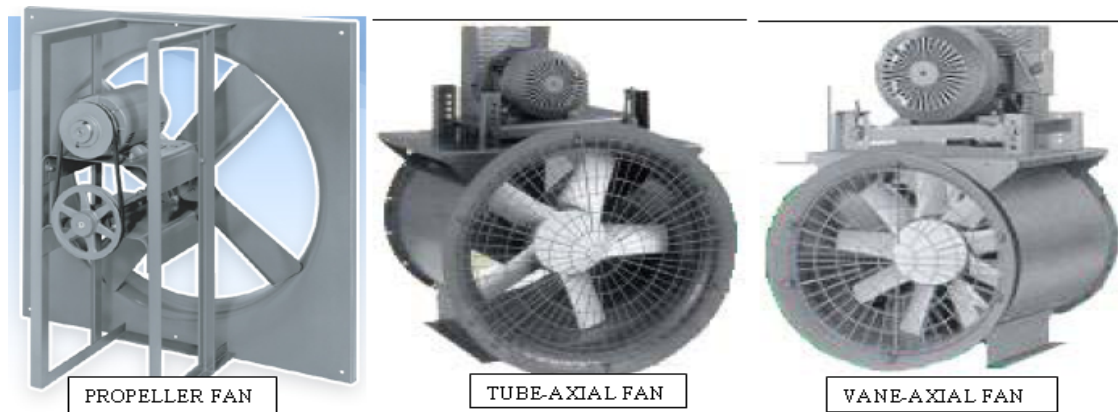
Σχήμα 4.5.3 Plug fan



Σχήμα 4.5.4 Plenum fan

#### 4.5.2 Αξονικοί ανεμιστήρες

Οι αξονικοί κινούν τον αέρα κατά τον άξονα του ανεμιστήρα. Ο μηχανισμός λειτουργίας τους μπορεί να παραλληλισθεί με αυτόν μιας προπέλας αεροπλάνου, δηλαδή τα πτερύγια παράγουν αεροδυναμική ώση που δημιουργεί πίεση στον αέρα. Η πίεση που δημιουργείται μέσω των φυγόκεντρικών ανεμιστήρων που αναφέραμε προηγούμενα οφείλεται στη φυγόκεντρο δύναμη που δημιουργείται καθώς περιστρέφεται ο αέρας και στην κινητική ενέργεια που μεταδίδεται από το στροφείο, ενώ στους αξονικούς οφείλεται μόνο στην αλλαγή της ταχύτητας αφού δεν υπάρχει φυγόκεντρος δύναμη και συνεπώς η πίεση που παράγεται μέσω των αξονικών ανεμιστήρων είναι μικρότερη. Οι αξονικοί ανεμιστήρες είναι μικροί, ελαφριοί και φθηνοί συνεπώς είναι πολύ δημοφιλείς και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: τους propeller, tube-axial και τους vane-axial.



Σχήμα 4.5.4 Αξονικοί ανεμιστήρες

## 4.6 Σύστημα θέρμανσης του αέρα αναγέννησης (*reactivation heaters*)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το ρεύμα αναγέννησης περνάει πρώτα από τον τροχό ανάκτησης θερμότητας. Εκεί καταφέρνει να αποκτήσει ένα ποσό θερμότητας που είναι συνήθως λιγότερο του 20% του συνολικού ποσού που χρειάζεται [1]. Επομένως είναι αναγκαίο να υπάρχει και κάποια άλλη πηγή θερμότητας όπως:

- ◆ Ηλεκτρικές αντιστάσεις
- ◆ Σωλήνες με ζεστό νερό ή ατμό που τροφοδοτούνται από λέβητα
- ◆ Σωλήνες ανάκτησης θερμότητας
- ◆ Θερμαντήρες φυσικού αερίου
- ◆ Σωλήνες ζεστού νερού ή ζεστού αέρα που προέρχεται από ηλιακό συλλέκτη

Τα τρία πρώτα είδη δε χρειάζονται ιδιαίτερες επεξηγήσεις επομένως δίνεται έμφαση στα δύο τελευταία. Οι θερμαντήρες φυσικού αερίου είναι πιο οικονομικοί από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις και από τους λέβητες και επειδή επιτρέπουν οικονομία σε σχέση με αυτούς της τάξης του 50-75% [1] είναι η πιο διαδεδομένη επιλογή στις εμπορικές εφαρμογές. Υπάρχουν δύο είδη θερμαντήρων φυσικού αερίου: οι άμεσοι και οι έμμεσοι. Στους άμεσους το φυσικό αέριο καίγεται απ'ευθείας στο ρεύμα αναγέννησης και αυτό επιτρέπει απόδοση της τάξης του 90-92% [1], κάτι που τους καθιστά πολύ δημοφιλείς για μεγάλες μονάδες κλιματισμού. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται σε αυτή την περίπτωση οφείλεται στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες καύσης του φυσικού αερίου (περίπου 705 °C) το οποίο αν δεν αναμιχθεί καλά με τον αέρα κινδυνεύει να κάψει τον τροχό desiccant. Οι έμμεσοι θερμαντήρες καίνε το φυσικό αέριο εκτός του ρεύματος αναγέννησης και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω εναλλάκτη θερμότητας, οπότε πλέον η απόδοση μειώνεται στο 50-75% και επομένως αυξάνεται το κόστος λειτουργίας, όμως δεν παρουσιάζεται τόσο μεγάλος κίνδυνος από τη θερμοκρασία του αέρα αφού τώρα αυτή είναι αισθητά πιο χαμηλή.

Χρήση ηλιακών συλλεκτών. Αυτή είναι και η περίπτωση που θα απασχολήσει. Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένας ιδιάζον εναλλάκτης θερμότητας ο οποίος σε αντίθεση με τους κοινούς, μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα δηλαδή μεταφέρει ενέργεια σε μορφή ακτινοβολίας από μια πολύ μακρινή πηγή (ήλιος), ενώ οι κοινοί, μεταφέρουν θερμότητα μεταξύ δύο ρευστών και ο ρόλος της ακτινοβολίας δεν είναι σημαντικός. Έτσι λοιπόν, ο σκοπός των ηλιακών συλλεκτών είναι να μετατρέψουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας αυτής σε ωφέλιμη θερμότητα και για το λόγο αυτό προκύπτουν θέματα όπως οι χαμηλές και μεταβαλλόμενες διαρκώς τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας (περίπου μέχρι 1100 W/m<sup>2</sup> [10]). Υπάρχουν δύο κύρια είδη συλλεκτών: οι επίπεδοι συλλέκτες και οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες.

#### 4.6.1 Επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors)

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι κατάλληλοι για εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε μέσες θερμοκρασίες, της τάξης των 100°C πάνω από τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Εκμεταλλεύονται και την άμεσο και τη διάχυτη ακτινοβολία, σε αντίθεση με τους συγκεντρωτικούς που εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση, και έτσι δεν απαιτούν μηχανισμό εντοπισμού του ήλιου και συνεπώς μηχανισμό κίνησης κάτι που τους καθιστά μηχανικά απλούστερους με λιγότερη απαιτούμενη συντήρηση. Οι εφαρμογές για τις οποίες είναι πιο κατάλληλοι είναι για θέρμανση νερού χρήσης, θέρμανση κτιρίων, για κλιματισμό και παραγωγή θερμότητας βιομηχανικής χρήσης. Επομένως είναι κατάλληλοι για την εφαρμογή που εξετάζεται.

Τα κύρια μέρη ενός επίπεδου συλλέκτη είναι:

- Διαφανή καλύμματα

Ένα ή περισσότερα καλύμματα που επιτρέπουν τη διέλευση της ακτινοβολίας, τα οποία βρίσκονται πάνω από την πλάκα απορρόφησης και στοχεύουν στο να μειώσουν τις θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το λόγο αυτό είναι το γυαλί, το γυαλί με λίγο σίδηρο, πλαστικά υλικά καθώς και συνδυασμό γυαλιού με πλαστικό.

- Ο απορροφητήρας (ή πλάκα απορρόφησης)

Είναι μια επιφάνεια (συνήθως μαύρη) που απορροφά όσο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία γίνεται μέσα από τα καλύμματα και περιλαμβάνει σύστημα μεταφοράς της απορροφώμενης ενέργειας στο ρευστό, το οποίο σύστημα αποτελείται από σωλήνες αν έχουμε συλλέκτη θέρμανσης υγρού ή αεραγωγούς αν έχουμε συλλέκτη θέρμανσης αέρα. Τα υλικά των σωλήνων μπορούν να είναι ο χαλκός και το ατσάλι. Η απορροφητικότητα της πλάκας εξαρτάται από το χρώμα και τη φύση του υλικού της επίστρωσής της, καθώς και από τη γωνία που έχει τοποθετηθεί. Με κατάλληλη ηλεκτρολυτική ή χημική επεξεργασία κατασκευάζουμε τους επιλεκτικούς απορροφητήρες οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλή απορροφητικότητα και χαμηλή εκπομπή προς το περιβάλλον, ενώ είναι πιο ακριβοί. Τέλος, τα υλικά της πλάκας μπορεί να είναι χαλκός, ατσάλι, αλουμίνιο ή κάποιο πλαστικό υλικό ανθεκτικό στις UV ακτινοβολίες που προορίζεται για χαμηλής θερμοκρασίας εφαρμογές [11].

- Συνδετικό αγωγό και σύστημα πολλαπλής εξαγωγής

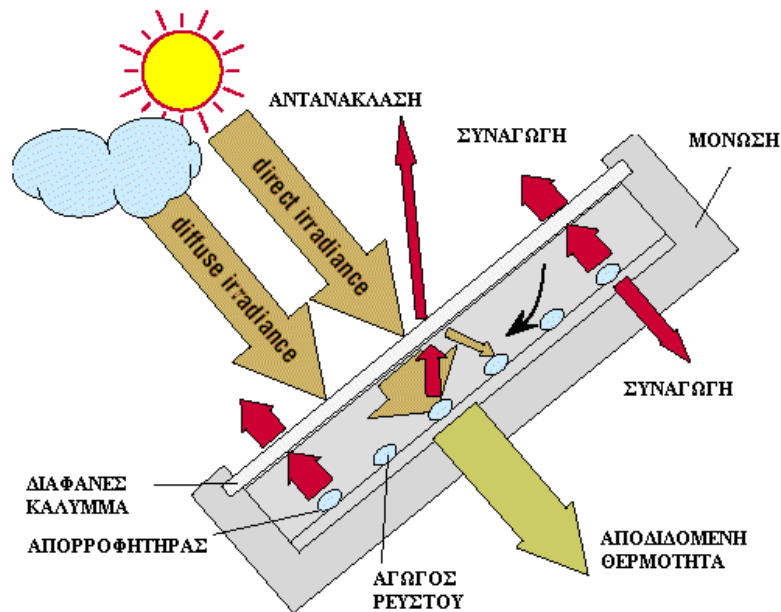
Για να παραλαμβάνουν και να απομακρύνουν το ρευστό

- Μόνωση

Υπάρχει μόνωση στην πίσω και στις παράπλευρες επιφάνειες ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες.

- Πλαίσιο του συλλέκτη

Περικλείει τα δομικά μέρη του συλλέκτη και τα προστατεύει από σκόνη, υγρασία κ.α.



**Σχήμα 4.6.1** Κύρια μέρη επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Ακόμα πρέπει να αναφερθεί ότι οι επίπεδοι συλλέκτες βρίσκονται σε μια στατική θέση με προσανατολισμό προς τον ισημερινό και με κλίση ανάλογη με την τοποθεσία και την χρονική περίοδο που μας ενδιαφέρει να δουλέψει το σύστημα.

Οι επίπεδοι συλλέκτες χωρίζονται στους συλλέκτες υγρού και τους συλλέκτες αέρος.

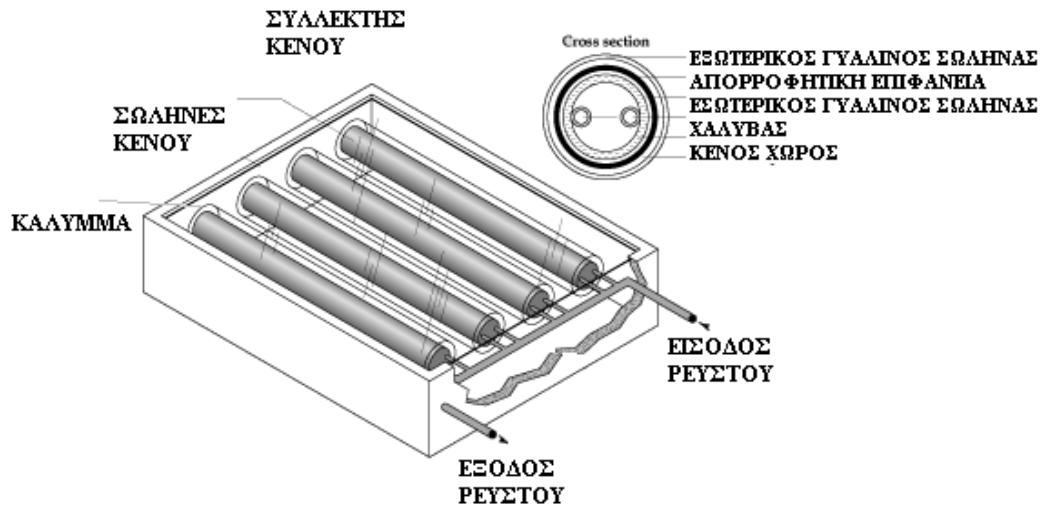
#### 4.6.1.1 Συλλέκτες υγρού

Αρχικά θα πρέπει να γίνει ένας διαχωρισμός στα άμεσα και έμμεσα συστήματα. Στα άμεσα συστήματα, το νερό του δικτύου κυκλοφορεί διαμέσου του συλλέκτη και θερμαίνεται απ'ευθείας. Στα έμμεσα συστήματα, υπάρχει ξεχωριστό δίκτυο κυκλοφορίας για το νερό του δικτύου και το υγρό που περνάει μέσω του συλλέκτη το οποίο συνήθως είναι νερό με κάποιο αντιψυκτικό πρόσθετο, τα οποία συναλλάζουν θερμότητα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Αυτή η διάταξη έχει πλεονεκτήματα όπως ότι δε φράσσει λόγω των αλάτων του νερού το δίκτυο σωληνώσεων του συλλέκτη καθώς επίσης του παρέχεται με αυτό τον τρόπο αντιψυκτική προστασία.

Στην προηγούμενη ανάλυση αναφερθήκαμε στη βασική μορφή των συλλεκτών, ωστόσο υπάρχουν πολλές διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό τους, όπως ότι οι παράλληλοι σωλήνες που μεταφέρουν το υγρό μπορεί να βρίσκονται πάνω από τον απορροφητήρα (όπως στο σχήμα), κάτω από αυτόν ή στο κέντρο σχηματίζοντας έτσι ένα αναπόσπαστο μέρος του απορροφητήρα.

Ακόμα, έχουμε τους συλλέκτες με σωλήνες κενού, στους οποίους επιμήκεις, στενοί επίπεδοι ή κυλινδρικοί απορροφητές με επιλεκτική επίστρωση, βρίσκονται μέσα σε γυάλινους σωλήνες κενού. Αποτελούνται από παράλληλες σειρές γυάλινων σωλήνων που είναι συνδεδεμένοι σε έναν κεντρικό σωλήνα. Οι απώλειες συναγωγής και ακτινοβολίας εκμηδενίζονται εκκενώνοντας το χώρο μεταξύ καλύμματος και απορροφητήρα. Οι συλλέκτες αυτοί επιτυγχάνουν υψηλές θερμοκρασίες εύρους 77°C-177°C, και μπορούν να λειτουργήσουν πολύ αποδοτικά κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες.

Όμως επειδή οι θερμοκρασίες αυτές είναι πολύ υψηλές πρέπει να υπάρχει επαρκές φορτίο ώστε η θερμοκρασία στο σύστημα να μη ξεπερνάει τους 100°C γιατί τότε θα δημιουργούνται προβλήματα [12]. Ακόμα είναι αρκετά ακριβοί επομένως είναι κατάλληλοι για εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις όπως θέρμανση και ψύξη, καθώς και για οικιακή θέρμανση χώρου. Για οικιακή θέρμανση νερού χρήσης οι απλοί επίπεδοι συλλέκτες είναι η πιο οικονομική και αξιόπιστη επιλογή. Ακόμα υπάρχουν οι σωλήνες κενού άμεσης ροής (direct flow evacuating-tube collectors) στους οποίους το κάλυμμα είναι κυλινδρικής μορφής, και το ρευστό που κυκλοφορεί είναι το νερό. Αποτελούνται από δυο σωλήνες, έναν για το νερό εισόδου και έναν για το νερό εξόδου.



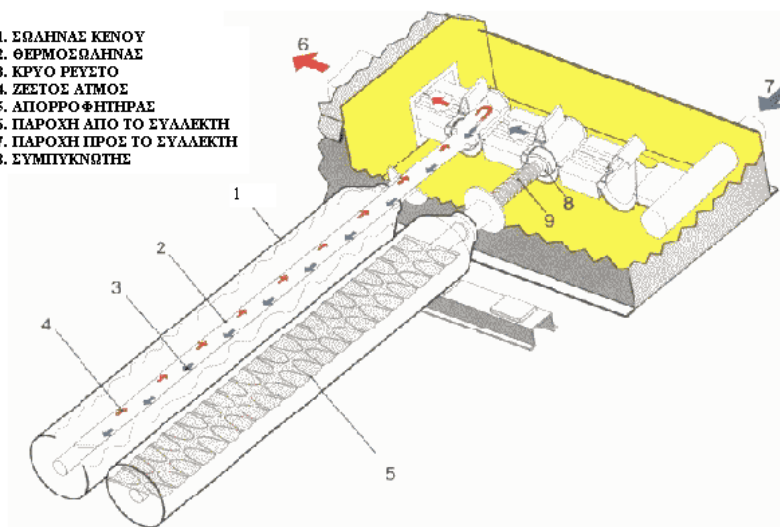
Σχήμα 4.6.2 Συλλέκτης κενού άμεσης ροής

Υπάρχουν και οι σωλήνες κενού-θερμοσωλήνες (heat pipe evacuating-tube collectors), που αποτελούνται από τον απορροφητήρα που βρίσκεται μέσα σε έναν σωλήνα κενού και που βρίσκεται συνδεδεμένος με το heat pipe. Μέσα σε αυτό, βρίσκεται μικρή ποσότητα υγρού το οποίο μετατρέπεται σε ατμό και πηγαίνει στην κορυφή του σωλήνα όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέσει στην επιφάνεια του απορροφητήρα. Στη συνέχεια νερό ή γλυκόλη ρέει διαμέσου ενός συστήματος πολλαπλής εξαγωγής και παραλαμβάνει τη θερμότητα, οπότε το ρευστό συμπυκνώνεται και επιστρέφει για την επανάληψη της διαδικασίας.





1. ΣΩΛΗΝΑΣ ΚΕΝΟΥ
2. ΘΕΡΜΟΣΩΛΗΝΑΣ
3. ΚΡΥΟ ΡΕΥΣΤΟ
4. ΖΕΣΤΟΣ ΑΙΜΩΣ
5. ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΡΑΣ
6. ΠΑΡΟΧΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ
7. ΠΑΡΟΧΗ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ
8. ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ

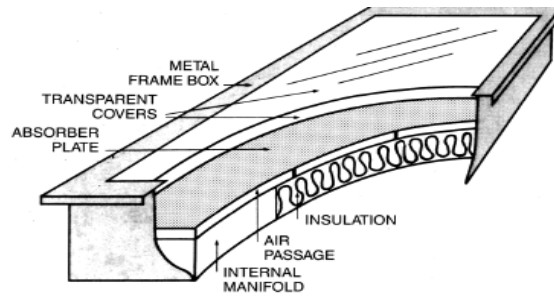


Σχήμα 4.6.3 Συλλέκτης κενού heat pipe

#### 4.6.1.2 Συλλέκτες αέρα

Στους συλλέκτες αέρα ισχύει η βασική μορφολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω, με τη βασική διαφορά να έγκειται στο σχεδιασμό της πλάκας απορρόφησης και στις διόδους της ροής. Επειδή το εργαζόμενο μέσο είναι ο αέρας, που έχει χαμηλή δυνατότητα μεταφοράς θερμότητας, είναι αναγκαίο να περνάει από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια συναλλαγής και συνεπώς ρέει πάνω από όλη την επιφάνεια του απορροφητήρα και ορισμένες φορές και από τις δύο του πλευρές. Ωστόσο, ενώ η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας είναι πολύ μεγάλη, οι συλλέκτες αέρα έχουν χαμηλότερο βαθμό μεταφοράς θερμότητας από τους συλλέκτες υγρού και για αυτό τον λόγο εφαρμόζονται συχνότερα σε περιπτώσεις θέρμανσης χώρων. Ακόμα, πρέπει να αναφερθεί ότι και εδώ υπάρχουν επιλεκτικές επιφάνειες απορροφητήρων που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μονά γυάλινα ή γυάλινα με λίγο σίδηρο καλύμματα. Η ροή του αέρα μπορεί πλέον να φτάνει τα  $20\text{L}/(\text{s m}^2)$  [5] και έτσι αυξάνεται η αποτελεσματικότητά τους, ενώ μειώνεται η θερμοκρασία εξόδου του αέρα.





Σχήμα 4.6.4 συλλέκτης αέρα [8]

#### 4.6.1.3 Απόδοση συλλεκτών

Η απόδοση των συλλεκτών δίνεται από τον τύπο:

$$\eta = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \left(\frac{T_i - T_a}{I_T}\right) \quad (6)$$

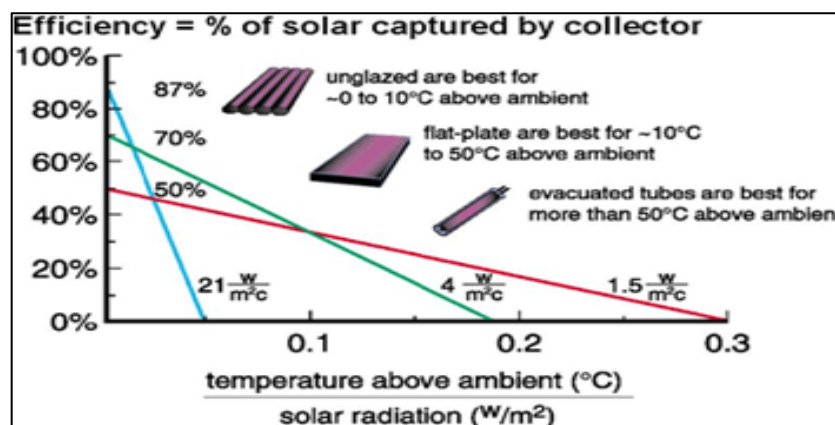
Όπου:

Τ<sub>i</sub> είναι η θερμοκρασία του εισερχόμενου ρευστού

T<sub>a</sub> η θερμοκρασία του περιβάλλοντος

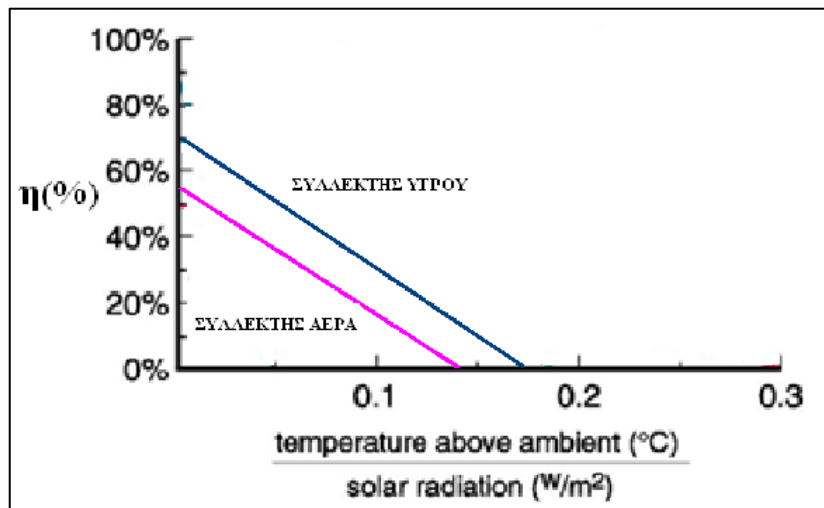
I<sub>T</sub> η ένταση της συνολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο συλλέκτη σε W/m<sup>2</sup> και

F<sub>R</sub>(τα), F<sub>R</sub> U<sub>L</sub> είναι χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη και συνήθως δίνονται από τους κατασκευαστές. Επομένως η απόδοση είναι μια καμπύλη της παρακάτω μορφής (και μπορεί να δίνεται κατ'ευθείαν από τους κατασκευαστές)



Σχήμα 4.6.5 Καμπύλες απόδοσης συλλεκτών υγρού

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το παραπάνω σχήμα [17] είναι αρχικά ότι η τιμή στον κάθετο άξονα ισοδυναμεί με το  $F_R(\tau_a)$  και η κλίση της ευθείας με το  $-F_R U_L$ . Επομένως είναι επιθυμητό μεγάλο  $F_R(\tau_a)$  που να συνδυάζεται με όσο το δυνατόν μικρότερη κλίση και το  $-F_R U_L$ . Ένας συλλέκτης με μικρή κλίση δηλώνει ότι η αποδοτικότητα του μειώνεται αργά όσο αυξάνεται η διαφορά θερμοκρασίας και συνεπώς είναι ένας ακριβός συλλέκτης που αποδίδει καλύτερα στις μεγαλύτερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους άλλους. Ακόμα φαίνεται ότι ένας πολύ απλός συλλέκτης όπως κάποιος που δεν έχει κάλυμμα είναι πολύ αποδοτικότερος από τους άλλους στις χαμηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 4.6.6 Απόδοση συλλεκτών υγρού-αέρα

#### 4.6.1.4 Σύγκριση επίπεδων συλλεκτών

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτουν τα παραπάνω συμπεράσματα:

1. Οι συλλέκτες αέρα έχουν σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση και δίνουν μικρότερες θερμοκρασίες. Σε χαμηλό όμως επίπεδο ακτινοβολίας αν έχουμε υψηλές παροχές αέρα, τότε μπορεί η απόδοση να ξεπεράσει αυτή ενός συλλέκτη υγρού.
2. Οι συλλέκτες κενού, δίνουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τους υπόλοιπους επίπεδους συλλέκτες.
3. Η απόδοση ενός συλλέκτη εξαρτάται από το είδος και τον αριθμό των καλυμμάτων του και από το είδος της απορροφητικής επιφάνειας του ενώ αν πρόκειται για τους συλλέκτες αέρα προστίθεται ακόμα η παράμετρος της παροχής του αέρα.
4. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η επιλογή του συλλέκτη εξαρτάται από την εφαρμογή που μας ενδιαφέρει και ο καθένας είναι καταλληλότερος σε άλλο θερμοκρασιακό εύρος.

#### 4.6.2 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες (concentrating collectors)

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται όταν επιθυμείται να αποδοθεί ενέργεια σε θερμοκρασίες πάνω από αυτές που επιτυγχάνονται με τη χρήση επίπεδων συλλεκτών, δηλαδή θερμοκρασίες πάνω από 115°C [5]. Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εδώ, οφείλονται στη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρή επιφάνεια απορρόφησης με αποτέλεσμα τη μείωση των θερμικών απωλειών προς το περιβάλλον. Η συγκέντρωση αυτή επιτυγχάνεται με παρεμβολή μιας οπτικής ανακλαστικής ή διαθλαστικής συσκευής μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας και της επιφάνειας απορρόφησης. Έτσι το φως εισέρχεται σε ένα μεγάλης επιφάνειας άνοιγμα, τον συγκεντρωτή, ανακλάται ή διαθλάται προς ένα σχετικά μικρό στόχο-δέκτη και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια η οποία συλλέγεται με συμβατικό τρόπο. Είναι σημαντικό να τονισθεί ότι ο λόγος που επιτυγχάνονται υψηλές θερμοκρασίες με τους συγκεντρωτικούς είναι η μείωση των θερμικών απωλειών λόγω της μικρότερης επιφάνειας του δέκτη, ο οποίος και θερμαίνεται και όχι η επιφάνεια συγκέντρωσης.

Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες αξιοποιείται μόνο η άμεση ακτινοβολία (εξαιρέση αποτελούν συλλέκτες χαμηλού λόγου συγκέντρωσης), επομένως είναι απαραίτητη η ύπαρξη μηχανισμού κίνησης και προσανατολισμού το οποίο περιλαμβάνει είτε ανιχνευτικό στοιχείο εντοπισμού του ήλιου, είτε σύστημα προγραμματισμένης κίνησης ώστε ο συλλέκτης να παρακολουθεί την τροχιά του ήλιου στον ουρανό. Ακόμα οι μηχανισμοί αυτοί μπορεί να παρέχουν συνεχή ρύθμιση (ανά ώρα) ή και περιοδική (ανά εβδομάδα., μήνα). Είναι φανερό λοιπόν ότι τα βασικά μειονεκτήματα αυτού του είδους των συλλεκτών είναι τα προβλήματα συντήρησης των πολύπλοκων μηχανισμών κίνησης, η διατήρηση της ποιότητας του οπτικού συστήματος λόγω των εξωτερικών παραμέτρων (σκόνη, οξείδωση, διάβρωση) και το υψηλό τους κόστος.

Είναι λοιπόν φανερό ότι τα κύρια μέρη ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι:

- Ο δέκτης

Περιλαμβάνει τον απορροφητήρα και το σύστημα μετατροπής της ακτινοβολίας, τα καλύμματα και τη μόνωση. Κατασκευαστικά μπορεί να είναι κυρτός, κοίλος ή επίπεδος, ενώ μπορεί να έχει κάλυμμα ή όχι.

- Ο συγκεντρωτής (ή οπτικό σύστημα)

Δέχεται την ακτινοβολία, την συγκεντρώνει και στη συνέχεια την στέλνει στο δέκτη. Μπορεί να είναι ανακλαστικός ή διαθλαστικός, κυλινδρικός-παραβολικός ή επιμήκης, συνεχόμενος ή απαρτιζόμενος από τμήματα ενώ μπορεί να έχει είδωλο που σχηματίζεται πάνω στο δέκτη και σε αυτή τη περίπτωση η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγάλη ή όχι.

Φαίνεται λοιπόν ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία σχεδιασμού αυτών των συλλεκτών. Για να μπορέσουμε να τους συγκρίνουμε, θα αναφέρουμε το μέγεθος εκείνο που είναι το κύριο χαρακτηριστικό τους, τον λόγο συγκέντρωσης C:

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (7)$$

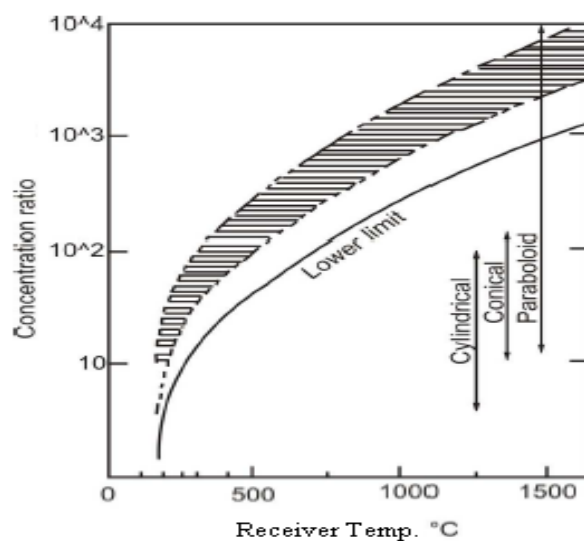
Όπου:

$A_a$  είναι η επιφάνεια που εισέρχεται η ηλιακή ακτινοβολία

$A_r$  η επιφάνεια του δέκτη που την απορροφά.

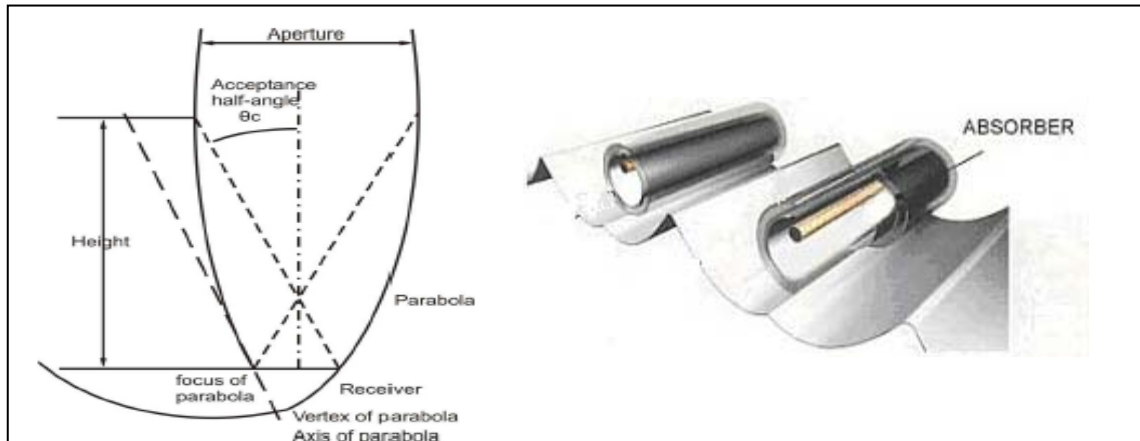
Οι τιμές που παίρνει είναι  $1,5 < C < 10.000$  [13], και όσο αυξάνεται, αυξάνεται η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, η ακρίβεια κατασκευής, η ποιότητα του συγκεντρωτή και συνεπώς το κόστος.

Στο διπλανό σχήμα φαίνεται η σχέση μεταξύ του λόγου συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας του δέκτη. Για να αποδίδεται ενέργεια στο δέκτη θα πρέπει το σημείο λειτουργίας να βρίσκεται πάνω από το κατώτατο όριο που ισοδυναμεί με θερμικές απώλειες ίσες με την απορροφώμενη ακτινοβολία. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αντιστοιχεί στο 40-60% της απόδοσης και είναι η συνήθης περιοχή λειτουργίας. Ακόμα φαίνεται η περιοχή λειτουργίας των διαφόρων τύπων συγκεντρωτών.

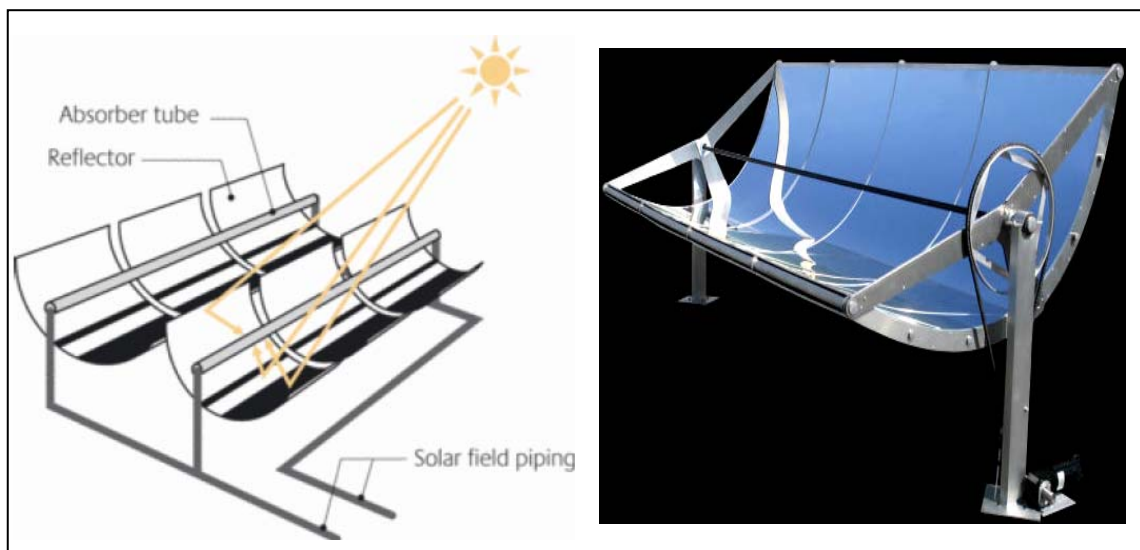


**Σχήμα 4.6.7 Λόγος συγκέντρωσης συναρτήσει της θερμοκρασίας στο δέκτη [10]**

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχει μεγάλη ποικιλία στα είδη των συγκεντρωτικών συλλεκτών και για το λόγο αυτό θα αναφερθούν σύντομα μερικά από τα πιο βασικά τονίζοντας τις ιδιαιτερότητες του καθενός από αυτά. Οι συλλέκτες τύπου CPC- σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες, αποτελούνται από συγκεντρωτή που δε σχηματίζει είδωλο και για το λόγο αυτό επιτυγχάνουν χαμηλούς λόγους συγκέντρωσης. Εκμεταλλεύονται τόσο την άμεσο, όσο και τη διάχυτο ακτινοβολία που προσπίπτει από ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τις ελάχιστες απαιτήσεις κίνησης για την παρακολούθηση του ηλίου. Οι συλλέκτες με επιμήκεις παραβολικούς συγκεντρωτές έχουν τομή σχήματος παραβολής και σχηματίζουν είδωλο πάνω στον δέκτη ο οποίος μπορεί να είναι επίπεδος ή κυλινδρικός. Αξιοποιούν μόνο την άμεσο ακτινοβολία και επιτυγχάνουν μέσες τιμές του λόγου συγκέντρωσης. Οι θερμοκρασίες που φτάνουν είναι στο εύρος των 100-500°C. Ακόμα, υπάρχουν και συλλέκτες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ρεύματος, όπως οι συλλέκτες με παραβολοειδείς συγκεντρωτές και οι συλλέκτες με κεντρικό δέκτη/γραμμικοί Fresnel.



Σχήμα 4.6.8 Συλλέκτης τύπου CPC [8]



Σχήμα 4.6.9 Επιμήκεις παραβολικοί συλλέκτες

### 4.6.3 Σύγκριση συλλεκτών

Τέλος θα πρέπει να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα των επίπεδων συλλεκτών και των συγκεντρωτικών συλλεκτών ώστε να γίνεται η σωστή επιλογή σε κάθε περίπτωση.

1. Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούνται για θερμοκρασίες νερού μέχρι 100°C, ενώ οι συγκεντρωτικοί για μεγαλύτερες θερμοκρασίες.
2. Οι επίπεδοι συλλέκτες δίνουν, στις μεγάλες θερμοκρασίες, μεγάλο ποσοστό απωλειών και μικρή θερμική απόδοση, σε αντίθεση με τους συγκεντρωτικούς που χρησιμοποιούν σωλήνες κενού, οι οποίοι έχουν μειωμένες απώλειες και μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης.
3. Οι επίπεδοι αξιοποιούν την άμεσο και διάχυτο ακτινοβολία, ενώ οι συγκεντρωτικοί μόνο την άμεσο και για το λόγο αυτό χρειάζονται και σύστημα εντοπισμού του ηλίου, κάτι που τους καθιστά πολυπλοκότερους σε σχέση με τους πρώτους που δεν έχουν μηχανικά κινούμενα μέρη.
4. Οι επίπεδοι έχουν απλή τεχνολογία και κατασκευή, έχουν μικρή ευπάθεια σε σχέση με τις καιρικές συνθήκες και συνεπώς έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης ενώ αντιθέτως οι συγκεντρωτικοί είναι υψηλής τεχνολογίας και πολύπλοκης κατασκευής καθώς απαιτούν υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες και μηχανισμούς παρακολούθησης του ηλίου και τελικά έχουν μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησης.

Γενικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν πάνω από ένα συστήματα για την θέρμανση του ρεύματος αναγέννησης. Έτσι, και στην περίπτωση του ηλιακού συλλέκτη πρέπει να υπάρχει και εναλλακτική πηγή θερμότητας έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία στο ρεύμα αναγέννησης κάτω από όλες τις συνθήκες.

## 4.7 Αποθήκευση ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια χρονικά μεταβαλλόμενη πηγή ενέργειας. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του ηλιακού κλιματισμού έχουν επίσης χρονικά μεταβαλλόμενες τιμές, και μάλιστα πολλές φορές διαφορετικής φάσης από την μεταβαλλόμενη ηλιακή ενέργεια ενώ ακόμα και όταν δεν υπάρχει καθόλου ήλιος θα πρέπει να παρέχεται κλιματισμός στο χώρο. Είναι λοιπόν φανερό ότι είναι απαραίτητη η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας που προκύπτει από τους ηλιακούς συλλέκτες προκειμένου να ικανοποιηθούν οι εκάστοτε ανάγκες. Η επιλογή και ο σχεδιασμός της εγκατάστασης αποθήκευσης ενέργειας συνήθως δε τυγχάνει της απαραίτητης προσοχής, ωστόσο παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην απόδοση, στο κόστος και στην αξιοπιστία του συνολικού συστήματος. Για παράδειγμα αν σε ένα σύστημα αποθήκευσης θερμότητας παρουσιάζεται μεγάλη πτώση θερμοκρασίας, αυτό σημαίνει ότι και το υπόλοιπο σύστημα θα τροφοδοτηθεί με χαμηλότερη θερμοκρασία εισόδου και συνεπώς θα έχει χαμηλότερη απόδοση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει το θέμα της επιλογής συστήματος αποθήκευσης να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

Η ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σε υγρά, στερεά, ή υλικά αλλαγής φάσης. Η επιλογή του αποθηκευτικού υλικού εξαρτάται από τη φύση της διεργασίας. Για θέρμανση νερού, είναι λογική επιλογή η αποθήκευση της ενέργειας ως αισθητή θερμότητα στο αποθηκευμένο νερό σε κάποιου είδους δεξαμενή. Το νερό είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο αποθηκευτικό μέσο για συστήματα υγρού, ενώ το ίδιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί άλλο υγρό που να περνάει μέσα από τον συλλέκτη. Για θέρμανση αέρα η αποθήκευση του αισθητού ή του λανθάνοντος φορτίου γίνεται σε μονάδες όπως τα pebble beds ή rocks για τη περίπτωση της αποθήκευσης της αισθητής θερμότητας.

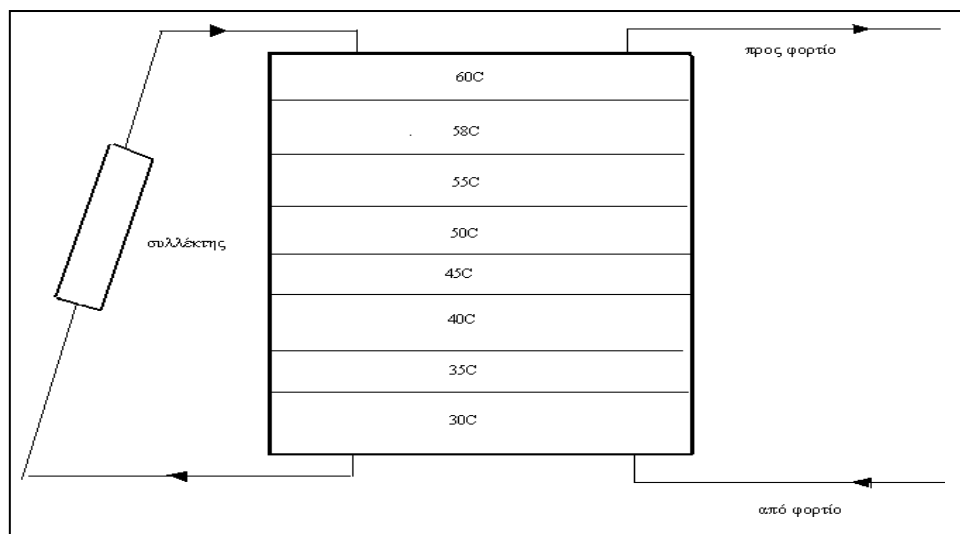
### 4.7.1 Δεξαμενές αποθήκευσης νερού

Το νερό είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο αποθηκευτικό μέσο και λόγω της υψηλής του θερμοχωρητικότητας ( $4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ). Η ενέργεια προσδίδεται και λαμβάνεται από το μέσο αυτό με τη μεταφορά του ιδίου του αποθηκευτικού μέσου ελαχιστοποιώντας έτσι τη θερμοκρασιακή πτώση.

Οι δεξαμενές υπάρχουν σε πολλά σχήματα, ωστόσο το πιο κοινό είναι το κυλινδρικό. Είναι δυνατόν να είναι εγκατεστημένες πάνω από το έδαφος, μερικώς μέσα στο έδαφος και εντελώς θαμμένες κάτω από το έδαφος. Τα υλικά κατασκευής τους μπορεί να είναι το ατσάλι, πλαστικό και σκυρόδεμα. Το ατσάλι είναι το πιο προτιμητέο υλικό για τα ηλιακά συστήματα, ωστόσο πρέπει να είναι προστατευμένο από ηλεκτροχημική και γαλβανική διάβρωση, και οξείδωση και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλες επιστρώσεις. Πλαστικό, όπως το ενισχυμένο fiberglass έχει πλεονεκτήματα όπως μικρή μάζα, υψηλή αντοχή στη διάβρωση και χαμηλό κόστος ενώ είναι κατάλληλο για θερμοκρασίες μέχρι  $99^\circ\text{C}$  [5] που είναι υψηλότερη από αυτή που επιτυγχάνουμε με τους επίπεδους συλλέκτες. Το σκυρόδεμα έχει το πλεονέκτημα ότι είναι φτηνό και μπορεί να πάρει όποιο σχήμα χρειάζεται για την κάθε εφαρμογή, όμως χρειάζεται να διαμορφωθεί κατάλληλη αδιάβροχη επιφάνεια, και η μόνωσή τους είναι δύσκολη, ενώ ακόμα οι δεξαμενές που σχηματίζονται από αυτό είναι βαρείς και δύσκολα υποστηριζόμενες. Οι θερμικές απώλειες από τις δεξαμενές είναι από τις πιο βασικές αιτίες της χαμηλής απόδοσης. Θέλουμε λοιπόν να είναι καλά μονωμένες.

Στις δεξαμενές το ζεστό νερό του συλλέκτη μπορεί να είναι αναμιγμένο ή να είναι σε στρώματα (stratification in storage tanks). Στην περίπτωση της ανάμιξης το νερό διατηρείται σε μια ομοιόμορφη

θερμοκρασία, ενώ στην διαστρωματωμένη δεξαμενή το νερό από τον συλλέκτη μπαίνει από την πάνω μεριά της δεξαμενής και επειδή ως πιο ζεστό παραμένει στα πάνω στρώματα, το κρύο νερό οδεύει προς τα χαμηλότερα στρώματα της δεξαμενής από όπου τροφοδοτείται ο συλλέκτης με αποτέλεσμα να λειτουργεί πάντα πιο αποδοτικά αφού βρίσκεται στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία. Είναι αναμενόμενο ότι το νερό που προορίζεται για χρήση λαμβάνεται από την πάνω άκρη της δεξαμενής. Η διαστρωμάτωση αυξάνει την αποδοτικότητα σε όλα σχεδόν τα ηλιακά συστήματα. Όσον αφορά το μέγεθος των δεξαμενών αυτό υπολογίζεται στα 40-100 L/m<sup>2</sup> συλλεκτικής επιφάνειας με επικρατέστερη τιμή αυτή των 75 L/m<sup>2</sup> συλλεκτικής επιφάνειας [5].



Σχήμα 4.7.1 Διάταξη δεξαμενής με στρωματοποίηση

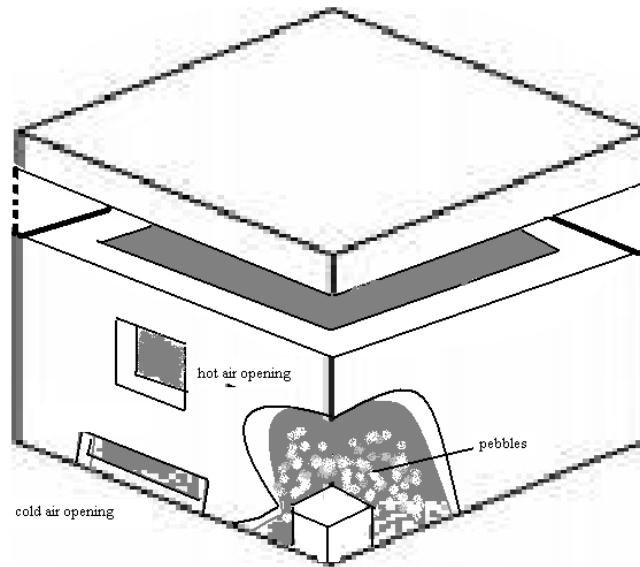
#### 4.7.2 Αποθήκευση αέρα (packed beds)

Το πιο κοινό αποθηκευτικό μέσο για τους συλλέκτες αέρα είναι ένας σωρός από πέτρες, χαλίκια, αμμοχάλικα και κομμάτια σκυροδέματος (CMU). Μια τέτοια αποθηκευτική μονάδα λοιπόν (pebble bed, rock pile) χρησιμοποιεί τη δυνατότητα του σωρού από συσκευασμένα υλικά για αποθήκευση θερμότητας. Ο αέρας που κυκλοφορεί διαμέσου του 'κρεβατιού' αυτού, προσδίδει ή αφαιρεί θερμότητα από αυτό. Κατά τη διαδικασία της πρόσδοσης ο αέρας κινείται σε μια κατεύθυνση και κατά την αφαίρεση θερμότητας κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση (η ροή μπορεί να είναι είτε οριζόντια είτε κατακόρυφη) και ως εκ τούτου πρόσδοση και αφαίρεση δε πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Οι διατάξεις αυτές έχουν κάποια πλεονεκτήματα όπως υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του αέρα και του υλικού (αυτό σημαίνει ότι ο εισερχόμενος αέρα από τον συλλέκτη γρήγορα προσδίδει τη θερμότητα που έχει στο υλικό), θερμική στρωματοποίηση και χαμηλή μετάδοση θερμότητας όταν δεν υπάρχει ροή αέρα με αποτέλεσμα να μην έχουμε θερμικές απώλειες. Ακόμα έχουν χαμηλή πτώση πίεσης κατά μήκος του 'κρεβατιού' και όλα αυτά συνοδεύονται από χαμηλά κόστη τόσο του υλικού αποθήκευσης όσο και του μέσου που εμπεριέχεται.

Οι διαστάσεις των χαλικιών για τα pebble beds κυμαίνονται από 35-100mm ανάλογα με την εφαρμογή και ο όγκος αυτών που είναι απαραίτητος εξαρτάται από την ποσότητα της θερμότητας του



αέρα του συλλέκτη που πρέπει να αποθηκευτεί. Για παράδειγμα σε οικιακές εφαρμογές ο αποθηκευτικός όγκος είναι της τάξης του  $0,15-0,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$  συλλεκτικής επιφάνειας. [5].



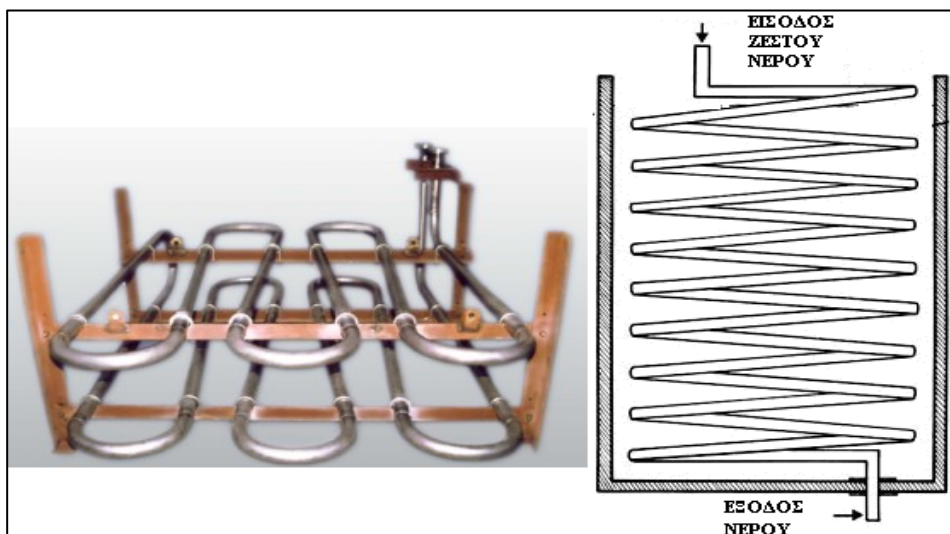
**Σχήμα 4.7.2 Packed bed αποθηκευτική μονάδα [8]**

## 4.8 Εναλλάκτες για συλλέκτες υγρού

Όταν χρησιμοποιούνται συλλέκτες αέρα, τότε ο θερμαινόμενος αέρας του συλλέκτη μπορεί είτε να τροφοδοτήσει απ'ευθείας το σύστημα κλιματισμού, είτε να πάει στη δεξαμενή αποθήκευσης και όταν είναι αναγκαίο αέρας να περάσει από αυτήν να ζεσταθεί και να σταλεί κατόπιν στο σύστημα. Στην περίπτωση όμως των συλλεκτών υγρού τα πράγματα είναι λίγο πιο σύνθετα. Αν ο συλλέκτης υγρού είναι άμεσου συστήματος, τότε το θερμικό μέσο του που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι νερό, πάει στη δεξαμενή αποθήκευσης και από εκεί για να ζεστάνει τον αέρα που πρόκειται να αναγεννήσει τον τροχό, πρέπει να περάσει μέσα από έναν εναλλάκτη υγρού-αέρα. Αν τώρα ο συλλέκτης είναι έμμεσου συστήματος τότε θα πρέπει να υπάρχει και ένας ακόμα εναλλάκτης υγρού-υγρού που θα μεταφέρει θερμότητα από το θερμικό μέσο του συλλέκτη στο νερό πριν εκείνο πάει στη δεξαμενή αποθήκευσης. Ο εναλλάκτης υγρού-υγρού θα μπορούσε να είναι heat pipe ή shell and tube ή plate type όπως περιγράφηκαν πιο πάνω και ο εναλλάκτης υγρού-αέρα θα μπορούσε να είναι πάλι heat pipe, shell and tube ή και σωλήνες μεταφοράς θερμότητας.

### 4.8.1 Εναλλάκτης υγρού-αέρα

Οι εναλλάκτες υγρού-αέρα, χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά θερμότητας μέσω συναγωγής και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μόνο μια σειρά ή πολλές σειρές σωλήνων. Η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται αρχικά μέσω της εξωτερικής επιφάνειας των σωλήνων και δευτερευόντως μέσω της επιφάνειας των 'fins' δηλαδή πτερυγίων που είναι συνδεδεμένα με τους σωλήνες και μπορούν να έχουν είτε επίπεδη επιφάνεια, είτε να είναι σε μορφή σπείρας ή ταινίας. Για τη χρήση που ενδιαφέρει, συνήθως οι σωλήνες είναι από χαλκό και τα fins από αλουμίνιο. Έτσι ο αέρας περνώντας από τους σωλήνες αυξάνει τη θερμοκρασία του και συνεπώς μειώνεται η θερμοκρασία του ζεστού νερού που ρέει μέσα από αυτά κατά περίπου 11°C [5]. Αυτό που έχει μεγάλη σημασία για την απόδοση του συστήματος είναι η θερμοκρασία του αέρα μετά τον εναλλάκτη να είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη και η ανομοιομορφία να μη ξεπερνάει το 20% συνολικά. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει η επιφανειακή ταχύτητα του αέρα να είναι από 1-8 m/s και η ταχύτητα του νερού από 1,2-1,8 m/s.[5]



Σχήμα 4.8.1 Εναλλάκτης υγρού-αέρα

## 4.9 Συστήματα ελέγχου

Όπως και σε κάθε συμβατικό σύστημα κλιματισμού, έτσι και εδώ, είναι απαραίτητα συστήματα και διατάξεις που θα ελέγχουν αν υγρασία και η θερμοκρασία βρίσκονται στα επιθυμητά και καθορισμένα επίπεδα και αν όχι να δίνεται η εντολή για την επαναφορά τους σε αυτά. Ακόμα είναι απαραίτητα και συστήματα ελέγχου που θα προστατεύουν την ίδια την εγκατάσταση κλιματισμού.

Πιο συγκεκριμένα ας εξετασθεί πρώτα η δεύτερη περίπτωση, δηλαδή αυτή της ορθής λειτουργίας της εγκατάστασης. Θα πρέπει να υπάρχει σύστημα ελέγχου που να εξασφαλίζει ότι όταν δεν περνάει αέρας αναγέννησης δε θα πρέπει να περνάει νερό ή αέρας (ανάλογα με το είδος του συλλέκτη ) από τον εναλλάκτη αλλά θα πρέπει να παραμένει στη μονάδα αποθήκευσης. Επιπλέον θα πρέπει να υπάρχει ειδικός αισθητήρας που να ειδοποιεί όταν ο τροχός desiccant δε περιστρέφεται όπως θα έπρεπε ή όταν κάποιο άλλο σύστημα δε λειτουργεί σωστά.

Τώρα όσον αφορά τη ρύθμιση της υγρασίας και της θερμοκρασίας έχουμε τις παρακάτω μεθόδους.

### 4.9.1 Ρύθμιση της υγρασίας

Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι για τη ρύθμιση της υγρασίας του χώρου που διαφέρουν μεταξύ τους στην ακρίβεια και στον τρόπο λειτουργίας τους.

#### 4.9.1.1 Με bypass διάταξη στο ρεύμα εισόδου του αέρα

Πρόκειται για την μέθοδο μεγαλύτερης ακρίβειας από όλες και αποτελείται από μια διάταξη bypass και διάφραγμα για την επιφάνεια του τροχού desiccant και για την διάταξη bypass και χρησιμοποιείται ως εξής: όταν η υγρασία του χώρου είναι χαμηλή, κλείνει το διάφραγμα του τροχού και ανοίγει το διάφραγμα του bypass ώστε μια ποσότητα του αέρα εισόδου δεν εισέρχεται στο τροχό desiccant αλλά τον προσπερνάει και ενώνεται κατόπιν με το υπόλοιπο ρεύμα που είναι πλέον χωρίς υγρασία. Μετά αν η υγρασία του χώρου αυξηθεί, κλείνει το διάφραγμα του bypass και ανοίγει του τροχού ώστε όλος ο αέρας που θα εισέλθει στον χώρο να είναι πιο ξηρός. Έτσι επιτυγχάνεται ρύθμιση της υγρασίας. Όπως ήδη αναφέρθηκε είναι η πιο ακριβής αλλά και η πιο ακριβή μέθοδος. Για τους λόγους αυτούς και λόγω πολυπλοκότητας συντήρησης συναντάται σε βιομηχανικά περιβάλλοντα που απαιτούν μεταβολή της σχετικής υγρασίας κατά 1-2%.

#### 4.9.1.2 Με ρύθμιση της θερμοκρασίας αναγέννησης

Από την μέχρι τώρα ανάλυση γίνεται φανερό ότι πρέπει να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη θερμοκρασία του αέρα στο ρεύμα αναγέννησης έτσι ώστε αυτή να είναι δυνατόν να αναγεννήσει τον τροχό αλλά και να μην είναι και μεγαλύτερη από όσο χρειάζεται και σπαταλάται ενέργεια. Υπάρχει δηλαδή ανώτατο και κατώτατο θερμοκρασιακό όριο που ουσιαστικά αναφέρεται στην ποσότητα ενέργειας που πρέπει να καταναλωθεί. Έτσι, όσο μεγαλώνει το λανθάνον φορτίο στον τροχό τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι και η θερμοκρασία του αέρα και επομένως τόση μεγαλύτερη ενέργεια

θα πρέπει να καταναλίσκεται. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η ποσότητα υγρασίας μικραίνει. Πώς όμως μπορεί να ελεγχθεί η ποσότητα ενέργειας που πρέπει να δοθεί; Ένας τρόπος είναι μετρώντας τη θερμοκρασία εξόδου από τον τροχό desiccant του ρεύματος αναγέννησης και διατηρώντας την σταθερή. Τοποθετείται σύστημα μέτρησης της θερμοκρασίας, και αν αυτή ξεπερνά την επιθυμητή θερμοκρασία, αυτό σημαίνει ότι το φορτίο υγρασίας στο τροχό έχει μειωθεί επομένως θα πρέπει να μειωθεί η θερμότητα που προσδίδεται στον αέρα, ενώ αν αντιθέτως η θερμοκρασία έχει μειωθεί, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πολύ λανθάνον φορτίο και ο αέρας περνώντας από τον τροχό παραλαμβάνει μεγάλη ποσότητα υγρασίας και η θερμοκρασία του πέφτει πολύ, οπότε σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να δοθεί και άλλη θερμότητα. Άλλος τρόπος είναι αν τοποθετηθεί ένα όργανο μέτρησης της υγρασίας στον χώρο, έτσι ώστε όταν παρατηρείται υψηλή υγρασία θα ειδοποιεί για μεγαλύτερη θερμοκρασία αναγέννησης και όταν υπάρχει χαμηλή υγρασία θα ειδοποιεί για χαμηλότερη θερμοκρασία. Με το τρόπο όμως αυτό δημιουργείται χρονική υστέρηση. Ωστόσο υπάρχουν μικρές παραλλαγές για την εξάλειψη του προβλήματος αυτού. Αυτό που πρέπει να διευκρινιστεί είναι η μέθοδος με την οποία θα μεταβάλλεται η προσδιδόμενη θερμότητα, από τη στιγμή που χρησιμοποιείται ηλιακό σύστημα και όχι ένας συμβατικό θερμαντήρας στον οποίο απλά μπορεί αυξομειωθεί η παραγόμενη θερμότητά του. Για το λόγο αυτό συνήθως χρησιμοποιείται τρίοδη βαλβίδα η οποία δέχεται το μέσο που διέρχεται από τον εναλλάκτη προκειμένου να ζεστάνει τον αέρα, και ένα μέρος αυτού που είναι πλέον σαφώς ψυχρότερο το στέλνει πίσω στην εισαγωγή του εναλλάκτη. Με το τρόπο αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μείωση ή αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αναγέννησης. Βλέπουμε λοιπόν ότι αυτό το σύστημα είναι μηχανικής απλότητας και για αυτό είναι και χαμηλού κόστους.

#### *4.9.1.3 Με άνοιγμα και κλείσιμο του συστήματος θέρμανσης του αέρα αναγέννησης*

Η μέθοδος αυτή μοιάζει με την προηγούμενη μέθοδο με τη διαφορά ότι αντί για να ρυθμίζεται η θερμότητα που προσδίδεται στον αέρα ανοίγει ή κλείνει το σύστημα θέρμανσης. Επειδή ενδιαφέρει ο ηλιακός κλιματισμός αυτό που γίνεται είναι να σταματάει η παροχή του ρευστού του συλλέκτη μέσα στον εναλλάκτη ώστε ο αέρας αναγέννησης να μη θερμαίνεται. Η μέθοδος αυτή είναι ακόμα χαμηλότερου κόστους αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις δίνει πολύ καλά αποτελέσματα.

Ακόμα τονίζεται πως μπορεί να μη χρησιμοποιείται ο υγραντήρας όταν είναι επιθυμητή χαμηλή υγρασία. Αυτό βέβαια εξαρτάται και από την επιθυμητή θερμοκρασία. Αν είναι αναγκαία χαμηλή υγρασία και θερμοκρασία αναγκαστικά πρέπει να γίνει χρήση μιας εκ των παραπάνω μεθόδων, αλλιώς αν χρειάζεται χαμηλή υγρασία και υψηλή σχετικά θερμοκρασία το επιθυμητό αποτέλεσμα απλά επιτυγχάνεται με το κλείσιμο της παροχής νερού του υγραντήρα.

#### 4.9.2 Ρύθμιση της θερμοκρασίας

Ο αέρας βγαίνοντας από τον τροχό desiccant όπως έχει αναφερθεί είναι ζεστός και πρέπει να ψυχθεί.

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας αυτής είναι ο εναλλάκτης θερμότητας. Στο στάδιο αυτό συνήθως δεν υπάρχει έλεγχος και απλά αφαιρείται όσο περισσότερη θερμότητα γίνεται και ο αέρας ψύχεται κατά το δυνατόν περισσότερο.

Το δεύτερο στάδιο είναι ο έμμεσος υγραντήρας στο ρεύμα αναγέννησης. Όταν ο εναλλάκτης από μόνος του δεν αρκεί για να ψύξει τον αέρα αποτελεσματικά και η θερμοκρασία του χώρου ανεβαίνει, τότε το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί την παροχή νερού του έμμεσου υγραντήρα ώστε να ψυχθεί ο αέρας αναγέννησης και περνώντας από τον εναλλάκτη να μπορέσει να απορροφήσει μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας.

Το τρίτο στάδιο είναι ο άμεσος υγραντήρας. Όταν τα δύο προηγούμενα δεν αρκούν για τη ψύξη του αέρα τότε το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί την παροχή νερού στον άμεσο υγραντήρα. Ο αέρας καθώς περνάει από αυτόν γίνεται ψυχρός και υγρός και μπορεί πλέον να απομακρύνει τα αισθητά φορτία του χώρου.

Τέλος, αν είναι επιθυμητό το σύστημα μας να δώσει στο χώρο χαμηλή θερμοκρασία, πολύ χαμηλή υγρασία ή όταν απλά το σύστημα desiccant δεν αρκεί για να απομακρύνει τα φορτία του χώρου, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμβατικό κλιματιστικό σύστημα το οποίο θα απομακρύνει τα αισθητά φορτία του χώρου.



Σχήμα 4.9.1 Σύστημα ελέγχου

# 5

## ***Σχεδιασμός συστήματος desiccant***

Μετά την ανάλυση που προηγήθηκε για τα υποσυστήματα ενός συστήματος desiccant, τα είδη τους και τις βασικές αρχές λειτουργίας τους, παρουσιάζεται στην ενότητα αυτή τα βασικά στοιχεία μιας μεθοδολογίας που θα μπορούσε να ακολουθηθεί προκειμένου να γίνει σύνθεση ενός ολόκληρου τυπικού συστήματος desiccant (τροχός desiccant, εναλλάκτης, δύο υγραντήρες). Τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να σχεδιασθεί ένα τέτοιο σύστημα είναι τα παρακάτω.

### ***5.1 Καθορισμός στόχων που πρέπει να πληρεί το σύστημα desiccant***

Για το κάθε σύστημα που πρόκειται να εγκατασταθεί πρέπει πρώτα να καθορισθεί ποιό θα είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα. Πρέπει δηλαδή πέρα από την άνεση των ατόμων, να εξασφαλισθεί και το χαμηλότερο δυνατό κόστος καθώς επίσης και να επιτευχθεί η ικανοποίηση οποιασδήποτε άλλης ανάγκης υπάρχει για το χώρο αυτό. Για παράδειγμα σε ένα σούπερ μάρκετ η επιπλέον ανάγκη είναι να βρίσκεται η υγρασία σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο επίπεδο, ενώ σε ένα νοσοκομείο να μην δημιουργούνται και μεταδίδονται παθογόνοι μικροοργανισμοί. Όλα αυτά λοιπόν θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό ώστε να υπάρξει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

### ***5.2 Καθορισμός ορίων εντός των οποίων ικανοποιούνται οι στόχοι του συστήματος***

Μετά τον προσδιορισμό των στόχων που πρέπει να επιτυγχάνει το σύστημα, το επόμενο στάδιο της ανάλυσης είναι να τεθούν τα όρια που θα ικανοποιούν τους στόχους αυτούς. Πρέπει λοιπόν να αποφασισθούν ποια θα είναι τα επιτρεπτά όρια θερμοκρασίας και υγρασίας, και ποιες θα είναι οι επιτρεπτές συγκεντρώσεις σωματιδίων και μολυσματικών αερίων στον χώρο. Το πρώτο πράγμα που

θα πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το διάγραμμα άνεσης της ASHRAE και οι κανονισμοί της για ποιότητα εσωτερικού αέρα. Πέρα από αυτό όμως, πρέπει ο καθορισμός των ορίων να γίνεται πάντα σε συνεννόηση με τον υπεύθυνο του χώρου ώστε να αναγνωριστούν ενδεχόμενες ιδιαιτερότητες που μπορεί να υπάρχουν. Για παράδειγμα σε μια χειρουργική μονάδα, οι χειρουργοί είναι καλυμμένοι με ρούχα που δεν επιτρέπουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος. Επομένως θερμοκρασία μέσα στο πλαίσιο του προτεινόμενου διαγράμματος από την ASHRAE θα ήταν εξαιρετικά υψηλή και ακατάλληλη. Για τους λόγους αυτούς, αυτό το στάδιο είναι πολύ βασικό στο σχεδιασμό του συστήματος και μέχρι να καθοριστούν τα όρια αυτά κανένας υπολογισμός φορτίου δεν έχει νόημα να πραγματοποιηθεί.

### 5.3 Προσδιορισμός των ακραίων καιρικών συνθηκών

Αφού έχουν προσδιοριστεί τα προηγούμενα, είναι πλέον απαραίτητο να προσδιοριστούν οι ακραίες συνθήκες κάτω από τις οποίες το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί αποδοτικά και εντός των προαναφερθέντων ορίων. Πρέπει να γίνει σαφές ότι ενδιαφέρει η ακραία τιμή της θερμοκρασίας αλλά και της υγρασίας, και οι ακραίες αυτές τιμές δε ταυτίζονται χρονικά, αλλά αντιθέτως η μέγιστη υγρασία παρουσιάζεται όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη της μέγιστης. Για τις ακραίες τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες πηγές, όπως π.χ. οι σχετικοί πίνακες της ASHRAE [2] για 1600 διεθνείς προορισμούς. Οι παρακάτω πίνακες που αφορούν στην Ελλάδα αποτελούν τμήμα αυτών:

Πίνακας 5.3.1 Κλιματικές συνθήκες πόλεων της Ελλάδας [2]

WHO#	Lat.	Long.	Elev. m	StdP. kPa	Dates	Heating Dry Bulb		Extreme Wind Speed, m/s					Coldest Month			MWS/MWD to DB		Extr. Annual Daily					
						99.6%	99%	1%	2.5%	5%	WS	WS	WS	MWS	MWD	MWS	MWD	Max.	Min.	Max.	Min.		
<b>GREECE</b>																							
Andravida	166820	37.92 N	21.28 E	12	101.18	8293	-0.2	1.1	10.0	8.5	7.4	12.0	13.2	10.0	12.8	0.9	130	5.3	350	36.2	-2.8	1.5	1.5
Athens	167160	37.90 N	23.73 E	15	101.14	8293	1.2	2.9	10.2	9.2	8.4	11.2	8.2	9.8	8.6	3.5	360	6.1	30	37.4	-0.4	2.4	1.7
Elefsis (Hel-AFB)	167180	38.07 N	23.55 E	31	100.95	8293	0.8	2.1	10.2	9.2	8.3	10.5	9.3	9.9	7.8	2.0	360	5.5	10	39.8	-1.0	2.9	1.8
Iraklion	167540	35.33 N	25.18 E	39	100.86	8293	5.0	6.8	14.5	12.9	11.2	18.0	11.5	14.8	10.8	6.2	340	4.7	320	36.2	2.7	2.0	2.0
Larisa	166480	39.63 N	22.42 E	74	100.44	8293	-5.1	-3.5	8.6	7.3	6.0	8.9	7.5	7.6	7.7	0.4	360	3.2	270	40.4	-8.8	2.5	3.0
Preveza	166430	38.95 N	20.77 E	4	101.28	8293	2.3	3.5	11.7	9.9	8.6	13.8	10.8	10.8	10.2	4.3	40	4.3	250	34.9	0.3	2.3	1.5
Rodhos	167490	36.40 N	28.08 E	11	101.19	8293	5.0	6.6	10.6	9.7	9.0	12.5	9.3	10.4	9.5	6.0	360	6.4	270	35.3	3.5	2.0	2.0
Soudha	167460	35.48 N	24.12 E	151	99.52	8293	4.0	5.2	11.7	10.0	8.9	13.4	11.3	11.4	9.2	4.4	20	4.3	300	38.0	2.0	1.5	1.8
Thessaloniki	166220	40.52 N	22.97 E	4	101.28	8293	-3.8	-2.0	13.1	10.6	8.9	14.2	5.6	12.6	6.0	3.6	110	4.4	180	37.4	-7.2	2.5	1.8

Station	DB/MWB						WB/MDB						DP/MDB and HR						Range of DB			
	0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%					
	DB	MWB	DB	MWB	DB	MWB	WB	MDB	WB	MDB	WB	MDB	DP	HR	MDB	DP	HR	MDB		DP		
<b>GREECE</b>																						
Andravida	32.9	20.9	31.6	21.5	30.3	21.4	24.1	28.9	23.5	28.2	22.8	27.9	22.9	17.7	26.4	22.0	16.7	26.2	21.1	15.8	25.5	11.8
Athens	34.1	20.6	33.0	20.1	31.8	20.1	23.8	29.7	22.9	29.2	22.1	28.5	21.9	16.6	28.2	20.8	15.5	27.5	19.8	14.5	26.7	9.4
Elefsis (Hel-AFB)	36.1	21.1	34.9	20.1	33.2	19.8	23.6	31.3	22.6	30.9	21.6	30.1	21.0	15.7	28.6	19.9	14.7	27.6	18.8	13.7	26.7	10.1
Iraklion	31.2	18.9	29.9	19.5	28.8	19.9	23.2	27.5	22.6	27.3	22.0	26.5	21.8	16.5	26.7	21.0	15.7	26.3	20.1	14.9	25.9	5.9
Larisa	36.0	20.3	34.1	20.1	32.8	19.8	21.9	32.6	21.1	30.9	20.5	30.1	19.1	14.0	23.6	18.2	13.2	23.3	17.6	12.7	23.1	14.0
Preveza	31.2	21.6	29.9	21.6	28.8	22.1	24.4	28.1	23.8	27.6	23.3	27.0	23.2	18.0	26.6	22.7	17.4	26.1	22.1	16.8	25.9	8.0
Rodhos	32.0	21.5	30.8	21.4	29.8	21.3	24.3	27.7	23.8	27.6	23.3	27.3	23.2	18.0	26.1	22.7	17.4	26.1	22.0	16.7	25.9	5.6
Soudha	34.0	19.1	32.2	19.2	30.9	19.0	22.3	27.8	21.6	27.2	21.1	26.8	20.9	15.8	24.1	20.0	15.0	24.0	19.2	14.2	23.9	8.5
Thessaloniki	33.2	21.2	32.1	20.7	30.9	20.5	22.9	30.4	22.2	29.0	21.5	28.9	20.8	15.5	27.0	19.9	14.6	26.3	19.0	13.8	25.4	11.6

Στον κάτω πίνακα ενδιαφέρει το σημείο δρόσου που συνδέεται άμεσα με το λόγο υγρασίας, και θα επιλεγεί το ποσοστό 0,4% που δείχνει ότι η τιμή αυτή της υγρασίας υπερβαίνεται περίπου κατά το 0,4% των ωρών του χρόνου. Συγκριτικά με τις άλλες που υπερβαίνονται στο 1% και στο 2% επιλέγεται η 0,4% που δείχνει και την πιο μεγάλη υγρασία.

## 5.4 Υπολογισμός των φορτίων του χώρου/ μέθοδος CLTD/ CLF

Στο σημείο αυτό μπορούν να υπολογισθούν τα φορτία του χώρου. Θα δοθεί μια συνοπτική περιγραφή της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό τόσο των αισθητών φορτίων, όσο και των φορτίων της υγρασίας (σε W και σε g/h), ξεχωριστά το ένα από το άλλο. Εδώ, όταν θα υπολογισθεί το συνολικό φορτίο –αντίθετα με τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στο συμβατικό κλιματισμό- δε θα συμπεριληφθεί το φορτίο της υγρασίας (σε W) γιατί το σύστημα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί δε καταναλώνει επιπλέον ενέργεια για να αφυγράνει τον αέρα (όπως τα συμβατικά κλιματιστικά), αλλά την αφύγρανση την κάνει ο τροχός desiccant. Θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος CLTD/ CLF της ASHRAE [2] όπως αναγράφεται στο [14].

### 5.4.1 Ψυκτικά φορτία από εξωτερικές οροφές και εξωτερικούς τοίχους

Στις εξωτερικές οροφές και στους εξωτερικούς τοίχους υπάρχει μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον προς τον χώρο και συνεπώς δημιουργείται μόνο αισθητό φορτίο που υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$q = U \cdot A \cdot (CLTD) \quad (8)$$

Όπου:

q είναι το ψυκτικό φορτίο σε W

U είναι η θερμική διαπερατότητα της οροφής ή του τοίχου σε W/m<sup>2</sup>·C

A η επιφάνεια της οροφής ή του τοίχου σε m<sup>2</sup>

CLTD είναι η θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου σε °C



Για τον υπολογισμό του CLTD χρησιμοποιούνται αρχικά οι πίνακες για οροφές και για τοίχους [14] προκειμένου να προσδιορισθεί ο κωδικός της οροφής ή του τοίχου και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τους κωδικούς αυτούς βρίσκεται πόσο είναι το CLTD [14]. Η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας όταν ισχύουν ταυτόχρονα τα παρακάτω :

- A. Η επιφάνεια του τοίχου ή της οροφής είναι σκούρα
- B. Η εσωτερική θερμοκρασία βρίσκεται στους 25,5° C
- C. Η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία είναι 35° C με μέση ημερήσια τιμή 29,4° C και ημερήσια διακύμανση 11,6° C
- D. Τυπική ηλιακή ακτινοβολία για την 21<sup>η</sup> Ιουλίου σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος 40°
- E. Η εξωτερική θερμική αντίσταση επιφάνειας είναι  $R_o=0,059 \text{ m}^2 \text{ C/W}$  και
- F. Η εσωτερική θερμική αντίσταση επιφάνειας είναι  $R_i=0,121 \text{ m}^2 \text{ C/W}$

Αν κάποια από όλες αυτές τις προϋποθέσεις δε πληρείται [14] τότε η τιμή του CLTD πρέπει να διορθωθεί.

Για οροφές :

$$(CLTD)_{corr} = [(CLTD + LM)K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4)]f \quad (9)$$

Όπου:

LM είναι η διόρθωση για γεωγραφικό πλάτος και μήνα

K παίρνει την τιμή 1 για οροφή σκούρου χρώματος και 0,5 για μονίμως ανοιχτού

$T_R$  είναι η εσωτερική θερμοκρασία

Το η μέση εξωτερική θερμοκρασία και δίνεται από τον τύπο :  $T_o = T_{max} - \frac{\Delta R}{2}$  όπου το  $T_{max}$

είναι η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία και το  $\Delta R$  η ημερήσια διακύμανση.

Το f παίρνει την τιμή 1 αν δεν υπάρχει και 0,75 αν υπάρχει ροή δια της οροφής.

Για τοίχους :

$$(CLTD)_{corr} = (CLTD + LM)K + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4) \quad (10)$$

Όπου:

LM είναι η διόρθωση για γεωγραφικό πλάτος και μήνα

Το K παίρνει την τιμή 1 για τοίχο σκούρου χρώματος, 0,83 για τοίχο μονίμως μέσου χρώματος και 0,65 για τοίχο μονίμως ανοιχτού

$T_R$  είναι η εσωτερική θερμοκρασία

Το η μέση εξωτερική θερμοκρασία

#### 5.4.2 Ψυκτικά φορτία από παράθυρα (υαλοπίνακες)

Εδώ το ψυκτικό φορτίο χωρίζεται σε δύο κατηγορίες στο φορτίο δι'αγωγής από το παράθυρο, στο οποίο έχει μεταφερθεί θερμότητα από το περιβάλλον και στο φορτίο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας.

Ψυκτικό φορτίο δι'αγωγής :

Και εδώ ακολουθείται η ίδια μέθοδος με πριν και το φορτίο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q_{αγ} = U \cdot A \cdot (CLTD) \quad (11)$$

Όπου:

U είναι η θερμική διαπερατότητα του υαλοπίνακα σε  $W/m^2 \cdot C$

A η επιφάνεια του υαλοπίνακα σε  $m^2$

CLTD είναι η θερμοκρασιακή διαφορά ψυκτικού φορτίου σε  $^{\circ} C$

Η τιμή του CLTD βρίσκεται για κάθε ώρα της ημέρας όταν ισχύουν ταυτόχρονα οι παρακάτω προϋποθέσεις:

A. η εσωτερική θερμοκρασία βρίσκεται στους  $25,5^{\circ} C$  και

B. η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία είναι  $35^{\circ} C$  με μέση ημερήσια τιμή  $29,4^{\circ} C$  και ημερήσια διακύμανση  $11,6^{\circ} C$ .

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις θα πρέπει να γίνει διόρθωση :

$$(CLTD)_{corr} = CLTD + (25.5 - T_R) + (T_o - 29.4) \quad (12)$$

Όπου πάλι το  $T_R$  είναι η εσωτερική θερμοκρασία και το  $T_o$  η μέση εξωτερική θερμοκρασία.

Ψυκτικό φορτίο λόγω ακτινοβολίας:

Το φορτίο εδώ υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q_{ηλ} = A \cdot (SC) \cdot (SHGF)_{max} \cdot (CLF) \quad (13)$$

Όπου:

A η επιφάνεια του υαλοπίνακα σε  $m^2$

SC ο συντελεστής σκίασης και δίνεται [14] για διαφόρους τύπους υαλοπινάκων

$(SHGF)_{max}$  είναι ο μέγιστος παράγων ηλιακού θερμικού κέρδους και εξαρτάται από την σκίαση

CLF είναι ο παράγων ψυκτικού φορτίου

Έτσι το συνολικό ψυκτικό φορτίο των υαλοπινάκων βρίσκεται αν προστεθούν τα δύο επιμέρους φορτία.

$$q = q_{αγ} + q_{ηλ} \quad (14)$$

#### 5.4.3 Ψυκτικά φορτία από εσωτερικούς τοίχους, δάπεδα και οροφές

Εδώ λαμβάνεται υπόψη η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω των δομικών στοιχείων από τον ένα χώρο στον άλλο (και όχι από το εξωτερικό περιβάλλον) επομένως δημιουργείται μόνο αισθητό φορτίο που υπολογίζεται από τη σχέση :

$$q = U \cdot A \cdot (t_b - t_i) \quad (15)$$

Όπου:

U είναι η θερμική διαπερατότητα του υαλοπίνακα σε W/m<sup>2</sup>·C

A η επιφάνεια του υαλοπίνακα σε m<sup>2</sup>

t<sub>b</sub> είναι η μέση θερμοκρασία αέρος του γειτονικού χώρου °C

t<sub>i</sub> είναι η θερμοκρασία αέρος στον κλιματιζόμενο χώρο °C

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Συνήθως, αν ο γειτονικός χώρος δεν έχει πηγές θερμότητας θεωρείται ότι η διαφορά t<sub>b</sub>-t<sub>i</sub> είναι κατά 3° C μικρότερη της διαφοράς μεταξύ κλιματιζόμενου χώρου και περιβάλλοντος.
2. Αν τα δάπεδα εφάπτονται άμεσα με το έδαφος ή εφάπτονται με υπόγειο χώρο που δεν αερίζεται θεωρείται το ψυκτικό φορτίο μηδέν.

#### 5.4.4 Ψυκτικά φορτία από φωτισμό

Η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλεκτροφωτισμό ενός χώρου απορροφάται από τα δομικά στοιχεία του χώρου καθώς και τα αντικείμενα που υπάρχουν σε αυτόν και στη συνέχεια η θερμότητα που έχουν μεταφέρεται με συναγωγή στον αέρα. Τα ψυκτικά φορτία που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο είναι μόνο αισθητά και δίνονται από τον τύπο:

$$q = P \cdot f_u \cdot f_s \cdot (CLF) \quad (16)$$

Όπου:

P είναι η ηλεκτρική ισχύς των εγκατεστημένων φωτιστικών σε W

f<sub>u</sub> δείχνει το κλάσμα των φωτιστικών που βρίσκονται σε λειτουργία κατά τον υπολογισμό.

f<sub>s</sub> είναι ειδικός συντελεστής ο οποίος παίρνει την τιμή 1 για λαμπτήρες πυρακτώσεως και την τιμή 1. 2 για λαμπτήρες φωτισμού.

CLF είναι ο παράγων ψυκτικού φορτίου και αν ο φωτισμός λειτουργεί επί εικοσιτετραώρου βάσεως ή αν η κλιματιστική εγκατάσταση λειτουργεί μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας του χώρου τότε παίρνει την τιμή 1. Αλλιώς από τους πίνακες [14] βρίσκεται το CLF.

#### 5.4.5 Ψυκτικά φορτία από συσκευές

Οι διάφορες συσκευές που βρίσκονται σε έναν χώρο αποδίδουν αισθητό και λανθάνον θερμικό κέρδος. Το αισθητό κέρδος θεωρείται ότι δε μετατρέπεται απ'ευθείας σε ψυκτικό φορτίο γιατί ένα μέρος του έχει απορροφηθεί από τα στοιχεία του χώρου και μεταφέρεται στη συνέχεια με συναγωγή, ενώ αντιθέτως το λανθάνον είναι στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο και δίνεται αμέσως. Το αν θα υπάρχει λανθάνον φορτίο ή όχι εξαρτάται από τις συσκευές που βρίσκονται στο χώρο. Για παράδειγμα μια μαγειρική συσκευή έχει λανθάνον φορτίο αν δεν έχει απορροφητήρα, ενώ όταν έχει απορροφητήρα δεν έχει λανθάνον φορτίο. Δίνονται λοιπόν τα φορτία αυτά από τους τύπους:

$$\begin{aligned} q_s &= (HG)_s \cdot (CLF) \\ q_l &= (HG)_l \end{aligned} \quad (17)$$

Όπου:

$q_s$  είναι το αισθητό ψυκτικό φορτίο σε W

$q_l$  είναι το λανθάνον ψυκτικό φορτίο σε W

CLF είναι ο παράγων ψυκτικού φορτίου για συσκευές [14]

$(HG)_s$  είναι το αισθητό θερμικό κέρδος σε W

$(HG)_l$  είναι το λανθάνον θερμικό κέρδος σε W

$(HG)_s$  και  $(HG)_l$  δίνονται ενδεικτικά για διάφορα είδη συσκευών [14].

Ακόμα, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα για το σύστημα desiccant ενδιαφέρει και η ποσότητα της υγρασίας σε g/h.

#### 5.4.6 Ψυκτικά φορτία από ανθρώπους

Το ανθρώπινο σώμα κατά τις διάφορες δραστηριότητες του αποδίδει θερμότητα και υγρασία. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το αισθητό κέρδος δε μεταφέρεται αμέσως, ενώ το λανθάνον αντίθετα το θεωρείται στιγμιαίο ψυκτικό φορτίο. Υπολογίζονται έτσι τα φορτία:

$$\begin{aligned} q_s &= N \cdot (HG)_s \cdot (CLF) \\ q_l &= N \cdot (HG)_l \end{aligned} \quad (18)$$

Όπου:

$q_s$  είναι το αισθητό ψυκτικό φορτίο σε W

$q_l$  είναι το λανθάνον ψυκτικό φορτίο σε W

CLF είναι ο παράγων ψυκτικού φορτίου για συσκευές και βρίσκεται συναρτήσει των συνολικών ωρών στο χώρο καθώς και των ωρών μετά την είσοδο στο χώρο [14].

$(HG)_s$  και το  $(HG)_l$  είναι το αισθητό και το λανθάνον θερμικό κέρδος αντίστοιχα σε W N είναι το πλήθος των ατόμων στο χώρο.

Όπως επισημάνθηκε η ποσότητα υγρασίας είναι σημαντικό μέγεθος και σύμφωνα με το [2], για τους ανθρώπους η υγρασία που παράγεται ανά άτομο ποικίλει. Τελικά θεωρείται ως δεδομένο ότι η υγρασία που παράγεται από τα άτομα μιας τετραμελούς οικογένειας είναι 320g/h επομένως λαμβάνεται κατά μέσο όρο ότι η υγρασία που παράγεται ανά άτομο είναι 80g/h.

#### 5.4.7 Ψυκτικά φορτία λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρος

Όταν αναφέρεται η ανανέωση αέρα στα συμβατικά κλιματιστικά συστήματα, υπολογίζονται τα φορτία που προκύπτουν από την είσοδο ποσότητας εξωτερικού αέρα στο χώρο (που συνεπώς είναι θερμός) προκειμένου να εξασφαλιστεί ικανοποιητική ποιότητα αέρα όπως συζητήθηκε και στην αντίστοιχη παράγραφο. Όταν μελετάται ένα τυπικό σύστημα desiccant που όλος ο αέρας εισόδου στο χώρο είναι εξωτερικός, όπως στη παρούσα περίπτωση, είναι φανερό ότι η ποσότητα του αέρα που εισέρχεται έχει προηγουμένως ψυχθεί επομένως δε προσθέτει επιπλέον φορτίο. Επομένως στο σύστημα που μελετάται δεν υπάρχουν φορτία ανανέωσης αλλά μόνο διείσδυσης, που είναι τα φορτία που δημιουργούνται από την εισροή του αέρα από χαραμάδες ανοίγματα κ.α.. Για τα φορτία αυτά θεωρείται ότι το θερμικό κέρδος ταυτίζεται με το ψυκτικό φορτίο το οποίο αποδίδεται άμεσα στο χώρο. Έχουμε λοιπόν:

$$\begin{aligned}q_s &= 1.23 \cdot Q \cdot (\Delta t) \\q_l &= 3010 \cdot Q \cdot (\Delta W)\end{aligned}\tag{19}$$

Όπου :

$q_s$ ,  $q_l$ ,  $q_t$  είναι το αισθητό, λανθάνον και ολικό ψυκτικό φορτίο σε W.

Q είναι η παροχή εξωτερικού αέρα που απαιτείται για να διατηρηθούν συνθήκες υγιεινής (σε L/s).

$\Delta t$  είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισερχόμενου αέρα περιβάλλοντος και του αέρα του χώρου σε ° C. (η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος πρέπει να υπολογισθεί με βάση την ωριαία διακύμανση )

$\Delta W$  είναι η διαφορά λόγου υγρασίας μεταξύ εισερχόμενου αέρα περιβάλλοντος και του αέρα του χώρου σε kg υγρασίας/kg ξ.α

$\Delta h$  είναι η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εισερχόμενου αέρα περιβάλλοντος και του αέρα του χώρου σε kJ/kg ξ.α.

Και εδώ ενδιαφέρει η ποσότητα της υγρασίας σε g/h.

#### 5.4.8 Υπολογισμός παροχής και λόγου υγρασίας

Τελικά αθροίζοντας τα επιμέρους φορτία βρίσκουμε το συνολικό :

$$Q = \sum q_s \quad (20)$$

Αυτή είναι η βασική μεθοδολογία για τον υπολογισμό των φορτίων. Το επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός των φορτίων κάθε ώρας και ο προσδιορισμός του μέγιστου φορτίου (peak load) το οποίο θα πρέπει η κλιματιστική εγκατάσταση να αφαιρέσει ικανοποιητικά. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να υπολογισθεί η απαραίτητη παροχή του αέρα και η κατάλληλη θερμοκρασία εισόδου του αέρα, ώστε να απομακρύνονται τα θερμικά φορτία του χώρου και να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες όπως καθορίστηκαν στο δεύτερο βήμα. Ισχύει :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (21)$$

Όπου:

Q είναι το μέγιστο φορτίο (peak load) που θα πρέπει να αφαιρεθεί από τον χώρο

$C_p$  είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα στις συνθήκες που μελετώνται (θεωρούμε σταθερή την πίεση).

$\Delta t$  είναι η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής θερμοκρασίας του χώρου και της θερμοκρασίας του αέρα που εισάγεται.

m τέλος είναι η παροχή του αέρα που προκύπτει σε kg/s και για να μετατραπεί σε ογκομετρική παροχή πρέπει να βρεθεί η πυκνότητα ή ο ειδικός όγκος που αντιστοιχεί στις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Ακόμα, για να απομακρυνθούν τα φορτία υγρασίας και να ευρεθεί ο κατάλληλος λόγος υγρασίας του εισερχόμενου αέρα, θεωρείται ο ακόλουθος ισολογισμός μάζας της υγρασίας :

$$m_1 \cdot W_1 + m_w = m_2 \cdot W_2 \quad (22)$$

Όπου:

$m_1$ ,  $m_2$  είναι η παροχή του αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται αντίστοιχα στο χώρο και μετριέται σε kg/s

$W_1$ ,  $W_2$  είναι ο λόγος υγρασίας του αέρα που εισέρχεται και εξέρχεται αντίστοιχα στο χώρο και μετριέται σε g υγρασίας /kg ξ.α.

$m_w$  είναι η μάζα της υγρασίας που δημιουργείται στο χώρο και μετριέται σε g/s

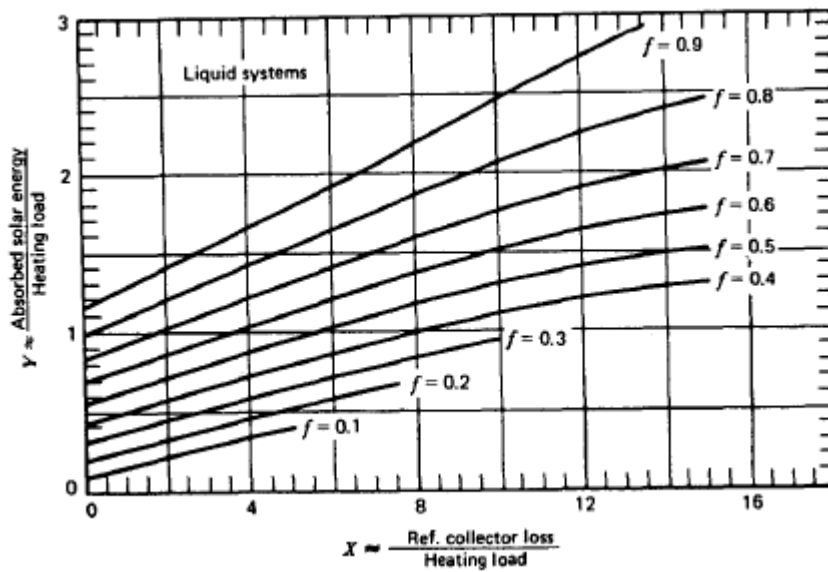
## 5.5 Μέθοδος των καμπυλών $f/f$ -chart για συστήματα υγρού

Η μέθοδος των καμπυλών  $f$  αυτή είναι μια συσχέτιση με την οποία γίνεται εκτίμηση του ποσοστού της κάλυψης των θερμικών αναγκών που παρέχει το ηλιακό σύστημα ανά μήνα, βρίσκεται δηλαδή η μηνιαία απόδοση ως συνάρτηση της επιφάνειας του ηλιακού πεδίου.

Το κλάσμα του μηνιαίου φορτίου θέρμανσης νερού δίνεται από την σχέση:

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3 \quad (23)$$

Ακόμα μπορεί να προσδιοριστεί από το παρακάτω σχήμα για συστήματα υγρού:



Σχήμα 5.5.1 Καμπύλες  $f$  για συστήματα υγρού

Προκειμένου να προσδιοριστεί το κλάσμα  $f$  του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιούνται οι παρακάτω αδιάστατες μεταβλητές:

$$X = F_R U_L \frac{F_R'}{F_R} (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta \tau \frac{A_c}{L}$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \frac{F_R'}{F_R} \frac{(\overline{\tau \alpha})}{(\tau \alpha)_n} \overline{H}_T N \frac{A_c}{L} \quad (24)$$

Όπου:

$F_R U_L$ ,  $F_R(\tau\alpha)_n$ : Χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη που έχει επιλεγθεί, τα οποία βρίσκονται από τις σελίδες των κατασκευαστών.

$A_c$  : Επιφάνεια επίπεδων ηλιακών συλλεκτών

$\frac{F_R'}{F_R}$  : Λόγος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συστήματος συλλέκτη εναλλάκτη προς τον αντίστοιχο παράγοντα του συλλέκτη. Ο λόγος αυτός δείχνει την πτώση της απόδοσης συστήματος συλλέκτη εναλλάκτη, λόγω της παρουσίας του εναλλάκτη.

$T_{ref}$  : Θερμοκρασία αναφοράς 100°C

$\overline{T_a}$  : Μηνιαίως μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ημέρας.

$\Delta \tau$  : Διάρκεια του μήνα σε sec.

$\overline{H_T}$  : Μηνιαίως μέση ακτινοβολία ημέρας που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη ανά μονάδα επιφανείας ( $J/m^2 \text{day}$ ) και η μέθοδος υπολογισμού θα παρουσιασθεί παρακάτω.

N: Πλήθος ημερών του μήνα

$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$  : Λόγος του μηνιαίως μέσου γινομένου διαπερατότητας – απορροφητικότητας προς το αντίστοιχο γινόμενο κάθετου πρόσπτωσης. Για συλλέκτη στην Ελλάδα με βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό λαμβάνεται 0.93 το χειμώνα και 0.89 το καλοκαίρι [13].

$L$  : Μηνιαίο ολικό θερμικό φορτίο (J). Θα υπολογισθεί από τη θερμότητα που παίρνει το ρεύμα αναγέννησης καθώς περνάει μέσα από τον εναλλάκτη υγρού-αέρα.



### 5.5.1 Υπολογισμός του $\overline{H_T}$

Για τον παρακάτω υπολογισμό είναι απαραίτητα δεδομένα όπως το γεωγραφικό πλάτος, το αζιμούθιο επιφάνειας  $\gamma$  καθώς και βασικά δεδομένα όπως η ηλιακή απόκλιση  $\delta$ , και η μέση ημέρα [13].

Τα βήματα που θα ακολουθηθούν είναι τα εξής:

1. Υπολογισμός της μηνιαίας μέσης τιμής ημέρας της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας [8]

$$\overline{H}_0 = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot \left(1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right) \cdot \left(\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta\right) \quad (25)$$

Όπου  $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$  και το  $\omega_s$  υπολογίζεται [10]:

$$\cos\omega_s = -\tan\Phi \cdot \tan\delta \quad (26)$$

2. Υπολογισμός της μηνιαίας μέσης ολικής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου

$$\overline{H} = 4.348 + 2.676 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot D - 86.410\right) \quad (27)$$

Όπου D είναι η μέση μέρα κάθε μήνα.

Από τον τύπο αυτό υπολογίζεται με καλή προσέγγιση η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου [13].

3. Υπολογισμός του μηνιαίως μέσου δείκτη αιθριότητας [10]

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_0} \quad (28)$$

4. Υπολογισμός  $\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}$  και εύρεση  $\overline{H}_d$

Από τη συσχέτιση που ανέπτυξαν οι Collares –Pereira and Rabl ισχύει ότι:

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 0.775 + 0.00653 \cdot (\omega_s - 90) - [0.505 + 0.00455 \cdot (\omega_s - 90)] \cdot \cos(115 \cdot \overline{K_T} - 103) \quad (29)$$

Για συνηθισμένο έδαφος είναι  $\rho_g=0.2$  [10]

Και από το λόγο αυτό βρίσκεται η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία:

$$\bar{H}_d = \bar{H} \cdot \left( \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \quad (30)$$

5. Υπολογισμός του μηνιαίου μέσου λόγου ακτινοβολίας  $\bar{R}_b$  και της μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου  $\bar{H}_T$  [10]

Υπολογίζεται πρώτα το  $\bar{R}_b$  από τη σχέση:

$$\bar{R}_b = \frac{\bar{H}_{bT}}{\bar{H}_b} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \cdot \omega'_s \cdot \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \cdot \omega_s \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta} \quad (31)$$

και

$$\omega'_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \\ \arccos(-\tan(\phi - \beta) \cdot \tan \delta) \end{array} \right. \quad (32)$$

Και στη συνέχεια:

$$\bar{H}_T = \bar{H} \cdot \left( 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \cdot \bar{R}_b + \bar{H}_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H} \cdot \rho_g \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (33)$$

## 5.6 Επιλογή του εξοπλισμού που θα απαρτίζει το σύστημα

Μετά τον υπολογισμό των φορτίων και της παροχής του αέρα μπορεί να επιλεγεί ο εξοπλισμός του συστήματος και οι κατάλληλες διαστάσεις αυτού. Είναι αναγκαίο να τονισθεί ότι η επίδοση ενός τέτοιου συστήματος επηρεάζεται πέρα από την αποτελεσματικότητα του τροχού από την αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη, των υγραντήρων και τη θερμοκρασία αναγέννησης και για το λόγο αυτό πρέπει να δοθεί η δέουσα προσοχή στην επιλογή όλων των υποσυστημάτων.

### 5.6.1 Επιλογή του τροχού desiccant

Πρέπει να επιλεγεί ποιο θα είναι το υλικό του τροχού ώστε να είναι το πιο κατάλληλο και αποτελεσματικό για την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί. Στο εμπόριο παρατηρείται ότι ευρέως χρησιμοποιούνται οι τροχοί με silica gel, molecular sieve αλλά και κάποιοι με lithium chloride. Συνοπτικά θα παρατεθούν κάποια χαρακτηριστικά τους που ενδεχομένως βοηθήσουν στην επιλογή.

Το silica gel χρησιμοποιείται πολύ σε βιομηχανικές εφαρμογές, ενώ είναι κατάλληλο και για όλες τις άλλες εφαρμογές, κάτι που δικαιολογεί το γεγονός ότι είναι το πιο διαδεδομένο υλικό. Είναι πολύ πιο αποδοτικό από το molecular sieve σε σχετικές υγρασίες από 60% και πάνω [15], ενώ

προτιμάται όταν είναι επιθυμητά χαμηλά σημεία δρόσου και όταν τα ρεύματα αέρα είναι σχεδόν κορεσμένα. Αναγεννάται αποδοτικά σε θερμοκρασίες πάνω από 100° C ενώ μπορεί να αναγεννηθεί επαρκώς και στους 70 ° C [6].

Το molecular sieve είναι πιο αποδοτικό σε σχετικές υγρασίες κάτω από 50% [15] και συναντάται κυρίως σε εμπορικές χρήσεις. Επιλέγεται όταν ο εισερχόμενος αέρας είναι ξηρός ή και ζεστός και επιθυμείται χαμηλό σημείο δρόσου. Αναγεννάται πολύ καλά σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 130 ° C [6].

Το lithium chloride αναγεννάται και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες [6,8] έτσι ώστε να είναι κατάλληλο για αναγέννηση από πηγές θερμότητας όπως του ηλίου ή κάποια άλλη μη εκμεταλλεζόμενη θερμότητα. Σε υψηλή υγρασία αποδίδει καλύτερα από το silica gel.

Πρέπει να τονισθεί ωστόσο ότι τόσο στη βιβλιογραφία όσο και στο εμπόριο παρατηρείται ότι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό είναι το silica gel και συνήθως επιλέγεται αυτό για τις συνήθεις εφαρμογές που λόγω των ιδιοτήτων, του κόστους και της εμπορικής διαθεσιμότητάς του. Για πιο ιδιαίτερες εφαρμογές ο ενδιαφερόμενος μπορεί να στραφεί και σε άλλα υλικά.

Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι πρέπει να επιλεγεί και το ποσοστό του τροχού που θα χρησιμοποιείται για το ρεύμα που θα εισέλθει στο χώρο και αυτό για το ρεύμα αναγέννησης. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί λοιπόν ότι για βιομηχανικές χρήσεις το ποσοστό αυτό είναι 25/75 όπου το 25% αντιστοιχεί στην αναγέννηση και το 75% στο process air stream, ενώ για εμπορική χρήση το ποσοστό είναι 50/50 δηλαδή ο τροχός είναι χωρισμένος στη μέση.

Μετά από την επιλογή του υλικού του τροχού και του ποσοστού του ρεύματος αναγέννησης επόμενο βήμα είναι η επιλογή συγκεκριμένης εταιρείας και συγκεκριμένων διαστάσεων. Επειδή η απόδοση των τροχών desiccant επηρεάζεται από πάνω από 20 παράγοντες, οι εταιρείες παρέχουν συνήθως ένα λογισμικό που σταθεροποιεί κάποιους από αυτούς (τις υπόλοιπες τις εισάγει ο χρήστης) και υπολογίζει δεδομένα που αφορούν στην απόδοσή τους, και που είναι ικανά να βοηθήσουν στην επιλογή του πιο κατάλληλου τροχού. Αρκεί να τροφοδοτηθεί το σύστημα με τα παρακάτω βασικά δεδομένα:

#### **Ρεύμα εισόδου (process)**

- Θερμοκρασία αέρα εισόδου
- Υγρασία αέρα εισόδου
- Παροχή αέρα εισόδου

#### **Ρεύμα αναγέννησης (regeneration)**

- Θερμοκρασία κλιματιζόμενου χώρου (προαιρετικά)
- Υγρασία ρεύματος αναγέννησης
- Θερμοκρασία αναγέννησης
- Παροχή αέρα

Αν κάποια από αυτά δεν είναι γνωστά (συνήθης περίπτωση) τότε υποχρεωτικά πρέπει να γίνουν κάποιες υποθέσεις. Μετά την εισαγωγή των δεδομένων λαμβάνονται πληροφορίες όπως η

θερμοκρασία του αέρα μετά τον τροχό και η υγρασία του, η πτώση πίεσης μέσω του τροχού κ.α. από τα οποία πρέπει να επιλεγεί ο πιο κατάλληλος τροχός, και στο κατάλληλο μέγεθος. Άλλωστε όπως έχει ήδη τονισθεί ο σκοπός είναι να επιλέχθεί εκείνος ο τροχός που παρέχει την καλύτερη αφύγρανση για τα εκάστοτε δεδομένα, με το χαμηλότερο κόστος ενώ επίσης είναι επιθυμητή και χαμηλή πτώση πίεσης. Αυτοί οι τρεις παράγοντες συνήθως οδηγούν στην επιλογή.

### **5.6.2 Επιλογή του εναλλάκτη θερμότητας (αέρα-αέρα)**

Το επόμενο στοιχείο το οποίο θα πρέπει να επιλεγεί είναι ο εναλλάκτης. Έχοντας διαλέξει τον τροχό desiccant και επομένως γνωρίζοντας τις διαστάσεις του, ήδη έχει γίνει μια πρώτη εκτίμηση του μεγέθους του συνολικού συστήματος κάτι που θα βοηθήσει λίγο στην επιλογή της διάστασης του εναλλάκτη αλλά και στο είδος του (αν ληφθούν υπόψη και τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο). Στο εμπόριο παρατηρείται ότι συναντώνται συχνότερα οι πλακοειδείς εναλλάκτες και οι τροχούς ανάκτησης θερμότητας. Οι εταιρείες και σε αυτή την περίπτωση δίνουν μια εκτίμηση της απόδοσης του κάθε εναλλάκτη αλλά και λογισμικό που δίνοντάς του τα κατάλληλα δεδομένα υπολογίζει στοιχεία που βοηθούν στην επιλογή. Πιο συγκεκριμένα, σαν είσοδος πρέπει να δοθεί η θερμοκρασία, η υγρασία και η παροχή των δύο ρευμάτων (process air μετά τον τροχό desiccant και regeneration air μετά τον έμμεσο υγραντήρα και πριν το στοιχείο θέρμανσης για την αναγέννηση του τροχού), και επιλέγοντας κάποιο μοντέλο και τις διαστάσεις του κάθε φορά λαμβάνεται ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία και η υγρασία των ρευμάτων καθώς εξέρχονται από τον εναλλάκτη, καθώς και η πτώση πίεσης. Επειδή όμως η θερμοκρασία και η υγρασία μετά τον έμμεσο υγραντήρα δε είναι γνωστή αφού δεν έχει επιλεγεί ακόμα, γίνεται μια εκτίμηση τους σε εκείνο το σημείο. Ακόμα κάποιες εταιρείες υπολογίζουν και το οικονομικό όφελος από τη χρήση των εναλλακτών. Έτσι λοιπόν με αυτά τα δεδομένα μπορεί να επιλεγεί εκείνος ο εναλλάκτης που συνδυάζει αποδοτικότητα (ουσιαστικά η χαμηλή θερμοκρασία στο ρεύμα εισόδου είναι αυτή που απασχολεί περισσότερο), χαμηλότερο κόστος και χαμηλή πτώση πίεσης.

### **5.6.3 Επιλογή του άμεσου υγραντήρα**

Μετά και από την επιλογή του εναλλάκτη, ο υγραντήρας είναι εκείνο το στοιχείο που πρέπει να επιλεγεί προκειμένου να εξασφαλισθούν οι κατάλληλες συνθήκες του χώρου. Άλλωστε μεταξύ του υγραντήρα και του χώρου δε παρεμβάλλεται κάποιο άλλο στοιχείο του εξοπλισμού με αποτέλεσμα η επιλογή του άμεσου υγραντήρα να είναι καθοριστική. Στο εμπόριο παρατηρείται ότι οι υγραντήρες που απαντώνται συχνότερα είναι οι rigid media air coolers και οι υγραντήρες ψεκασμού και επειδή είναι διαθέσιμοι εμπορικά, καλό είναι να επιλεγεί κάποιος από αυτούς.

Το κριτήριο για την επιλογή του άμεσου υγραντήρα είναι η απόδοσή του, οι διαστάσεις του για τη παροχή που ενδιαφέρει και φυσικά το κόστος του. Η απόδοσή του δίνεται συνήθως και χρησιμοποιώντας τον τύπο **(1)** και γνωρίζοντας τις συνθήκες του αέρα εισόδου στον υγραντήρα, υπολογίζονται οι συνθήκες του αέρα που εξέρχεται από αυτόν και που πρόκειται να εισέλθει στο χώρο. Ο τύπος αυτός ισχύει και για τον λόγο υγρασίας και έτσι μπορεί να υπολογισθεί και η υγρασία που θα έχει ο αέρας. Έτσι εξετάζεται κάθε φορά αν ο υγραντήρας μπορεί να δημιουργήσει τις επιθυμητές συνθήκες.

Γνωρίζοντας την παροχή του αέρα και συνεπώς την ταχύτητά του στην επιφάνεια του υγραντήρα ελέγχεται αν ο υγραντήρας λειτουργεί για την παροχή αυτή και αν ναι ποια είναι η

διάστασή του. Τώρα λοιπόν εξετάζεται αν η διάσταση αυτή είναι τέτοια ώστε να ικανοποιεί το σύστημά ή αν είναι πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα να μην είναι κατάλληλη. Ακόμα να σημειωθεί ότι κάποιες εταιρείες παρέχουν λογισμικό για την επιλογή των διαστάσεων των υγραντήρων. Επομένως το θέμα της διάστασης είναι πολύ σημαντικό κριτήριο επιλογής. Τέλος και το κόστος είναι επιθυμητό να είναι χαμηλό σε συνδυασμό με τα προηγούμενα.

#### **5.6.4 Επιλογή του έμμεσου υγραντήρα**

Γενικά παρουσιάζονται πολλές ομοιότητες με τον άμεσο υγραντήρα. Και εδώ το βασικό κριτήριο επιλογής είναι η απόδοση, οι διαστάσεις και το κόστος. Με την ίδια λογική όσο μεγαλύτερη απόδοση τόσο καλύτερα (και πάλι έχοντας την απόδοση γίνεται εκτίμηση της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα ) και με βάση την παροχή επιλέγονται οι διαστάσεις του έμμεσου υγραντήρα που είναι κατάλληλος για το σύστημά. Φυσικά και εδώ δίνεται έμφαση στο κόστος.

#### **5.6.5 Επιλογή του συστήματος θέρμανσης: ηλιακού συλλέκτη – δεξαμενής - εναλλακτών- - εναλλακτική πηγή θερμότητας**

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο υπάρχουν δύο κύρια είδη συλλεκτών: οι επίπεδοι και οι συγκεντρωτικοί. Υπενθυμίζεται ότι οι δεύτεροι παράγουν υψηλότερες θερμοκρασίες όντας βέβαια και πιο ακριβοί στην απόκτηση αλλά και στην συντήρηση. Μιας και στην προκειμένη περίπτωση γίνεται εφαρμογή συστήματος κλιματισμού με τροχό desiccant με silica gel που αναγεννάται επαρκώς και στους 70 ° C είναι κατανοητό ότι η επιλογή του συγκεντρωτικού συλλέκτη θα ήταν μάλλον άστοχη. Έτσι χρησιμοποιούνται επίπεδοι. Ακόμα, νωρίτερα τονίστηκε ότι σχεδόν πάντα οι συλλέκτες υγρού έχουν καλύτερες αποδόσεις από τους αντίστοιχους συλλέκτες αέρα, και για αυτό για μια τέτοια εφαρμογή προτείνεται η χρήση συλλεκτών υγρού είτε αυτών της κλασικής μορφής είτε των συλλεκτών κενού (evacuated tubes). Προκειμένου να επιλεγεί το είδος, το μοντέλο, και ο αριθμός των συλλεκτών πρέπει πρώτα να έχει αποσαφηνιστεί η παροχή του αέρα που θα χρειαστεί να θερμανθεί, επομένως και οι ποσοτικές ανάγκες σε ζεστό νερό ανά ημέρα. Με αυτό τον τρόπο θα επιλεγεί το μέγεθος (δηλαδή η συλλεκτική επιφάνεια) και ο αριθμός των συλλεκτών που χρειάζονται. Ακόμα πρέπει με βάση τα διαγράμματα απόδοσης των συλλεκτών της κάθε εταιρείας να επιλεγεί ένας με υψηλή απόδοση γιατί όπως έχει ήδη αναφερθεί για τη θερμοκρασία που πρέπει να επιτευχθεί ένας φτηνός συλλέκτης δε θα ήταν επαρκής.

Για την επιλογή της δεξαμενής αυτό που πρέπει να είναι γνωστό είναι τα λίτρα που πρόκειται να αποθηκεύει, δηλαδή η χωρητικότητά της. Ακόμα είναι επιθυμητή καλή μόνωση προκειμένου να μην υπάρχει μετάδοση θερμότητας προς το περιβάλλον και συνεπώς απώλειες.

Όσον αφορά την επιλογή των εναλλακτών, ο εναλλάκτης υγρού-υγρού συνήθως είναι ενσωματωμένος με τη δεξαμενή οπότε δεν απασχολεί ιδιαίτερα. Ο εναλλάκτης υγρού αέρα είναι συνήθως σωλήνες και επιλέγεται με βάση τις διαστάσεις του συστήματος και πιο συγκεκριμένα του κλειστού κυκλώματος μέσα από τον οποίο θα περάσει ο αέρας, καθώς και με βάση την απόδοση και για το λόγο αυτό τοποθετούνται όσες σειρές σωλήνων (coils) χρειάζονται.

### **5.6.6 Επιλογή του ανεμιστήρα**

Για την επιλογή του ανεμιστήρα χρειάζεται να εκτιμηθούν ορισμένες παράμετροι και με βάση αυτές να γίνει η επιλογή. Το πρώτο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η απαιτούμενη παροχή αέρα και η πίεση σε όλο το σύστημα, με βάση την οποία κιόλας θα γίνει ο διαχωρισμός αν θα χρησιμοποιηθεί αξονικός ή φυγοκεντρικός ανεμιστήρας (όπως έχει ήδη ειπωθεί οι φυγοκεντρικοί δίνουν μεγαλύτερες πιέσεις). Η θερμοκρασία διαμέσου και γύρω από τον ανεμιστήρα γενικά είναι παράγοντας που απασχολεί, επειδή όμως εδώ προορίζεται για κλιματισμό και δεν παρουσιάζονται υψηλές θερμοκρασίες γενικά, δε θα ληφθεί υπόψη. Ακόμα, και το επίπεδο θορύβου είναι κάτι που πρέπει να διατηρείται σε επιθυμητό επίπεδο. Επομένως η παροχή, η πίεση και ο θόρυβος αρκούν για την επιλογή του ανεμιστήρα.

### **5.7 Επιλογή του συστήματος ελέγχου (controller)**

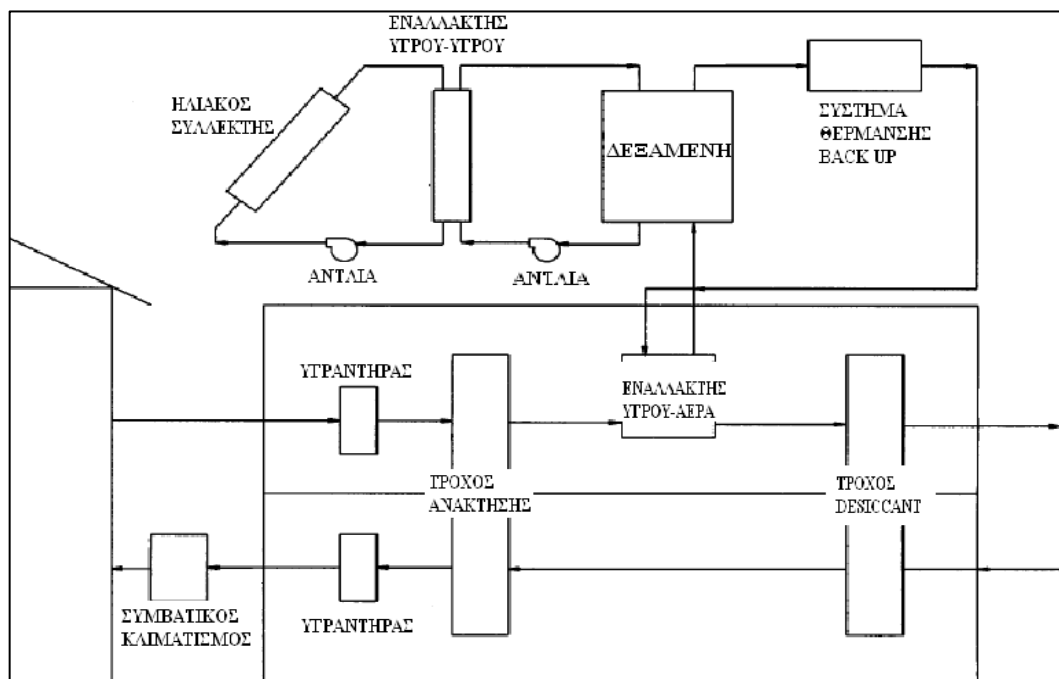
Όσον αφορά την επιλογή του συστήματος ελέγχου, αυτό εξαρτάται αρχικά από την εφαρμογή και τις απαιτήσεις ακρίβειας που θέτονται. Είναι σαφές ότι αν τα όρια θερμοκρασίας και υγρασίας είναι στενά ή δεν είναι επιθυμητή η μεταβολή στη τιμή της θερμοκρασίας και της υγρασίας λόγω κάποιας πολύ απαιτητικής εφαρμογής, τότε θα πρέπει και το σύστημα ελέγχου που θα επιλεγεί να είναι μεγάλης ακρίβειας. Ακόμα θα πρέπει ο controller να μπορεί να δεχτεί ως είσοδο τις πολλές παραμέτρους που εξ'ορισμού πρέπει να λάβει κανείς υπόψη σε ένα σύστημα desiccant και θα πρέπει να έχει επαρκείς εξόδους προς τα εξωτερικά συστήματα ώστε να μπορεί να ενεργοποιεί, απενεργοποιεί ή ρυθμίζει τα αντίστοιχα στοιχεία του εξοπλισμού. Τέλος θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα προγραμματισμού, γιατί ένα σύστημα όπως αυτό που εξετάζεται δε μπορεί να ελέγχεται από σύστημα ελέγχου τύπου on-off.

Όσον αφορά στη θέση των αισθητηρίων του controller που θα εγκατασταθεί, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι πρέπει να τοποθετηθούν σχετικά κοντά στη παροχή του αέρα στο χώρο, έτσι ώστε όταν τα αισθητήρια του συστήματος ελέγχου ειδοποιούν για κάποια ρύθμιση και συνεπώς αλλαγή της θερμοκρασίας ή της υγρασίας του αέρα, η αλλαγή αυτή στις συνθήκες θα πρέπει να μην αργεί να ανιχνευτεί από τα αυτά γιατί τότε θα συνεχίσει να δίνεται σήμα από τον controller για περαιτέρω ρύθμιση ενώ μπορεί πλέον να μη χρειάζεται.

# 6

## Υλοποίηση συστήματος desiccant

Μετά τη μεθοδολογική προσέγγιση του ζητήματος του σχεδιασμού ενός συστήματος desiccant, μπορεί πλέον να προσεγγισθεί πρακτικά το πρόβλημα ακολουθώντας τα βήματα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο. Για να γίνει αυτό, θεωρείται η απλή περίπτωση ενός κτιρίου του Εργαστηρίου Ηλιακών & άλλων Ενεργειακών Συστημάτων ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ». Με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κτιρίου θα γίνει προσπάθεια να εφαρμοσθούν όσα έχουν αναφερθεί ως τώρα. Εξετάζεται λοιπόν το ζήτημα της διαστασιολόγησης συστήματος desiccant σε απλή εφαρμογή. Η τελική μορφή του συστήματος που θα προκύψει θα είναι η εξής:



Σχήμα 6.1 Απεικόνιση συστήματος ηλιακού κλιματισμού με αφυγραντικά μέσα(desiccant)

Το κτίριο της εφαρμογής είναι ένας χώρος περίπου 103,5 m<sup>2</sup> και σε αυτόν απασχολούνται μόνιμα τέσσερα άτομα σε δραστηριότητες γραφείου κυρίως.

## **6.1 Καθορισμός στόχων που πρέπει να πληρεί το σύστημα desiccant**

Όπως ήδη έχει ειπωθεί, ο χώρος που πρόκειται να μελετηθεί προκειμένου να εγκατασταθεί το ηλιακό σύστημα desiccant είναι χώρος γραφείου χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις και συνεπώς ο στόχος του συστήματος είναι να εξασφαλίζει στα άτομα που απασχολούνται σε αυτόν άνεση. Φυσικά ενδιαφέρει και το κόστος του συστήματος να βρίσκεται τουλάχιστον μέσα σε λογικά πλαίσια. Άλλωστε δε πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι όλα αυτά τα συστήματα προορίζονται για ιδιωτική χρήση και σαφώς η επιλογή θα γίνει με οικονομοτεχνικά κριτήρια. Ωστόσο στο επίπεδο της διερεύνησης που πραγματοποιείται θα εξεταστούν και εναλλακτικές λύσεις που ενδεχομένως να μην είναι τόσο συμφέρουσες, έτσι ώστε να αξιολογηθούν τα αποτελέσματά τους.

## **6.2 Καθορισμός ορίων εντός των οποίων ικανοποιούνται οι στόχοι του συστήματος**

Λόγω της απλής εφαρμογής που μελετάται, θεωρείται ότι οι στόχοι του συστήματος ικανοποιούνται μέσα στα όρια του διαγράμματος άνεσης. Προκειμένου να γίνουν οι υπολογισμοί λαμβάνεται ένα σημείο του διαγράμματος 3.2.1 ενδεικτικά, θερμοκρασίας 24 °C και λόγου υγρασίας 10 g νερού/kg ξηρού αέρα.

## **6.3 Προσδιορισμός των ακραίων καιρικών συνθηκών**

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο και επειδή το εργαστήριο βρίσκεται στην Αθήνα ισχύει ότι οι ακραίες καιρικές συνθήκες είναι:

- ανώτατη θερμοκρασία 37,4 °C το καλοκαίρι, κατώτατη θερμοκρασία -0,4 °C το χειμώνα
- λόγος υγρασίας 16,6 g νερού/kg ξηρού αέρα ή σημείο δρόσου 21,9 °C



## 6.4 Υπολογισμός των φορτίων του χώρου/ μέθοδος CLTD/ CLF

Θα εφαρμοσθεί η μέθοδος που έχει περιγραφεί νωρίτερα. Οι υπολογισμοί που θα πραγματοποιηθούν θα γίνουν θεωρώντας ότι έξω παρατηρούνται οι ακραίες συνθήκες. Ακόμα θεωρείται ότι οι ακραίες αυτές συνθήκες παρατηρούνται τον Ιούλιο (λογική παραδοχή). Από το [14] λαμβάνεται ότι η ημερήσια διακύμανση για τον Ιούλιο είναι  $\Delta R=11,2^\circ \text{C}$ . Ισχύει :

### 6.4.1 Ψυκτικά φορτία από εξωτερικές οροφές και εξωτερικούς τοίχους

Ο χώρος που μελετάται είναι ενιαίος και η επιφάνεια της οροφής είναι  $103,5 \text{ m}^2$ . Ανατρέχοντας στους πίνακες και όπως περιγράφηκε πριν από τις σχέσεις (8), (9) λαμβάνονται τα κατάλληλα δεδομένα και υπολογίζεται το ψυκτικό φορτίο της οροφής.

**Πίνακας 6.4.1 Υπολογισμοί φορτίων από εξωτερικές οροφές**

ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΟΡΟΦΕΣ	
	q (W)
1:00	817.671
2:00	674.220
3:00	530.769
4:00	459.043
5:00	315.592
6:00	243.867
7:00	315.592
8:00	459.043
9:00	745.945
10:00	1104.573
11:00	1534.926
12:00	1965.279
13:00	2323.906
14:00	2682.534
15:00	2897.710
16:00	2969.436
17:00	2969.436
18:00	2754.259
19:00	2467.357
20:00	2108.730
21:00	1750.102
22:00	1463.200
23:00	1176.298
0:00	1032.847

**Πίνακας 6.4.2 Δεδομένα υπολογισμών για εξωτερικές οροφές**

U(W/m <sup>2</sup> °C)	0.693
A(m <sup>2</sup> )	103.5
LM	0.5
K	1
T <sub>R</sub> (° C)	24
T <sub>O</sub> (° C)	37.4-(11.2/2)=31.8
f	1

Το κτίριο που μελετάται έχει τέσσερις τοίχους ο καθένας από τους οποίους είναι προσανατολισμένος σε αντίστοιχο σημείο του ορίζοντα. Στον ένα από αυτούς υπάρχουν δύο παράθυρα η επιφάνεια των οποίων θα αφαιρεθεί και στον άλλο υπάρχει τμήμα σιδερένιου τοίχου και η πόρτα εισόδου στο χώρο. Το μήκος των δύο τοίχων είναι 9m και των άλλων δύο 11,5 m, ενώ το ύψος είναι 4,5m.

Όπως περιγράφηκε πριν από τις σχέσεις (8), (10) ισχύει :

**Πίνακας 6.4.3 Δεδομένα υπολογισμών για εξωτερικούς τοίχους**

	ΒΟΡΕΙΟΣ	ΒΟΡΕΙΟΣ ΣΙΔΕΡΕΝΙΟΣ- ΠΟΡΤΑ	ΔΥΤΙΚΟΣ	ΝΟΤΙΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ
U(W/m <sup>2</sup> ·C)	0.63	0.732	0.63	0.63	0.63
A(m <sup>2</sup> )	46.55	5.2	40.5	51.75	36.5
LM	0	0	0	0.5	0
K	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
T <sub>R</sub> (° C)	24	24	24	24	24
T <sub>O</sub> (° C)	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8
GROUP	A	G	A	A	A

**Πίνακας 6.4.3 Υπολογισμοί φορτίων από εξωτερικούς τοίχους**

ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ						
	ΒΟΡΕΙΟΣ	ΒΟΡΕΙΟΣ ΣΙΔΕΡΕΝΙΟΣ- ΠΟΡΤΑ	ΔΥΤΙΚΟΣ	ΝΟΤΙΟΣ	ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΣ	ΣΥΝΟΛΟ
	q (W)	q (W)	q (W)	q (W)	q (W)	q (W)
1:00	266.871	19.793	348.280	370.853	298.935	1304.733
2:00	266.871	17.319	348.280	370.853	283.988	1287.312
3:00	266.871	14.845	348.280	370.853	283.988	1284.838
4:00	247.809	14.845	331.695	370.853	283.988	1249.191
5:00	247.809	14.845	331.695	349.662	269.042	1213.052
6:00	247.809	17.319	331.695	349.662	269.042	1215.526
7:00	247.809	24.742	315.110	328.470	254.095	1170.226
8:00	228.747	27.216	315.110	328.470	254.095	1153.638
9:00	228.747	27.216	298.526	328.470	239.148	1122.106
10:00	228.747	32.164	298.526	307.279	239.148	1105.863
11:00	228.747	34.638	281.941	307.279	239.148	1091.752
12:00	228.747	39.587	281.941	307.279	254.095	1111.647
13:00	228.747	44.535	265.356	307.279	254.095	1100.011
14:00	228.747	47.009	265.356	307.279	269.042	1117.432
15:00	228.747	47.009	265.356	307.279	269.042	1117.432
16:00	228.747	49.483	265.356	307.279	283.988	1134.853
17:00	228.747	49.483	265.356	328.470	283.988	1156.044
18:00	228.747	51.957	281.941	328.470	283.988	1175.103
19:00	247.809	44.535	281.941	349.662	298.935	1222.881
20:00	247.809	34.638	298.526	349.662	298.935	1229.569
21:00	247.809	29.690	315.110	370.853	298.935	1262.398
22:00	247.809	27.216	331.695	370.853	298.935	1276.508
23:00	266.871	24.742	331.695	370.853	298.935	1293.096
0:00	266.871	22.267	348.280	370.853	298.935	1307.207

#### 6.4.2 Ψυκτικά φορτία από παράθυρα (υαλοπίνακες)

Στον ανατολικό τοίχο υπάρχουν δύο παράθυρα και το καθένα από αυτά έχει επιφάνεια 2m<sup>2</sup>. Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε νωρίτερα και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (11), (12), (13), (14) υπολογίζονται τα παρακάτω δεδομένα.

Πίνακας 6.4.4 Δεδομένα υπολογισμών για υαλοπίνακες

U(W/m <sup>2</sup> °C)	3.1
A(m <sup>2</sup> )	4
SC	0.95
SHGF	681
T <sub>R</sub> (° C)	24
T <sub>O</sub> (° C)	37.4-(11.2/2)=31.8

Πίνακας 6.4.5 Υπολογισμοί φορτίων από υαλοπίνακες

ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ			
	q αγ (W)	q ηλ (W)	q ολ (W)
1:00	60.760	77.634	138.394
2:00	48.360	51.756	100.116
3:00	35.960	51.756	87.716
4:00	35.960	51.756	87.716
5:00	35.960	51.756	87.716
6:00	35.960	1216.266	1252.226
7:00	35.960	1863.216	1899.176
8:00	48.360	2070.240	2118.600
9:00	60.760	1966.728	2027.488
10:00	73.160	1604.436	1677.596
11:00	97.960	1060.998	1158.958
12:00	110.360	698.706	809.066
13:00	135.160	621.072	756.232
14:00	135.160	569.316	704.476
15:00	147.560	517.560	665.120
16:00	147.560	439.926	587.486
17:00	135.160	362.292	497.452
18:00	135.160	284.658	419.818
19:00	122.760	155.268	278.028
20:00	97.960	129.390	227.350
21:00	85.560	129.390	214.950
22:00	73.160	103.512	176.672
23:00	73.160	77.634	150.794
0:00	60.760	77.634	138.394

### 6.4.3 Ψυκτικά φορτία από εσωτερικούς τοίχους, δάπεδα και οροφές

Ο χώρος του εργαστηρίου είναι ισόγειος και δεν υπάρχει άλλος όροφος από πάνω, ενώ δε συνορεύει με άλλο κτίριο από δίπλα. Κατά συνέπεια δεν υπάρχουν φορτία από εσωτερικούς τοίχους και οροφές ενώ το δάπεδο εφάπτεται με το έδαφος και έτσι δεν υπάρχει καθόλου ψυκτικό φορτίο.

### 6.4.4 Ψυκτικά φορτία από φωτισμό και συσκευές

Στο χώρο του εργαστηρίου υπάρχουν 34 λάμπες φθορισμού των 36W η καθεμία, οι οποίες λειτουργούν συνεχώς αλλά μόνο κατά τις ώρες λειτουργίας του χώρου. Ακόμα όσον αφορά στις συσκευές, στο χώρο λειτουργούν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου 5 ηλεκτρονικοί υπολογιστές και ένα ψυγείο που λειτουργεί σε μόνιμη βάση. Θεωρείται ότι ο ένας υπολογιστής έχει ισχύ 500W και το ψυγείο 23W (λόγω της μικρής διάστασής του). Οι συσκευές δεν έχουν απορροφητήρα και δε παράγουν φορτίο υγρασίας και το κτίριο λειτουργεί 12 ώρες από τις 9:00 το πρωί. Προκύπτουν λοιπόν τα παρακάτω δεδομένα:

**Πίνακας 6.4.6 Δεδομένα υπολογισμών για φωτισμό**

P(W)	1224
$f_u$	1
$f_s$	1.2
CLF	1

**Πίνακας 6.4.7 Δεδομένα υπολογισμών για συσκευές**

HG υπολ(W)	2500
HG ψυγ(W)	23

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (15), (16) υπολογίζουμε:

**Πίνακας 6.4.8 Υπολογισμοί φορτίων από φωτισμό-συσκευές**

ΦΩΤΙΣΜΟΣ		ΣΥΣΚΕΥΕΣ		
	q (W)	q υπολ(W)	q ψυγ(W)	q ολ(W)
1:00	1468.800	525.000	23.000	548.000
2:00	1468.800	450.000	23.000	473.000
3:00	1468.800	400.000	23.000	423.000
4:00	1468.800	350.000	23.000	373.000
5:00	1468.800	300.000	23.000	323.000
6:00	1468.800	275.000	23.000	298.000
7:00	1468.800	225.000	23.000	248.000
8:00	1468.800	200.000	23.000	223.000
9:00	1468.800	175.000	23.000	198.000
10:00	1468.800	1550.000	23.000	1573.000
11:00	1468.800	1725.000	23.000	1748.000
12:00	1468.800	1875.000	23.000	1898.000
13:00	1468.800	1975.000	23.000	1998.000
14:00	1468.800	2050.000	23.000	2073.000
15:00	1468.800	2100.000	23.000	2123.000
16:00	1468.800	2150.000	23.000	2173.000
17:00	1468.800	2200.000	23.000	2223.000
18:00	1468.800	2225.000	23.000	2248.000
19:00	1468.800	2275.000	23.000	2298.000
20:00	1468.800	2300.000	23.000	2323.000
21:00	1468.800	2325.000	23.000	2348.000
22:00	1468.800	950.000	23.000	973.000
23:00	1468.800	775.000	23.000	798.000
0:00	1468.800	625.000	23.000	648.000

#### 6.4.5 Ψυκτικά φορτία από ανθρώπους

Στο χώρο εργάζονται τέσσερα άτομα που βρίσκονται στο χώρο από τις 9:00 το πρωί. Η εργασία τους είναι καθιστική. Χρησιμοποιώντας τη σχέση (18), προκύπτουν τα παρακάτω:

**Πίνακας 6.4.9 Δεδομένα υπολογισμών για φορτία από ανθρώπους**

(HG) <sub>s</sub> (W)	1224
(HG) <sub>l</sub> (W)	1
N	4

**Πίνακας 6.4.10 Υπολογισμοί φορτίων από ανθρώπους**

ΑΝΘΡΩΠΟΙ		
	q <sub>s</sub> (W)	q <sub>l</sub> (W)
1:00	75.000	0.000
2:00	63.000	0.000
3:00	57.000	0.000
4:00	48.000	0.000
5:00	42.000	0.000
6:00	36.000	0.000
7:00	33.000	0.000
8:00	27.000	0.000
9:00	24.000	300.000
10:00	165.000	300.000
11:00	192.000	300.000
12:00	210.000	300.000
13:00	225.000	300.000
14:00	237.000	300.000
15:00	243.000	300.000
16:00	252.000	300.000
17:00	258.000	300.000
18:00	264.000	300.000
19:00	267.000	300.000
20:00	273.000	300.000
21:00	276.000	0.000
22:00	135.000	0.000
23:00	108.000	0.000
0:00	90.000	0.000

Ακόμα, επειδή ενδιαφέρει και η ποσότητα υγρασίας, τις ώρες που λειτουργεί το εργαστήριο και βρίσκονται οι τέσσερις άνθρωποι, ισχύει :

$$m_w = 4 \cdot 80 \left( \frac{g}{h \cdot person} \right) = 320g/h$$

#### **6.4.6 Ψυκτικά φορτία λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρος**

Από την ASHRAE για το χώρο του εργαστηρίου λαμβάνεται ως δεδομένο ότι προκειμένου να πληρούνται οι συνθήκες υγιεινής, πρέπει ο εισερχόμενος φρέσκος αέρας να είναι 10L/s/άτομο, άρα στο χώρο που μελετάται πρέπει να είναι 40L/s. Όμως, επειδή εξετάζουμε σύστημα με τροχό desiccant και ο αέρας που εισέρχεται για να κλιματίσει το χώρο είναι αέρας περιβάλλοντος, η ανανέωση είναι εξασφαλισμένη επομένως δεν υπάρχει φορτίο ανανέωσης. Ακόμα θεωρείται ότι το κτίριο είναι καλά μονωμένο και δεν υπάρχουν διαρροές. Επομένως δεν υπάρχει ούτε φορτίο διείσδυσης.

#### 6.4.7 Υπολογισμός παροχής και λόγου υγρασίας

Από τη σχέση (20) τελικά λαμβάνεται :

Πίνακας 6.4.11 Συνολικά φορτία

ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ		
	q ολ(W)	q1 (W)
1:00	4352.597	0
2:00	4066.447	0
3:00	3852.122	0
4:00	3685.750	0
5:00	3450.160	0
6:00	4514.419	0
7:00	5134.794	0
8:00	5450.081	0
9:00	5586.339	300
10:00	7094.832	300
11:00	7194.436	300
12:00	7462.792	300
13:00	7871.949	300
14:00	8283.242	300
15:00	8515.062	300
16:00	8585.574	300
17:00	8572.732	300
18:00	8329.980	300
19:00	8002.067	300
20:00	7630.449	300
21:00	7320.250	0
22:00	5493.180	0
23:00	4994.988	0
0:00	4685.248	0

Πρέπει να επισημανθεί ότι τελικά μόνο οι άνθρωποι δημιουργούν λανθάνον φορτίο, επομένως η συνολική παραγωγή υγρασίας θα είναι:

$$m_w = 320g/h = 0.0889g/s$$

Μετά τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου, επισημαίνεται ότι το μέγιστο φορτίο παρουσιάζεται στις 16:00 η ώρα και είναι Q<sub>max</sub>=8585,574 W. Στο φορτίο αυτό θα πρέπει η κλιματιστική εγκατάσταση να καταφέρνει να λειτουργεί αποδοτικά, και για το λόγο αυτό θα πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός της εγκατάστασης με βάση το μέγιστο αυτό φορτίο. Θεωρείται ότι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι 1003,5 J/kg K.

Από τη σχέση (21) και θέτοντας όπου  $Q$  το  $Q_{\max}$  ισχύει ότι :

$$m \cdot \Delta t = 8.556 \quad (34)$$

Επομένως το γινόμενο της παροχής επί τη διαφορά θερμοκρασίας πρέπει να είναι 8,556. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί η σημασία της επιλογής της κατάλληλης θερμοκρασίας εισόδου του αέρα και της παροχής (που σχετίζεται με την ταχύτητα του αέρα) προκειμένου να υπάρξει θερμική άνεση. Όπως έχει επισημανθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο δεν είναι επιθυμητή ούτε μέτρια παροχή που θα οδηγούσε σε πολύ κρύο αέρα εισόδου, ούτε μέτρια θερμοκρασία και πολύ μεγάλες ταχύτητες. Επομένως κάπου πρέπει να υπάρξει συμβιβασμός αυτών των δύο αντίθετων τάσεων. Ενδεικτικά παρουσιάζεται τι θα συμβεί αν ως αέρας εισόδου εισαχθεί μόνο η απαραίτητη ποσότητα για να έχουμε συνθήκες υγιεινής. Μετασχηματίζεται η παροχή της ανανέωσης από L/s σε kg/s και είναι απαραίτητη η πυκνότητα ή ο ειδικός όγκος του αέρα που για τις εξωτερικές θερμοκρασίες που ισχύουν βρίσκεται από τον ψυχομετρικό χάρτη ότι είναι  $v=0.903\text{m}^3/\text{kg}$ . Ισχύει λοιπόν:

$$Q = 40\text{L/s} \Rightarrow m = 0.044\text{kg/s}$$

Από την (23)  $\Delta t \approx 194^\circ\text{C}$  κάτι που όπως είναι αντιληπτό δεν είναι εφικτό, και οφείλεται στο ότι η παροχή ανανέωσης είναι πολύ μικρή και δεν αρκεί για να κλιματισθεί ο χώρος.

Άρα πρέπει αναγκαστικά ο αέρας που θα εισαχθεί και θα ψυχθεί να είναι ποσότητας μεγαλύτερης από αυτήν της ανανέωσης. Στο χώρο χρειαζόμαστε θερμοκρασία  $24^\circ\text{C}$ , επομένως θα γίνει η υπόθεση ότι ο εισερχόμενος αέρας θα έχει θερμοκρασία  $16,5^\circ\text{C}$ . Τελικά λαμβάνεται ότι  $\Delta t=7,5^\circ\text{C}$ . Όπως ειπώθηκε παραπάνω, έπρεπε να υπάρξει συμβιβασμός μεταξύ της παροχής του αέρα, που σχετίζεται με την ταχύτητα εισόδου του αέρα στο χώρο και της θερμοκρασίας του ώστε να εξασφαλιστούν συνθήκες άνεσης. Τελικά επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τιμή που είναι μια γενικά αποδεκτή θερμοκρασία σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία. Τότε :

$$m = 1.14\text{kg/s} \Rightarrow Q = 3706\text{m}^3/\text{h}$$

Για τη συγκεκριμένη παροχή και από τη σχέση (22) υπολογίζεται η υγρασία που πρέπει να έχει ο αέρας ώστε να παραλαμβάνει το φορτίο υγρασίας και να αφυγραίνει το χώρο. Υπενθυμίζεται ότι στο χώρο ο επιθυμητός λόγος υγρασίας είναι  $10\text{g/kg}$  ξ.α., και η παραγόμενη υγρασία στο χώρο  $0,0889\text{g/s}$ .

Με υπολογισμό προκύπτει ότι  $W_1=9,92\text{g/kg}$  ξ.α.



## 6.5 Επιλογή του εξοπλισμού που θα απαρτίζει το σύστημα

Αφού υπολογίσθηκε και η απαιτούμενη παροχή και η θερμοκρασία και υγρασία εισόδου μπορεί πλέον να γίνει η επιλογή των συστημάτων του εξοπλισμού. Ισχύουν τα εξής :

**Πίνακας 6.5.1 Δεδομένα κατάστασης**

ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΕΡΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΩΡΟ		ΑΕΡΑΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	37,4°C	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ	24°C
ΥΓΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	16.6 g/kg ξ.α	ΥΓΡΑΣΙΑ ΧΩΡΟΥ	10 g/kg ξ.α
ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	3706 m <sup>3</sup> /h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ	3706 m <sup>3</sup> /h
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	16,5°C	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ	70°C
ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΧΩΡΟ	9,92 g/kg ξ.α		

### 6.5.1 Επιλογή του τροχού desiccant

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, το υλικό που είναι πιο συνηθισμένο για χρήση στους τροχούς desiccant είναι το silica gel και επειδή είναι εμπορικά διαθέσιμο αλλά και λόγω του ότι η εφαρμογή που εξετάζεται δεν έχει κάποια ειδική απαίτηση είναι αυτό που επιλέγεται. Το βασικό στοιχείο επιλογής στη συνέχεια είναι η παροχή του αέρα προσαγωγής και με βάση αυτό θα επιλεγθούν οι τροχοί οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν με αυτήν. Ακόμα θεωρείται ότι η παροχή αέρα αναγέννησης είναι όση και η παροχή εισόδου και επομένως ο τροχός είναι χωρισμένος στη μέση. Από τη στιγμή που έχει επιλεγθεί τροχός με silica gel που όπως έχει προαναφερθεί αναγεννάται επαρκώς στους 70°C και δεδομένου ότι πρόκειται να εφαρμοσθεί ηλιακό σύστημα για την αναγέννηση, θεωρείται ότι η θερμοκρασία αναγέννησης θα είναι 70°C. Επειδή για τις επιλογές που θα γίνουν αρχικά είναι απαραίτητα μεγέθη που δεν είναι γνωστά θα γίνουν ορισμένες παραδοχές ως προς την υγρασία. Θεωρείται ότι η υγρασία του αέρα αναγέννησης πριν εισέλθει στο τροχό είναι 12g/kg.

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα της εταιρείας Novelaire [15] παρουσιάζονται για τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί 4 τροχοί διαφορετικών διαστάσεων οι οποίοι λειτουργούν με την παροχή που έχει υπολογιστεί και έχουν διαφορά ως προς την απόδοση, τη πτώση πίεσης και προφανώς την τιμή. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι τα εξής:

**Πίνακας 6.5.2 Αποδόσεις τροχών**

	ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΡΟΧΟ(g/kg)	ΑΠΟΔΟΣΗ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ (°C)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΡΟΤΟΡΑ (mm)
WSG 965x200	263.82	10.32	0.378	57.6	965
WSG 1070x200	214.21	10.02	0.396	58.8	1070
WSG 1220x200	166.07	9.78	0.410	60.1	1220
WSG 1525x200	107.46	9.60	0.421	61.9	1525

Δεδομένου ότι δεν είναι γνωστό το κόστος τους και επειδή όσο αυξάνει η απόδοση αυξάνουν και οι διαστάσεις, θα χρησιμοποιηθεί ο  τρίτος τροχός που έχει καλή απόδοση, η υγρασία του δε ξεπερνά την επιθυμητή (9,92 g/kg ξ.α.) και ταυτόχρονα δεν έχει πολύ μεγάλες διαστάσεις. Ακόμα επειδή οι εξωτερικές συνθήκες που εξετάζονται είναι οι ακραίες και κατά συνέπεια και τα φορτία είναι τα μέγιστα, η παροχή που υπολογίστηκε είναι πολύ μεγάλη. Έτσι πρέπει να επιλεγεί έναν τροχό ο οποίος να είναι αποτελεσματικός και να συμφέρει και για μικρότερες παροχές. Επιλέγεται λοιπόν ένας ενδιάμεσος και όχι ο μεγαλύτερος που παρουσιάζεται. Ο ρότορας του τροχού είναι διαμέτρου 1220mm=1,22m και όλος ο τροχός desiccant με το περίβλημα του, σύμφωνα με το φυλλάδιο της εταιρείας, είναι 54 in=1,37 m.

Ακόμα, πρέπει να σημειωθεί ότι η τελική επιλογή γίνεται με τεχνοοικονομικά κριτήρια. Ενδεχομένως μια άλλη επιλογή να ήταν η αγορά του μεγαλύτερου και ακριβότερου τροχού για όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόδοση. Επομένως η τελική απόφαση λαμβάνεται κάθε φορά με βάση και τα χρήματα που πρόκειται να επενδυθούν σε ένα τέτοιο σύστημα.

### 6.5.2 Επιλογή του εναλλάκτη αέρα-αέρα

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη παράγραφο το βασικό στοιχείο για την επιλογή του εναλλάκτη είναι η παροχή του αέρα που θα εισέρχεται διαμέσου αυτού. Η παροχή λοιπόν είναι γνωστή και από τη στιγμή που έχει γίνει επιλογή του τροχού desiccant και είναι γνωστές οι διαστάσεις του, υπάρχει μια εκτίμηση του μεγέθους του συνολικού συστήματος κάτι που θα βοηθήσει λίγο στην επιλογή της διάστασης του εναλλάκτη αλλά και στο είδος του (αν ληφθούν υπόψη και τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο).

Σε αυτό το σημείο θα εξετασθούν και τα δύο είδη εναλλακτών που όπως προαναφέρθηκε είναι τα πιο συνηθισμένα, δηλαδή και ο τροχός ανάκτησης θερμότητας και ο πλακοειδής εναλλάκτης και θα επιλεγεί αυτός που δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Κατόπιν έρευνας σε ορισμένες εταιρείες παρατηρείται ότι πρέπει να είναι γνωστή η θερμοκρασία και η υγρασία εισόδου του αέρα στον εναλλάκτη προκειμένου να υπολογισθεί η κατάσταση του αέρα εξερχομένου από αυτόν. Επειδή ακόμα δεν έχει γίνει η επιλογή του έμμεσου υγραντήρα θα ληφθεί μια ενδεικτική τιμή της θερμοκρασίας χαμηλότερη από αυτή του χώρου, και μια τιμή της υγρασίας υψηλότερη, και με βάση αυτά θα γίνει η σύγκριση. Εν προκειμένου θεωρείται ότι η θερμοκρασία είναι 21°C και η υγρασία

12g/kg. Οι εναλλάκτες που παρουσιάζονται στη συνέχεια είναι αυτοί που λειτουργούν με την παροχή που έχει υπολογισθεί.

**1<sup>η</sup> εταιρεία: Novelaire [20]**

Η εταιρεία παρέχει πρόγραμμα υπολογισμού που με βάση τα δεδομένα που έχουν προκύψει ως τώρα λαμβάνονται τα εξής:

**Πίνακας 6.5.3 Αποδόσεις εναλλακτών NOVELAIRE**

NOVELAIRE-ΤΡΟΧΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ					
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ(g/kg)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ (in)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ (mm)	ΑΠΟΔΟΣΗ
ECW 424	40.8	10.8	48	1220	0.49
ECW 484	39,9	10.9	54	1371	0.52
ECW 486	40.4	10.9	54	1371	0.50
ECW 544	39.4	10.9	60	1524	0.53
ECW 546	40.0	10.9	60	1524	0.51

## 2<sup>η</sup> εταιρεία: Klingenburg [21]

Και εδώ υπάρχει πρόγραμμα υπολογισμού:

**Πίνακας 6.5.4 Αποδόσεις εναλλακτών KLINGENBURG**

KLINGENBURG-SORPTION ROTOR SECO (ΤΡΟΧΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ)					
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΡΟΧΟ(g/kg)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΡΟΤΟΡΑ (mm)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ (mm)	ΑΠΟΔΟΣΗ
1000/1000-895	27.1	11.64	895	1000	0.84
1250/1250- 1160	24.4	11.8	1160	1250	0.91
1500/1500- 1410	22.9	11.88	1410	1500	0.95
KLINGENBURG-CONDENSATION /EPOXY COATED ROTOR (ΤΡΟΧΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ)					
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΡΟΧΟ(g/kg)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΡΟΤΟΡΑ (mm)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ (mm)	ΑΠΟΔΟΣΗ
1000/1000-905	30.4	9.78	905	1000	0.76
1250/1250- 1170	27.3	9.78	1170	1250	0.84
1500/1500- 1420	25.2	9.78	1420	1500	0.89
KLINGENBURG-PWT CROSSFLOW PLATE HEAT EXCHANGER					
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΡΟΧΟ(g/kg)	ΑΠΟΔΟΣΗ		
PWT 10/1000/1060--4.5	32.8	9.78	0.70		
PWT 10/1200/970--4.5	31	9.78	0.74		

Παρατηρείται ότι οι πιο ενδιαφέροντες τροχοί είναι αυτοί της KLINGENBURG, όμως ο τροχός SECO ξεπερνά το προκαθορισμένο επίπεδο υγρασίας. Τελικά είναι φανερό ότι συμφέρει η επιλογή ή του τροχού condensation ή του epoxy coated 1250/1250/1170 αφού αποδίδουν το ίδιο. Να σημειωθεί ότι έχουν ληφθεί υπόψη μόνο οι τυπικές μορφές των εναλλακτών με τα πιο συνηθισμένα υλικά χωρίς ιδιαίτερη μορφοποίηση και διαστάσεις. Τελικά επιλέχθηκε ο condensation rotor που χρησιμοποιείται κατεξοχήν για μεταφορά της αισθητής θερμότητας. Προκύπτει λοιπόν ότι ο αέρας που θα εισέλθει στο χώρο μετά τον εναλλάκτη έχει θερμοκρασία 27,3°C, ενώ το ρεύμα αναγέννησης εξερχόμενο από τον εναλλάκτη και πριν εισαχθεί στο σύστημα θέρμανσης έχει θερμοκρασία 49,9°C.

Και εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η τελική επιλογή γίνεται με τεχνοοικονομικά κριτήρια. Θα μπορούσε για παράδειγμα να επιλεγεί ο τροχός condensation 1500/1500-1420 ο οποίος δίνει καλύτερη απόδοση και έχει μεγαλύτερες διαστάσεις κάτι που σημαίνει και μεγαλύτερο κόστος τόσο του ίδιου του εναλλάκτη όσο και του συνολικού συστήματος μέσα στο οποίο θα περικλείεται αυτός. Φαίνεται και εδώ λοιπόν ότι το κόστος παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή των συστημάτων.

### 6.5.3 Επιλογή του άμεσου υγραντήρα

Γνωρίζοντας πλέον τις συνθήκες εξόδου από τον εναλλάκτη (για την τιμή της θερμοκρασίας που έχει ληφθεί ότι θα έχει ο αέρας καθώς εξέρχεται από τον έμμεσο υγραντήρα) είναι πλέον δυνατόν να γίνει η επιλογή του άμεσου υγραντήρα. Θα επιλεγθεί εκείνος ο υγραντήρας ο οποίος εξασφαλίζει αέρα εισόδου στο χώρο 16.5°C, όπως αποφασίσθηκε νωρίτερα. Γνωρίζοντας τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου, είναι δυνατόν να υπολογισθεί η απόδοση που πρέπει να έχει ο υγραντήρας. Από τη σχέση (2) λαμβάνεται ότι :

$$\varepsilon_{D.EVAP} = 121.3\%$$

Επομένως είναι αντιληπτό ότι μόνο με τον υγραντήρα δεν υπάρχει η δυνατότητα να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες γιατί θα έπρεπε να υπάρχει υγραντήρας απόδοσης πάνω από το 100% που δεν υφίσταται. Φαίνεται λοιπόν ότι η χρήση συμβατικού κλιματιστικού συστήματος είναι αναγκαία ώστε το σύστημα να μπορεί να παρέχει τις επιθυμητές συνθήκες στις ακραίες συνθήκες. Ωστόσο θα πρέπει να επιλεγθεί υγραντήρας ο οποίος κάτω από λιγότερο ακραίες συνθήκες να επαρκεί χωρίς τη χρήση συμβατικού κλιματιστικού, και θα πρέπει όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο να ληφθεί υπόψη η απόδοση και οι διαστάσεις του υγραντήρα για τη δεδομένη παροχή.

Επιλέγεται υγραντήρας τύπου rigid media air coolers γιατί είναι πιο απλός στη κατασκευή του αλλά και γιατί απαντάται πιο συχνά στο εμπόριο, επομένως είναι εμπορικά διαθέσιμος. Η εταιρεία Munters ([www.munters.co.uk](http://www.munters.co.uk)) έχει πολλά μοντέλα τέτοιου είδους υγραντήρων και από όλα επιλέγεται ο Evaporative Humidifier FA6 ο οποίος είναι διαθέσιμος, με ανακυκλοφορία ή χωρίς και σε διαφορετικές αποδόσεις. Ενώ υπάρχει περιορισμός στις παροχές που μπορεί να λειτουργήσει, η παροχή που έχει υπολογισθεί για την εγκατάσταση που μελετάται (1,029m<sup>3</sup>/s) είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια. Από τα δεδομένα διαγράμματα για το καθορισμό των διαστάσεων που θα πρέπει να έχει ο υγραντήρας καταλήγουμε στις εξής επιλογές:

**Πίνακας 6.5.5 Χαρακτηριστικά υγραντήρων Munters**

ΥΓΡΑΝΤΗΡΑΣ FA6					
			FA6-65	FA6-85	FA6-95
			ΑΠΟΔΟΣΗ 65%	ΑΠΟΔΟΣΗ 85%	ΑΠΟΔΟΣΗ 95%
ΜΕΓΕΘΟΣ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ (m)		
060-090	600	900	100	200	300
120-060	1200	600	100	200	300
			FA6-65	FA6-85	FA6-95
			ΑΠΟΔΟΣΗ 65%	ΑΠΟΔΟΣΗ 85%	ΑΠΟΔΟΣΗ 95%
ΜΕΓΕΘΟΣ			ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)		
060-090			30	59	82
120-060			27	52	72

Για να αποφασισθεί ο καταλληλότερος υγραντήρας γίνεται εκτίμηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας που θα έχει ο αέρας εξερχόμενος από τον υγραντήρα. Χρησιμοποιώντας τον τύπο (2) της απόδοσης του υγραντήρα τόσο για τη θερμοκρασία όσο και για την υγρασία, υπολογίζονται τα παρακάτω:

**Πίνακας 6.5.6 Αποδόσεις υγραντήρων Munters**

	FA6-65	FA6-85	FA6-95
	ΑΠΟΔΟΣΗ 65%	ΑΠΟΔΟΣΗ 85%	ΑΠΟΔΟΣΗ 95%
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	21.51	19.73	18.84
ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)	12.13	12.86	13.22

Τα συμπεράσματά από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν είναι πρώτον ότι ο υγραντήρας δεν αρκεί για να φέρει τον αέρα στην επιθυμητή θερμοκρασιακή κατάσταση και συμβατικός κλιματισμό είναι απαραίτητος, όπως άλλωστε αναφέρθηκε και νωρίτερα, και δεύτερον ότι η υγρασία και στις τρεις περιπτώσεις απόδοσης ξεπερνάει την υγρασία που δηλώθηκε εξ' αρχής ότι είναι επιθυμητή για τον αέρα εισόδου, δηλαδή τα 9,92 g/kg ξ.α. είναι φανερό λοιπόν ότι έγκειται στον εκάστοτε ενδιαφερόμενο να αποφασίσει πως θα κινηθεί από δω και πέρα.

Στην περίπτωση που μελετάται, όπως ορίστηκε και στο 2<sup>ο</sup> βήμα, τα όρια που πρέπει να λειτουργεί το σύστημά είναι τα όρια του διαγράμματος άνεσης, και η τιμή της υγρασίας που θεωρήθηκε αρχικά ότι πρέπει να επιτευχθεί ήταν για να γίνουν κάποιες εκτιμήσεις και υπολογισμοί μεγεθών. Επομένως είναι δυνατόν να ληφθεί κάποια από τις τιμές αυτές. Σε άλλη περίπτωση όμως που τα όρια εντός των οποίων ικανοποιούνται οι στόχοι ήταν πιο στενά και καμία από τις τρεις υγρασίες δεν ήταν αποδεκτή, ο σχεδιαστής του συστήματος θα έπρεπε να γυρίσει πίσω στην επιλογή τροχού και να επιλέξει ένα άλλο μοντέλο που θα του παρείχε καλύτερη αφύγρανση και έτσι θα μπορούσε να έχει με τον υγραντήρα τιμές υγρασίας ικανοποιητικές για τον χώρο.

Φαίνεται λοιπόν ότι στο σχεδιασμό ενός συστήματος desiccant υπάρχουν πολλά σημεία που οδηγούν το σχεδιαστή να επανεξετάσει τις επιλογές του και να λειτουργήσει επαναληπτικά ώσπου να βρεί τη βέλτιστη λύση.

Εν προκειμένου απορρίπτεται η τρίτη τιμή γιατί ο εισερχόμενος αέρας θα είναι από μόνος του εκτός του διαγράμματος άνεσης, επομένως η επιλογή θα γίνει μεταξύ των αποδόσεων 65% και 85% που βρίσκονται εντός διαγράμματος και συνεπώς είναι δεκτές. Αν εφαρμοσθεί η σχέση (4) υπολογίζεται ότι η υγρασία του χώρου θα είναι 12.21 g/kg ξ.α και 12.93 g/kg ξ.α αντίστοιχα. Ενώ η δεύτερη τιμή βρίσκεται κοντά στο άκρο του διαγράμματος άνεσης τελικά επιλέγεται αυτός ο υγραντήρας γιατί ο στόχος είναι να χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν λιγότερο το συμβατικό σύστημα, και συνεπώς πρέπει ο υγραντήρας να ρίχνει τη θερμοκρασία όσο χρειάζεται για να ψύξει το χώρο κάτι που ο λιγότερο αποδοτικός υγραντήρας δεν επιτυγχάνει το ίδιο αποτελεσματικά. Άλλωστε, η τιμή της εξωτερικής υγρασίας που θεωρήθηκε είναι η ακραία και συναντάται πολύ σπάνια. Έτσι, τελικά επιλέγεται ο υγραντήρας FA6-85, με απόδοση 85% και διαστάσεις 120-060.

**Πίνακας 6.5.7 Χαρακτηριστικά υγραντήρα FA6-85**

ΥΓΡΑΝΤΗΡΑΣ FA6-85			
ΜΕΓΕΘΟΣ			ΑΠΟΔΟΣΗ 85%
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ (m)
	1200	600	200
120-060			
	ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
	52	19.38	12.481

Επομένως οι συνθήκες του χώρου θα είναι θερμοκρασία 24°C και υγρασία 12.93g νερού/ kg ξ.α.

#### 6.5.4 Επιλογή του έμμεσου υγραντήρα

Η επιλογή του έμμεσου υγραντήρα είναι εξ΄ίσου σημαντική με την επιλογή του εναλλάκτη και του άμεσου υγραντήρα. Και πάλι θα επιλεγεί υγραντήρας από την εταιρεία Munters και από το μοντέλο Evaporative Humidifier FA6. Για τις παροχές που υπολογίσθηκαν ισχύουν τα δύο μοντέλα όπως πριν και τελικά επιλέγεται πάλι η διάσταση 120-060. Όσον αφορά την απόδοση ισχύουν:

**Πίνακας 6.5.8 Αποδόσεις υγραντήρων Munters**

	FA6-65	FA6-85	FA6-95
	ΑΠΟΔΟΣΗ 65%	ΑΠΟΔΟΣΗ 85%	ΑΠΟΔΟΣΗ 95%
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	21.24	20.39	19.96
ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)	13.95	14.28	14.42

Νωρίτερα στην επιλογή του εναλλάκτη θεωρήθηκε ότι το ρεύμα αναγέννησης καθώς θα εισέρχεται στον εναλλάκτη θα έχει θερμοκρασία 21°C και υγρασία 12 g/kg (με αυτό το δεδομένο έχουν γίνει οι υπολογισμοί ως τώρα), κάτι που όπως φαίνεται πως δεν ισχύει. Προφανώς, όσο καλύτερη η απόδοση του έμμεσου υγραντήρα, τόσο μικρότερη θερμοκρασία θα έχει το process air stream εξερχόμενο από τον εναλλάκτη επομένως δεν επιλέγεται ο υγραντήρας με απόδοση 65%. Τελικά επιλέγεται ο Υγραντήρας FA6-95 120/060 (Munters) με απόδοση 95%, γιατί επαρκεί για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και τις υποθέσεις που έχουν γίνει ως τώρα, ενώ επειδή ρίχνει αρκετά τη θερμοκρασία του ρεύματος αναγέννησης, μέσω του εναλλάκτη θα ρίξει ακόμα περισσότερο τη θερμοκρασία του ρεύματος εισόδου.

**Πίνακας 6.5.9 Χαρακτηριστικά υγραντήρα FA6-95**

ΥΓΡΑΝΤΗΡΑΣ FA6-95			
ΜΕΓΕΘΟΣ			ΑΠΟΔΟΣΗ 85%
	ΜΗΚΟΣ (m)	ΥΨΟΣ (m)	ΠΛΑΤΟΣ (m)
	1200	600	200
120-060			
	ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
	52	19.96	14.42

Και εδώ η επιλογή έγινε με τεχνοοικονομικά κριτήρια. Είναι φανερό ότι ο σχεδιαστής του κάθε συστήματος μπορεί να έχει δύο ή και περισσότερες εναλλακτικές λύσεις σε κάθε περίπτωση. Η τελική όμως απόφαση καθορίζεται από οικονομικούς παράγοντες σε σχέση πάντα και με την απόδοσή τους. Για το λόγο αυτό μπορούν για τις ίδιες συνθήκες να γίνουν πολλοί συνδυασμοί συστημάτων και εξοπλισμού που να διαφέρουν τελικά και ως προς το κόστος και φυσικά ως προς την απόδοση.

#### **6.5.5 Επιλογή του συστήματος θέρμανσης: ηλιακού συλλέκτη – δεξαμενής - εναλλακτών- - εναλλακτική πηγή θερμότητας**

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα ο αέρας αναγέννησης εισερχόμενος στο σύστημα θέρμανσης έχει αποκτήσει ήδη θερμοκρασία 49.9°C (βήμα 2) και η ταχύτητα του είναι περίπου 1m/s και είναι μέσα στα αποδεκτά όρια. Και σε προηγούμενη παράγραφο έγινε σαφές ότι οι συλλέκτες υγρού έχουν καλύτερη απόδοση, οπότε θα χρησιμοποιηθούν και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητοι σωλήνες μεταφοράς θερμότητας που θα αυξήσουν τη θερμοκρασία του αέρα από τους 49.9°C σε 70°C. Το πρώτο που θα πρέπει να επιλεγεί συνεπώς θα είναι ο εναλλάκτης υγρού - αέρα και με βάση αυτό θα συνεχιστούν οι υπολογισμοί.

##### 6.5.5.1 Επιλογή του εναλλάκτη θέρμανσης αέρα αναγέννησης

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι η επιλογή του εναλλάκτη υγρού-αέρα ήταν αρκετά δύσκολη, επειδή είναι διαθέσιμα πολύ λίγα δεδομένα για το συγκεκριμένο τύπο εναλλακτών, και για τις πληροφορίες που ενδιέφεραν θα έπρεπε να γίνει συνεννόηση με τις εταιρείες κατασκευής τους. Ακόμα να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος τύπος εναλλάκτη θα μπορούσε να κατασκευαστεί κατόπιν παραγγελίας από εταιρείες που ασχολούνται με κλιματιστικά και ηλιακά συστήματα. Τελικά μετά από εκτεταμένη αναζήτηση βρέθηκε εταιρεία η οποία προσφέρει λογισμικό για την επιλογή του κατάλληλου εναλλάκτη. Όπως προκύπτει λοιπόν από αυτό, αν ο αέρας εισέρχεται με 49.9°C και εξέρχεται με 70°C και με δεδομένη την παροχή του ( $3706 \text{ m}^3/\text{h} = 1.03 \text{ m}^3/\text{s}$ ) και θεωρηθεί και μια θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού, είναι εφικτό να ευρεθεί η απαιτούμενη παροχή του νερού καθώς και οι διαστάσεις του εναλλάκτη και η ισχύς του. Για την επιλογή των θερμοκρασιών του νερού, λαμβάνεται υπόψη ότι στη δεξαμενή του νερού δε πρέπει να αναπτύσσονται πάρα πολύ υψηλές θερμοκρασίες γιατί όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού, αυξάνεται και η θερμοκρασία του μέσου που κυκλοφορεί στο συλλέκτη και μειώνεται η απόδοση του συλλέκτη.



Λαμβάνονται λοιπόν τα παρακάτω:

**Πίνακας 6.5.10 Χαρακτηριστικά εναλλάκτη υγρού-αέρα**

	ΑΕΡΑΣ	ΝΕΡΟ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ (° C)	49.9	75
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ (° C)	70	65
ΠΑΡΟΧΗ	1.03 m <sup>3</sup> /s	0.66 l/s
ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	27.02	
ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)	148.9	13300

Ακόμα, από το πρόγραμμα προκύπτει ότι πρέπει να τοποθετηθούν τέσσερις σειρές σωλήνων (coils) προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία του αέρα.

Προκειμένου να επιλεγθούν τα υπόλοιπα στοιχεία του ηλιακού συστήματος, πρώτα θα επιλεγθεί ο ηλιακός συλλέκτης (δηλαδή τα χαρακτηριστικά του) καθώς και η συνολική συλλεκτική του επιφάνεια. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των καμπύλων *f-chart* [10,13].

#### 6.5.5.2 Επιλογή ηλιακού συλλέκτη

Όσον αφορά το μοντέλο του συλλέκτη, όπως έχει προαναφερθεί χρειάζεται ένας ηλιακός συλλέκτης που να αποδίδει στις υψηλές θερμοκρασίες, επομένως ένας πολύ καλός επίπεδος συλλέκτης υγρού. Για τις ανάγκες της παρούσας διερεύνησης επιλέχθηκε συλλέκτης με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, τα οποία αντιστοιχούν σε αυτά ενός υπαρκτού εμπορικού προϊόντος:

**Πίνακας 6.5.11 Χαρακτηριστικά συλλέκτη**

ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ	
Gross area (m <sup>2</sup> )	2.08
Absorber area (m <sup>2</sup> )	1.91
Aperture area (m <sup>2</sup> )	1.89
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	1985mm × 1045mm × 93mm
F <sub>R</sub> (τα)	0.73
F <sub>R</sub> U <sub>L</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	3.67
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ	1.3 L
ΚΑΛΥΜΜΑ	ΓΥΑΛΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	ΔΙΠΛΟ ΑΡΓΙΛΙΟΥ
ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	ΧΑΛΚΟΣ ΜΕ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΤΙΝΟΧ

Η απόδοση του συλλέκτη δίνεται από τη σχέση (6) και ισχύει :

$$\eta = 0.73 - 3.67 \frac{T_i - T_a}{G_T}$$

Μέχρι τώρα δεν έχει αποφασισθεί ο εναλλάκτης υγρού-υγρού και η δεξαμενή, καθώς και το σύστημα back-up. Για την επιλογή του εναλλάκτη υγρού-υγρού, χρειάζονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του θερμικού φορέα που τον διαρρέει. Το ένα μέσο προφανώς και είναι το νερό του δικτύου που θα αποθηκεύεται στη δεξαμενή και στη συνέχεια θα ζεσταίνει τον αέρα, και για το κύκλωμα του συλλέκτη επιλέγεται συνήθως υδατικό διάλυμα γλυκόλης (1.2-προπυλενίου καθώς και υψηλότερες γλυκόλες) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως ως μέσο μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα ηλιακής θέρμανσης, ειδικά εκείνα που εκτίθενται στα υψηλά θερμικά φορτία. Ακόμα τα υγρά αυτά περιέχουν και ανασταλτικούς παράγοντες διάβρωσης που προστατεύουν μόνιμα τα μέταλλα των ηλιακών συστημάτων από τη διάβρωση, ακόμη και στα συνδυασμένα συστήματα.

**Πίνακας 6.5.12 χαρακτηριστικά θερμικού φορέα κυκλώματος συλλέκτη**

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΥΣ 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	1.065
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΣΤΟΥΣ 20°C (mm <sup>2</sup> /s)	7.2
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟ ΙΞΩΔΕΣ ΣΤΟΥΣ 80 °C (mm <sup>2</sup> /s)	1.3
ΕΙΔΙΚΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΥΣ 20 °C (kJ/kg*K)	3.4
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΟΥΣ 20°C (W/m*K)	0.39

Όσον αφορά την επιλογή του είδους του εναλλάκτη υγρού-υγρού, η επιλογή θα γίνει μεταξύ εναλλάκτη τύπου plate type και shell and tube, γιατί τα δύο αυτά είδη είναι τα πιο συνηθισμένα για τέτοιες εφαρμογές και συνεπώς είναι εμπορικά διαθέσιμα. Τελικά επιλέγεται πλακοειδής εναλλάκτης γιατί η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας είναι σαφώς μεγαλύτερη και έτσι για το ίδιο μέγεθος με έναν εναλλάκτη shell and tube θα έχει πολύ μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Έτσι φαίνεται ότι αυτό το είδος εναλλακτών έχει πολύ μικρότερες διαστάσεις συγκρινόμενο με το αντίστοιχης αποδοτικότητας shell and tube, και μιας και η εφαρμογή που εξετάζεται είναι μικρής εμβέλειας και χαμηλής πίεσης, σαφώς προτιμάται. Στη παρούσα φάση δεν είναι δυνατόν να επιλεγθεί επακριβώς το μοντέλο και οι διαστάσεις του εναλλάκτη γιατί δεν είναι γνωστές οι παροχές των ρευστών που ρέουν σε αυτόν από τη στιγμή που δεν έχει υπολογισθεί η συλλεκτική επιφάνεια. Επομένως αφού προσδιοριστεί η συνολική συλλεκτική επιφάνεια θα μπορέσουν να υπολογισθούν οι διαστάσεις του εναλλάκτη.

### 6.5.5.3 Υπολογισμός της συλλεκτικής επιφάνειας του συλλέκτη με χρήση της μεθόδου *f chart*

Όπως αναφέρθηκε, για να βρεθεί η συλλεκτική επιφάνεια και η κάλυψη του ηλιακού συστήματος θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των καμπύλων *f-chart*. Για να εφαρμοσθεί η μέθοδος αυτή πρέπει να είναι γνωστό μεταξύ άλλων και το μηνιαίο ολικό θερμικό φορτίο, κάτι που ως τώρα είναι άγνωστο. Προφανώς το θερμικό φορτίο που προκύπτει από την περίπτωση που ήδη εξετάζεται δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηνιαία κλίμακα γιατί εκτός του ότι αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο μιας μέρας, αναφέρεται στις πιο αντίξοες καλοκαιρινές συνθήκες και συνεπώς δεν είναι αντιπροσωπευτικό για τον υπολογισμό του μηνιαίου θερμικού φορτίου. Μια σχετικά ικανοποιητική προσέγγιση μπορεί να επιτευχθεί, χρησιμοποιώντας τη μέση ημέρα του Ιουλίου (που είναι και ο μήνας που εξετάζονται οι πιο αντίξοες συνθήκες) και τη μέση μέρα του Ιουνίου, για να επιλεγθεί ηλιακό σύστημα που θα ανταποκρίνεται μεν στις ανάγκες που υπάρχουν αλλά και θα είναι οικονομικά αποδεκτό. Δεν γίνονται

υπολογισμοί για το μήνα Αύγουστο γιατί η μέση θερμοκρασία και υγρασία του είναι πολύ κοντά στις τιμές του Ιουλίου και συνεπώς δεν υπάρχει πρακτικό ενδιαφέρον.

Στη σχέση (24) χρησιμοποιούνται οι μεταβλητές X και Y στις οποίες εισάγονται τα παρακάτω μεγέθη με τις αντίστοιχες τιμές τους:

- Το  $F_R U_L = 3,67 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  και το  $F_R(\tau\alpha) = 0,73$
- Το  $A_c$  που είναι άλλωστε και το μέγεθος που πρέπει να προσδιορισθεί συναρτήσει της μηνιαίας κάλυψης,
- Το  $\frac{F_R'}{F_R}$  που εξαρτάται από την απόδοση του εναλλάκτη και τις παροχές των ρευστών που διέρχονται μέσω αυτού, τα οποία με τη σειρά τους εξαρτώνται από το  $A_c$  που δεν είναι γνωστό. Εδώ λαμβάνεται μια ενδεικτική τιμή δεδομένου ότι το σύστημά δεν είναι γνωστό και δε μπορεί να υπολογισθεί ο λόγος αυτό. Θεωρείται λοιπόν ότι  $\frac{F_R'}{F_R} = 0,9$ .
- Το  $\overline{T_a} = 25,1 \text{ }^\circ\text{C}$  για το μήνα Ιούνιο και  $\overline{T_a} = 27,9 \text{ }^\circ\text{C}$  για τον μήνα Ιούλιο [16]
- Το  $\Delta\tau = 2592000 \text{ s}$  για τον Ιούνιο (30 μέρες) και  $\Delta\tau = 2678400 \text{ s}$  για τον Ιούλιο (31 μέρες)
- Το  $\overline{H_T}$  που επίσης πρέπει να υπολογισθεί και για τους δύο μήνες
- Το  $N = 30$  για τον Ιούνιο και  $N = 31$  για τον Ιούλιο
- Το  $\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = 0,89$  επειδή και οι δύο είναι καλοκαιρινοί μήνες
- Το L πρέπει να υπολογισθεί για τους δύο μήνες ξεχωριστά.

Για τον υπολογισμό του  $\overline{H_T}$  ακολουθείται η μέθοδος που περιγράφηκε στη παράγραφο 5.5.1. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ότι το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας είναι  $\varphi = 38^\circ$ , ακόμα ότι οι συλλέκτες βρίσκονται στραμμένοι προς νότο επομένως το αζιμούθιο επιφάνειας είναι  $\gamma = 0^\circ$ . Επειδή ενδιαφέρει η μέγιστη θερινή απόδοση θα θεωρηθεί ότι η κλίση των επίπεδων συλλεκτών είναι περίπου  $15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος δηλαδή  $\beta = \varphi - 15^\circ \Rightarrow \beta = 23^\circ$  [10]. Ακόμα χρειάζονται κάποια βασικά δεδομένα όπως η ηλιακή απόκλιση  $\delta$ , και η μέση ημέρα [10].

**Πίνακας 6.5.13 Μέση μέρα κάθε μήνα και ηλιακή απόκλιση**

ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ		
ΜΗΝΑΣ	n	δ
ΙΟΥΝΙΟΣ	162	23.1
ΙΟΥΛΙΟΣ	198	21.2

Υπολογίζονται λοιπόν τα παρακάτω:

**Πίνακας 6.5.14 Αποτελέσματα υπολογισμών για τη μέση μέρα Ιουνίου και Ιουλίου**

ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΑ							
ΜΗΝΑΣ	$\overline{H_o}$ (J)	$\overline{H}$ (J)	$k_T$	$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}$	$\overline{H}_d$ (J)	$\overline{R}_b$	$\overline{H}_T$ (J)
ΙΟΥΝΙΟΣ	41282081.01	24883493.58	0.6028	0.41	10157060.86	0.9204	23505910.55
ΙΟΥΛΙΟΣ	40291144.46	24768223.31	0.6147	0.40	9796395.18	0.9410	23692762.45

Στη συνέχεια θα υπολογισθούν τα μηνιαία θερμικά φορτία των δύο μηνών δηλαδή το L. Για να γίνει αυτό θα ληφθεί η μέση μέρα του κάθε μήνα και με δεδομένες τις εξωτερικές συνθήκες που θα είναι οι μέσες πλέον του μήνα, θα υπολογισθούν εκ νέου τα φορτία, που τώρα πια ενδιαφέρουν για κάθε ώρα. Κατόπιν, με δεδομένο τον εξοπλισμό που έχει ήδη επιλεγεί θα υπολογισθεί ανά ώρα σε κάθε φάση η θερμοκρασία (και η υγρασία προαιρετικά) του αέρα ώστε τελικά να βρεθεί η θερμοκρασία του αέρα αναγέννησης πριν εισέλθει στο σύστημα θέρμανσης. Από τη διαφορά της επιθυμητής θερμοκρασίας που θα αποκτήσει ο αέρας με τη θερμοκρασία που εισήλθε θα βρεθεί η απαιτούμενη ισχύς, και επεκτείνοντας την ισχύ αυτή σε ωριαίο επίπεδο θα υπολογισθεί η ενέργεια ανά ώρα. Το ίδιο θα γίνει και για τις άλλες ώρες ώσπου τελικά θα υπολογισθεί αθροιστικά το συνολικό ημερήσιο φορτίο. Και επειδή μελετάται η μέση ημέρα του μήνα θα θεωρηθεί ότι το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες μέρες του μήνα που λειτουργεί το εργαστήριο και έτσι θα υπολογισθεί το συνολικό μηνιαίο φορτίο. Οι μέρες που λειτουργεί το εργαστήριο μέσα στο μήνα θεωρούνται ότι είναι 22 (εξαιρώντας τα Σάββατα και τις Κυριακές).

**Πίνακας 6.5.14 Συνθήκες που επικρατούν τις μέσες ημέρες Ιουνίου και Ιουλίου [24]**

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΗΜΕΡΕΣ		
	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	25,1 °C	27,9 °C
ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	53,4 %	47,6 %

### Για την μέση ημέρα του Ιουλίου

Επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί φορτίου με τον τρόπο που περιγράφηκε νωρίτερα (θεωρώντας εδώ ότι η μέση θερμοκρασία  $T_o=27,9^{\circ}\text{C}$  ). Είναι λογικό ότι τα φορτία φωτισμού, συσκευών, ανθρώπων θα είναι τα ίδια αφού δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες. Υπολογίζεται τελικά:

**Πίνακας 6.5.15 Υπολογισμοί φορτίων για τη μέση μέρα του Ιουλίου**

	ΟΡΟΦΕΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ	ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ
	q (W)	q (W)	q ολ (W)
1:00	537.941	859.176	90.034
2:00	394.490	841.755	51.756
3:00	251.039	839.280	39.356
4:00	179.314	803.634	39.356
5:00	35.863	767.495	39.356
6:00	-35.863	769.969	1203.866
7:00	35.863	724.669	1850.816
8:00	179.314	708.081	2070.240
9:00	466.216	676.549	1979.128
10:00	824.843	660.306	1629.236
11:00	1255.196	646.195	1110.598
12:00	1685.549	666.090	760.706
13:00	2044.177	654.454	707.872
14:00	2402.804	671.875	656.116
15:00	2617.981	671.875	616.760
16:00	2689.706	689.296	539.126
17:00	2689.706	710.487	449.092
18:00	2474.530	729.546	371.458
19:00	2187.628	777.324	229.668
20:00	1829.000	784.012	178.990
21:00	1470.373	816.840	166.590
22:00	1183.471	830.951	128.312
23:00	896.569	847.539	102.434
0:00	753.118	861.650	90.034

Ισχύει ο τύπος :  $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t$  και είναι γνωστό το χρονικά μεταβαλλόμενο συνολικό φορτίο και η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα που είναι 1003,5 J/kg K. Έχει ήδη ειπωθεί ότι η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου είναι  $24^{\circ}\text{C}$  και η υγρασία 10 g/kg ξ.α. και μπορεί πλέον να θεωρηθεί ότι το σύστημά λειτουργεί είτε με μεταβλητή παροχή και σταθερή θερμοκρασία εισόδου του αέρα στον χώρο, είτε με σταθερή παροχή και μεταβλητή θερμοκρασία εισόδου. Δε θα εξετασθούν και οι δύο μέθοδοι, αλλά αυτή που είναι ευρύτερα εφαρμόσιμη και απλούστερη, δηλαδή η μέθοδος σταθερής παροχής. Η μέθοδος μεταβλητής παροχής είναι πιο ακριβής στον υπολογισμό και στην ρύθμιση των συνθηκών του χώρου, είναι όμως πολύπλοκη στη χρήση και για το λόγο αυτό

χρησιμοποιείται σπάνια. Θα ήταν εφαρμόσιμη σε ένα σύστημα που θα είχε τη δυνατότητα να μεταβάλλει τη παροχή εισόδου του κάτι που το καθιστά εκτός από πολυπλοκότερο, ακριβότερο.

Ήδη αναφέρθηκε ότι η κατάσταση του αέρα περιβάλλοντος θα θεωρηθεί σταθερή για όλες τις ώρες του μήνα και είναι:  $T_o=27,9^{\circ}\text{C}$ , η σχετική υγρασία είναι 47,6%, επομένως και η απόλυτη υγρασία είναι 11,18 g νερού/kg ξ.α..

**Πίνακας 6.5.16 Συνολικά φορτία και θερμοκρασία εισόδου για τη μέση μέρα του Ιουλίου**

ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ-ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ( ΜΕΣΗ ΜΕΡΑ ΙΟΥΛΙΟΥ)			
	Q ολ (W)	ΔT (K)	Ti (K)
1:00	3578.95	3.01	20.99
2:00	3292.80	2.77	21.23
3:00	3078.48	2.59	21.41
4:00	2912.10	2.45	21.55
5:00	2676.51	2.25	21.75
6:00	3740.77	3.15	20.85
7:00	4361.15	3.67	20.33
8:00	4676.43	3.94	20.06
9:00	4812.69	4.05	19.95
10:00	6321.19	5.32	18.68
11:00	6420.79	5.40	18.60
12:00	6689.15	5.63	18.37
13:00	7098.30	5.97	18.03
14:00	7509.59	6.32	17.68
15:00	7741.42	6.52	17.48
16:00	7811.93	6.57	17.43
17:00	7799.09	6.56	17.44
18:00	7556.33	6.36	17.64
19:00	7228.42	6.08	17.92
20:00	6856.80	5.77	18.23
21:00	6546.60	5.51	18.49
22:00	4719.53	3.97	20.03
23:00	4221.34	3.55	20.45
0:00	3911.60	3.29	20.71

Θεωρείται ότι είναι επιθυμητό να εισέρχεται μόνιμα αέρας παροχής  $\underline{m=3700 \text{ m}^3/\text{h}=1,18 \text{ kg/s}}$ . Από τη σχέση (21) λαμβάνεται ότι :

$$\Delta t = \frac{Q}{1188.22} \quad (35)$$

(Ο ειδικός όγκος του αέρα για τις εξωτερικές θερμοκρασίες βρίσκεται από τον ψυχομετρικό χάρτη ότι είναι  $v=0.868\text{m}^3/\text{kg}$ .)

Δηλαδή, με τη δεδομένη παροχή, για να εξασφαλίζονται στο χώρο οι επιθυμητές συνθήκες πρέπει η διαφορά της θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα με αυτόν του χώρου να είναι όση δίνει το αποτέλεσμα του παραπάνω τύπου για το συγκεκριμένο φορτίο. Ακόμα, από τη σχέση (22) βρίσκεται ότι ο εισερχόμενος αέρας πρέπει να έχει λόγο υγρασίας  $W_1=9.92 \text{ g/kg}$  ξ.α.

Το κτίριο λειτουργεί 12 ώρες μετά τις 9 το πρωί και ο κλιματισμός λειτουργεί μόνον όσο το κτίριο είναι σε λειτουργία, συνεπώς όλοι οι υπολογισμοί θα γίνουν από τις 9:00 το πρωί μέχρι και τις 20:00 το βράδυ, ώρες που γενικά το καλοκαίρι υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Όταν δεν υπάρχει ακτινοβολία προς το τέλος της μέρας η δεξαμενή έχει αποθηκεύσει αρκετή θερμότητα ώστε να παρέχει όση ενέργεια χρειάζεται και αν αυτή δεν αρκεί, τότε πρέπει να τεθεί σε λειτουργία ο συμβατικός κλιματισμός.

Επειδή πρέπει να είναι γνωστή η υγρασία του αέρα αναγέννησης προκειμένου να βρεθεί η κατάσταση εξόδου του αέρα από τον τροχό desiccant, θεωρήθηκε ότι ο χώρος έχει τις επιθυμητές συνθήκες, δηλαδή  $24^\circ\text{C}$  και υγρασία  $10 \text{ gνερού/kg}$  ξ.α. και μπορεί πλέον μέσω του έμμεσου υγραστήρα να ευρεθεί το δεδομένο που λείπει. Επειδή πρόκειται για τον Ιούλιο που είναι θερμός μήνας, είναι σίγουρο ότι θα λειτουργεί και ο έμμεσος υγραστήρας που είναι το δεύτερο στάδιο ελέγχου, επομένως ο αέρας μετά από αυτόν θα έχει:

**Πίνακας 6.5.17 Κατάσταση αέρα μετά τον έμμεσο υγραστήρα**

ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΕΜΜΕΣΟ ΥΓΡΑΝΤΗΡΑ	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ( $^\circ\text{C}$ )	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
17.92	12.56

Παρατηρείται πάλι ότι κατά τη διαδικασία των υπολογισμών είναι αναγκαίο να γίνουν υποθέσεις που οφείλονται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία του χώρου εξαρτάται από το ρεύμα αναγέννησης στην είσοδο του εναλλάκτη γιατί αυτό θα καθορίσει τη θερμοκρασία του process air που εξέρχεται από αυτόν, και το ρεύμα αναγέννησης με τη σειρά του εξαρτάται από τη κατάσταση του χώρου.

Είναι πλέον εφικτό να υπολογισθεί η κατάσταση μετά τον τροχό desiccant που είναι:

**Πίνακας 6.5.17 Κατάσταση αέρα μετά τον τροχό desiccant**

ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ DESICCANT	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ( $^\circ\text{C}$ )	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
50.7	5.57

Φαίνεται λοιπόν, ότι η θερμοκρασία έχει αυξηθεί και μόνο ο τροχός desiccant δεν αρκεί για να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες επομένως θα χρησιμοποιηθεί και το πρώτο στάδιο της διαδικασίας ελέγχου που είναι ο εναλλάκτης θερμότητας. (υπενθυμίζεται ότι μετά τον εναλλάκτη σειρά στην ενεργοποίηση έχει ο έμμεσος υγραστήρας και μετά ο άμεσος. Αν και αυτός δεν αρκεί

ενεργοποιείται ο συμβατικός κλιματισμός). Έχει θεωρηθεί λοιπόν ότι ο χώρος βρίσκεται στην επιθυμητή προκαθορισμένη κατάσταση. Έχοντας διαλέξει τον έμμεσο υγραντήρα FA6-95 120/060 (Munters), είναι γνωστές οι καταστάσεις του αέρα και στις δύο εισόδους του εναλλάκτη. Έτσι, είναι πλέον δυνατόν να υπολογισθούν και οι καταστάσεις στις εξόδους του εναλλάκτη, και έτσι ισχύει :

**Πίνακας 6.5.18 Κατάσταση αέρα μετά τον τροχό ανάκτησης**

	ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
PROCESS AIR STREAM	23.6	5.57
REGENERATION AIR STREAM	42.3	12.56

Συγκρίνοντας τη θερμοκρασία του ρεύματος που πρόκειται να εισέλθει στο χώρο με την επιθυμητή θερμοκρασία. Τι, φαίνεται ότι είναι απαραίτητη η χρήση του άμεσου υγραντήρα και γιατί η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την επιθυμητή, αλλά και γιατί η υγρασία είναι πολύ χαμηλή. Λαμβάνεται μετά από υπολογισμούς ότι:

**Πίνακας 6.5.19 Κατάσταση αέρα μετά τον άμεσο υγραντήρα**

ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΜΕΣΟ ΥΓΡΑΝΤΗΡΑ	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
15.05	8.91

Παρατηρείται ότι η υγρασία είναι χαμηλότερη της προκαθορισμένης, αλλά από τη σχέση (22) βρίσκεται ότι η υγρασία του χώρου θα είναι 8,98 g/kg ξ.α που είναι μέσα στα αποδεκτά πλαίσια του διαγράμματος άνεσης οπότε δεν υπάρχει πρόβλημα. Ακόμα, η θερμοκρασία υπερκαλύπτει τις ανάγκες όλες τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου. Επομένως θα πρέπει ή να μεταβάλλεται κατάλληλα η θερμοκρασία αναγέννησης ή να τοποθετηθεί σύστημα που να ανοίγει και να κλείνει περιοδικά τον άμεσο υγραντήρα, ώστε να κρατάει σταθερή μια αποδεκτή τιμή θερμοκρασίας. Η ανάλυση αυτή ωστόσο ξεφεύγει από τα πλαίσια αυτής της εργασίας και δε θα υπάρξει περαιτέρω ανάλυση.

Τονίζεται ακόμα ότι οι υπολογισμοί έγιναν θεωρώντας ότι η υγρασία του χώρου είναι 10 g/kg. Αν γίνουν ξανά οι υπολογισμοί θεωρώντας την υγρασία του χώρου πλέον κοντά στο 8,9 g/kg θα παρατηρηθεί ότι οι διαφορές είναι μικρές, επομένως δε γίνονται διορθώσεις αλλά κρατώνται τα δεδομένα όπως τα υπολογίσθηκαν ως τώρα. Άλλωστε δε πρέπει να παραβλέπεται το γεγονός ότι όλη αυτή η διαδικασία έγινε για να ευρεθεί το συνολικό θερμικό φορτίο που εξαρτάται από τη θερμοκρασία εισόδου στο σύστημα θέρμανσης που είναι σχεδόν ίδια.



Θεωρώντας ότι ο υγραντήρας λειτουργεί συνεχώς ισχύει για το θερμικό φορτίο:

$$Q = m(\text{kg} / \text{s}) \cdot C_p \cdot (T_{\text{reg}} - T) \quad (36)$$

Όπου:

$$C_p = 1005 \text{ J/kg K.}$$

$T_{\text{reg}}$  η θερμοκρασία αναγέννησης (70 °C)

T η θερμοκρασία εισόδου στο σύστημα θέρμανσης

Τελικά :

$$Q = 32849.4 \text{ W}$$

$$Q (\text{J/day}) = 1419095376 \text{ J/day}$$

$Q (\text{J/month}) = Q(\text{J/day}) \cdot 22 = 31220098272 \text{ J (per month).}$
--

Αφού πλέον έχει υπολογισθεί ότι χρειάζεται για τη μέθοδο f-chart μπορεί πλέον να εφαρμοσθεί. Από τη σχέση (24) ισχύει ότι :

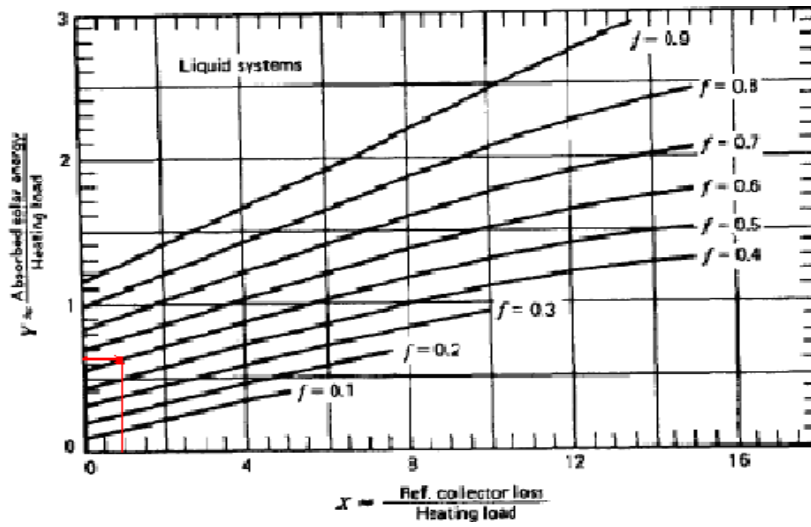
$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{\text{ref}} - \bar{T}_a) \Delta \tau \frac{A_c}{L} \Rightarrow X = 3.67 \cdot 0.9 \cdot (100 - 27.9) \cdot 2678400 \cdot \frac{A_c}{31220098272}$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \frac{F'_R}{F_R} \frac{(\bar{\tau \alpha})}{(\tau \alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A_c}{L} \Rightarrow Y = 0.73 \cdot 0.9 \cdot 0.89 \cdot 23692762.45 \cdot 31 \cdot \frac{A_c}{31220098272}$$

Διαιρώντας κατά μέλη τα X και Y βρίσκεται ότι  $\frac{X}{Y} = 1.485$  και έτσι μπορεί να αποφασισθεί το

ποσοστό μηνιαίας κάλυψης του Ιουλίου που είναι επιθυμητό και κατά συνέπεια να υπολογισθεί η συλλεκτική επιφάνεια. Μετά για αυτή τη συλλεκτική επιφάνεια μπορεί να ευρεθεί τι ποσοστό κάλυψης θα δημιουργείται για τον μήνα Ιούνιο και με αυτό το τρόπο κάνοντας δοκιμές βρίσκεται η πιο κατάλληλη συλλεκτική επιφάνεια. Έστω ότι επιθυμείται κάλυψη 50%, δηλαδή  $f=0.5$ , τότε δίνοντας τυχαία τιμή στο X, υπολογίζεται το Y από τη σχέση X/Y, και για αυτό το ζεύγος τιμών πηγαίνοντας στο διάγραμμα διαπιστώνεται αν όντως αντιστοιχεί σε  $f=0.5$ .

Μετά από δοκιμές, για  $X=0,94 \Rightarrow Y=0,63$ , ισχύει :



Σχήμα 6.5.1 Καμπύλες  $f$  για συστήματα υγρού και υπολογισμός κάλυψης

Φαίνεται λοιπόν ότι όντως για αυτό το ζεύγος τιμών η κάλυψη είναι 50%, και αντικαθιστώντας το  $X=1$  υπολογίζεται ότι :

$$Ac \approx 46 \text{ m}^2$$

Ακολούθως εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία υπολογισμού φορτίου για τον Ιούνιο.

**Για την μέση ημέρα του Ιουνίου**

Επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί φορτίου με τον τρόπο που έγιναν και προηγουμένως (θεωρώντας εδώ ότι η μέση θερμοκρασία είναι  $T_0=25,1\text{ }^\circ\text{C}$  ). Και πάλι, τα φορτία φωτισμού, συσκευών, ανθρώπων θα είναι τα ίδια αφού δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες. Λαμβάνεται τελικά ότι :

**Πίνακας 6.5.20 Υπολογισμοί φορτίων για τη μέση μέρα του Ιουνίου**

	ΟΡΟΦΕΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ	ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ
	q (W)	q (W)	q ολ (W)	Q ολ (W)
1:00	380.145	544.631	55.143	3071.719
2:00	236.694	527.210	16.922	2785.626
3:00	93.243	524.736	4.522	2571.301
4:00	21.518	489.089	4.522	2404.928
5:00	-121.933	452.950	4.522	2169.339
6:00	-193.659	455.424	1166.467	3231.033
7:00	-121.933	410.124	1811.992	3849.983
8:00	21.518	393.536	2030.960	4164.813
9:00	308.420	362.004	1940.076	4301.300
10:00	667.047	345.761	1590.982	5810.590
11:00	1097.400	331.650	1073.541	5911.392
12:00	1527.753	351.545	724.447	6180.546
13:00	1886.381	339.909	671.784	6589.874
14:00	2245.008	357.330	620.142	7001.280
15:00	2460.185	357.330	580.900	7233.215
16:00	2531.910	374.751	503.437	7303.898
17:00	2531.910	395.942	413.574	7291.227
18:00	2316.734	415.001	336.111	7048.646
19:00	2029.832	462.780	194.606	6721.017
20:00	1671.204	469.468	143.985	6349.457
21:00	1312.577	502.296	131.585	6039.257
22:00	1025.675	516.406	93.364	4212.245
23:00	738.773	532.994	67.543	3714.110
0:00	595.322	547.105	55.143	3404.370

Ισχύει ότι η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα είναι  $1003,5\text{ J/kg K}$  και ο ειδικός όγκος του αέρα για τις εξωτερικές θερμοκρασίες βρίσκεται από τον ψυχομετρικό χάρτη ότι είναι  $v=0.86\text{ m}^3/\text{kg}$ . Έχει ήδη αναφερθεί ότι η επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου είναι  $24^\circ\text{C}$  και η υγρασία  $10\text{ g/kg}$  ξ.α. Θεωρείται ότι είναι επιθυμητό ο αέρας που εισέρχεται να είναι παροχής  $\underline{m=3700\text{ m}^3/\text{h}=1.19\text{ kg/s}}$ .

Από τη σχέση (21) λαμβάνεται ότι :

$$\Delta t = \frac{Q}{1194.16} \quad (37)$$

Δηλαδή, με τη δεδομένη παροχή, για να υπάρχουν στο χώρο οι επιθυμητές συνθήκες πρέπει τελικά η διαφορά της θερμοκρασίας του εισερχόμενου αέρα με αυτόν του χώρου να είναι όση δίνει το αποτέλεσμα του παραπάνω τύπου για το συγκεκριμένο φορτίο.

Ακόμα, από τη σχέση (22) βρίσκεται ότι ο εισερχόμενος αέρας πρέπει να έχει λόγο υγρασίας  $W_1=9.92 \text{ g/kg ξ.α.}$

**Πίνακας 6.5.21 Συνολικά φορτία και θερμοκρασία εισόδου για τη μέση μέρα του Ιουνίου**

ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ-ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ( ΜΕΣΗ ΜΕΡΑ ΙΟΥΝΙΟΥ)			
	Q ολ (W)	ΔT (K)	Ti (K)
9:00	4301.30	3.60	20.40
10:00	5810.59	4.87	19.13
11:00	5911.39	4.95	19.05
12:00	6180.55	5.18	18.82
13:00	6589.87	5.52	18.48
14:00	7001.28	5.86	18.14
15:00	7233.21	6.06	17.94
16:00	7303.89	6.12	17.88
17:00	7291.23	6.11	17.89
18:00	7048.65	5.90	18.10
19:00	6721.02	5.63	18.37
20:00	6349.46	5.32	18.68

Όπως αναφέρθηκε, η κατάσταση του αέρα περιβάλλοντος θα θεωρηθεί σταθερή για όλες τις ώρες του μήνα και είναι:  $T_o=25,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , η σχετική υγρασία είναι 53,4 %, επομένως και η απόλυτη υγρασία είναι 10,67 g νερού/kg ξ.α.. Ακόμα, το κτίριο λειτουργεί 12 ώρες μετά τις 9 το πρωί και ότι ο κλιματισμός λειτουργεί μόνον όσο το κτίριο είναι σε λειτουργία, συνεπώς όλοι οι υπολογισμοί θα γίνουν από τις 9:00 το πρωί μέχρι και τις 20:00 το βράδυ, ώρες που γενικά το καλοκαίρι υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία. Όταν δεν υπάρχει ακτινοβολία προς το τέλος της μέρας η δεξαμενή έχει αποθηκεύσει αρκετή θερμότητα ώστε να παρέχει όση ενέργεια χρειάζεται και αν αυτή δεν αρκεί, τότε πρέπει να τεθεί σε λειτουργία ο συμβατικός κλιματισμός.

Είναι πλέον εφικτός ο υπολογισμός των καταστάσεων του αέρα μετά από κάθε υποσύστημα της εγκατάστασής.

Για να υπολογισθούν οι συνθήκες του αέρα καθώς εξέρχεται από τον τροχό desiccant, θα πρέπει να είναι γνωστή η υγρασία του ρεύματος αναγέννησης. Έτσι λοιπόν, γίνεται πάλι η παραδοχή ότι ο χώρος έχει τις επιθυμητές συνθήκες και είναι δυνατόν πλέον μέσω του έμμεσου υγραντήρα να βρεθεί το δεδομένο που λείπει.

**Πίνακας 6.5.22 Κατάσταση αέρα μετά τον έμμεσο υγραντήρα**

ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΕΜΜΕΣΟ ΥΓΡΑΝΤΗΡΑ	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
17.92	12.56

Μπορεί πλέον να υπολογισθεί η κατάσταση μετά τον τροχό που είναι:

**Πίνακας 6.5.23 Κατάσταση αέρα μετά τον τροχό desiccant**

ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ DESICCANT	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
48.7	5.01

Φαίνεται λοιπόν, ότι η θερμοκρασία έχει αυξηθεί και μόνο ο τροχός desiccant δεν αρκεί για να φτάσουμε στις κατάλληλες συνθήκες επομένως θα χρησιμοποιηθεί και το πρώτο στάδιο της διαδικασίας ελέγχου που είναι ο εναλλάκτης θερμότητας. Στη συνέχεια μπορούν να υπολογισθούν οι έξοδοι του εναλλάκτη:

**Πίνακας 6.5.24 Κατάσταση αέρα μετά τον τροχό ανάκτησης**

	ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΤΡΟΧΟ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ	
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
PROCESS AIR STREAM	23.3	5.01
REGENERATION AIR STREAM	40.8	12.56

Συγκρίνοντας τη θερμοκρασία του ρεύματος που πρόκειται να εισέλθει στο χώρο με την επιθυμητή θερμοκρασία Τι, είναι φανερό ότι πάλι είναι απαραίτητη η χρήση του άμεσου υγραντήρα και γιατί η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την επιθυμητή, αλλά και γιατί η υγρασία είναι πολύ χαμηλή. Ισχύει λοιπόν ότι:

**Πίνακας 6.5.25 Κατάσταση αέρα μετά τον άμεσο υγραντήρα**

ΜΕΤΑ ΤΟΝ ΑΜΕΣΟ ΥΓΡΑΝΤΗΡΑ	
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΥΓΡΑΣΙΑ (g/kg)
14.34	8.65

Παρατηρείται ότι η υγρασία είναι χαμηλότερη της προκαθορισμένης, αλλά από τη σχέση (22) βρίσκεται ότι η υγρασία του χώρου θα είναι 8,72 g/kg ξ.α που είναι μέσα στα αποδεκτά πλαίσια του διαγράμματος άνεσης οπότε δεν υπάρχει πρόβλημα. Ακόμα, η θερμοκρασία υπερκαλύπτει τις ανάγκες όλες τις ώρες λειτουργίας του εργαστηρίου. Επομένως θα πρέπει όπως ειπώθηκε και νωρίτερα ή να μεταβληθεί κατάλληλα η θερμοκρασία αναγέννησης ή να τοποθετηθεί σύστημα που να ανοίγει και να κλείνει περιοδικά τον άμεσο υγραντήρα, ώστε να κρατάει σταθερή μια αποδεκτή τιμή θερμοκρασίας.

Ακόμα τονίζεται ότι οι υπολογισμοί έγιναν θεωρώντας ότι η υγρασία του χώρου είναι 10 g/kg. Αν γίνουν ξανά οι υπολογισμοί θεωρώντας την υγρασία του χώρου πλέον κοντά στο 8,7 g/kg θα προκύψουν μικρές διαφορές, επομένως κρατώνται τα δεδομένα όπως υπολογίστηκαν ως τώρα. Άλλωστε δε πρέπει να παραβλέπεται ότι όλη αυτή η διαδικασία έγινε για να ευρεθεί το συνολικό θερμικό φορτίο που εξαρτάται από τη θερμοκρασία εισόδου στο σύστημα θέρμανσης που είναι σχεδόν ίδια.

Θεωρώντας ότι ο υγραντήρας λειτουργεί συνεχώς ισχύει για το θερμικό φορτίο η σχέση (36) όπου το  $C_p=1005 \text{ J/kg K}$ .

Τελικά :

$$Q=34921.7 \text{ W}$$

$$Q(\text{J/day})= 1508619168 \text{ J/day}$$

$$Q (\text{J/month}) = Q (\text{J/day}) \cdot 22 = 33189621696 \text{ J (per month)}.$$

Αφού πλέον έχει υπολογισθεί ότι χρειάζεται για τη μέθοδο f-chart μπορεί πλέον να εφαρμοσθεί. Από τη σχέση (24) λαμβάνεται :

$$X = F_R U_L \frac{F'_R}{F_R} (T_{\text{ref}} - \bar{T}_a) \Delta \tau \frac{A_c}{L} \Rightarrow X = 3.67 \cdot 0.9 \cdot (100 - 25.1) \cdot 2592000 \cdot \frac{A_c}{33189621696}$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \frac{F'_R}{F_R} \frac{(\bar{\tau \alpha})}{(\tau \alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A_c}{L} \Rightarrow Y = 0.73 \cdot 0.9 \cdot 0.89 \cdot 23505910.55 \cdot 30 \cdot \frac{A_c}{33189621696}$$

Διαιρώντας κατά μέλη τα  $X$  και  $Y$  υπολογίζεται ότι  $\frac{X}{Y}=1.555$  και έτσι μπορεί αφού αποφασισθεί το ποσοστό μηνιαίας κάλυψης του Ιουνίου που θέλουμε να έχουμε να υπολογισθεί η συλλεκτική επιφάνεια. Αφού έχουν υπολογισθεί όλα τα μεγέθη που χρειάζονται και για τους δύο μήνες η κάλυψη και η συλλεκτική επιφάνεια από τη συσχέτιση υπολογίζεται από τη σχέση (23) :

Πρέπει να σημειωθεί ότι η συσχέτιση ισχύει με τις εξής προϋποθέσεις:

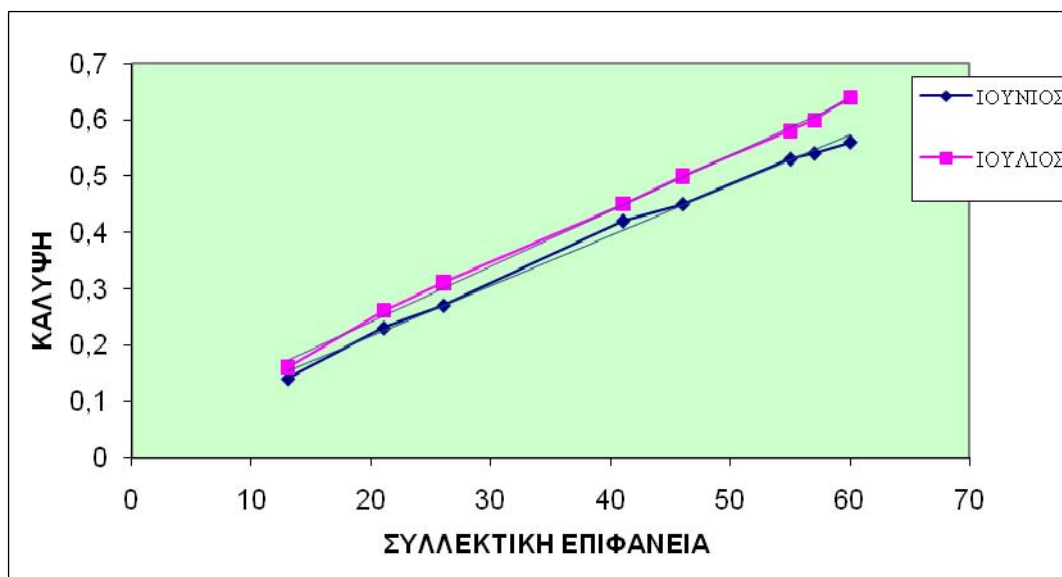
1. η δεξαμενή να έχει χωρητικότητα  $75 \text{ l/m}^2$
2. το μέγεθος του εναλλάκτη (υγρού-αέρα) χαρακτηρίζεται από την παράμετρο  $(\varepsilon_L C_{\min})/(UA)_h = 2$

Για τις υπόλοιπες τιμές η συσχέτιση ισχύει αρκεί να γίνουν κάποιες διορθώσεις. Στη προκειμένη περίπτωση θεωρείτε ότι η δεξαμενή έχει χωρητικότητα  $75 \text{ l/m}^2$ , οπότε δε χρειάζεται διόρθωση. Όσον αφορά τον εναλλάκτη με βάση τα δεδομένα που έχουν αναφερθεί προηγουμένως:  $\varepsilon_L=0,403$ ,  $C_{\min}=1110 \text{ W/C}$  και  $(UA)_h=71.29 \text{ W/C}$ . Τελικά  $(\varepsilon_L C_{\min})/(UA)_h=6,27$  και θεωρείτε ότι η διόρθωση θα δώσει αμελητέα διαφορά οπότε δε λαμβάνεται υπόψη.

Ισχύει λοιπόν για διάφορα ποσοστά κάλυψης:

**Πίνακας 6.5.26 Ποσοστιαία κάλυψη του θερμικού φορτίου και συλλεκτική επιφάνεια**

ΜΗΝΑΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ	ΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (m <sup>2</sup> )
ΙΟΥΝΙΟΣ	14%	13
ΙΟΥΛΙΟΣ	16%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	23%	21
ΙΟΥΛΙΟΣ	26%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	27%	26
ΙΟΥΛΙΟΣ	31%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	42%	41
ΙΟΥΛΙΟΣ	45%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	45%	46
ΙΟΥΛΙΟΣ	50%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	53%	55
ΙΟΥΛΙΟΣ	58%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	54%	57
ΙΟΥΛΙΟΣ	60%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	56%	60
ΙΟΥΛΙΟΣ	64%	
ΙΟΥΝΙΟΣ	84%	103,5
ΙΟΥΛΙΟΣ	92%	



**Σχήμα 6.5.2 Ποσοστιαία κάλυψη του μηνιαίου θερμικού φορτίου συναρτήσει της συλλεκτικής επιφάνειας**

Για να επιλεγθεί η συλλεκτική επιφάνεια που χρειάζεται, τα παραπάνω δεδομένα δεν αρκούν. Η σωστή επιλογή θα προέκυπτε αν λαμβάνονταν υπόψη και οι άλλες χρήσεις για τις οποίες προορίζεται το σύστημα, όπως η θέρμανση με χρήση της ηλιακής θερμικής ενέργειας κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και η σκίαση των ηλιακών συλλεκτών, αλλά και η στέγη μέρος της οποίας μπορεί να είναι κατελιμμένο. Ακόμα απαραίτητη θα ήταν και η τεchnοοικονομική ανάλυση όπου θα έπρεπε να συνεκτιμηθεί τόσο το κόστος εγκατάστασης των ηλιακών συστημάτων, όσο και το κόστος απόκτησης και συντήρησης του εναλλακτικού συστήματος πρόσδοσης θερμότητας, το κόστος χρήσης του και το ποσό που εξοικονομείται με το να μη χρησιμοποιείται.

Επειδή στη παρούσα φάση δεν μελετώνται οι εναλλακτικές χρήσεις του συστήματος και δεν απασχολούν τεchnοοικονομικά κριτήρια, δε μπορεί να γίνει αξιόπιστη επιλογή της συλλεκτικής επιφάνειας. Άλλωστε σκοπός της εργασίας ήταν η μέθοδος σχεδιασμού του συστήματος.

#### 6.5.5.4 Επιλογή του εναλλάκτη υγρού-υγρού εναλλάκτη, δεξαμενής αποθήκευσης,

*εναλλακτική πηγή θερμότητας, ανεμιστήρα, συστήματος ελέγχου*

Για την επιλογή του εναλλάκτη υγρού-υγρού, είναι απαραίτητη η ισχύς του ηλιακού πεδίου. Γνωρίζοντας τη συλλεκτική επιφάνεια θα ήταν δυνατόν να υπολογισθεί η παροχή του θερμικού φορέα του κυκλώματος του συλλέκτη και συνεπώς να επιλεγθεί ο εναλλάκτης. Ωστόσο αυτό ξεφεύγει από τα πλαίσια της εργασίας οπότε απλά αναφέρεται ότι ο εναλλάκτης που θα χρησιμοποιηθεί είναι πλακοειδής.

Η επιλογή της δεξαμενής αποθήκευσης δεν ενδιαφέρει ιδιαίτερα, συνεπώς απλά αναφέρεται ότι θα έχει χωρητικότητα  $75 \text{ l/m}^2$  συλλεκτικής επιφάνειας.

Η επιλογή της εναλλακτικής πηγή θερμότητας, του ανεμιστήρα και του συστήματος ελέγχου ξεφεύγει από τα όρια της εργασίας και έτσι δε θα επιλεγθούν συγκεκριμένες εταιρείες και συστήματα.



## 6.6 Υπολογισμός απόδοσης συστήματος desiccant-COP

Ο υπολογισμός του COP θα γίνει με βάση τις ενθαλπίες του αέρα στις διάφορες καταστάσεις για την ακραία περίπτωση που εξετάστηκε. Ισχύει λοιπόν:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_8 - h_7} \quad (38)$$

Από τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί ως τώρα στην ενότητα 6.5 προκύπτει ότι:

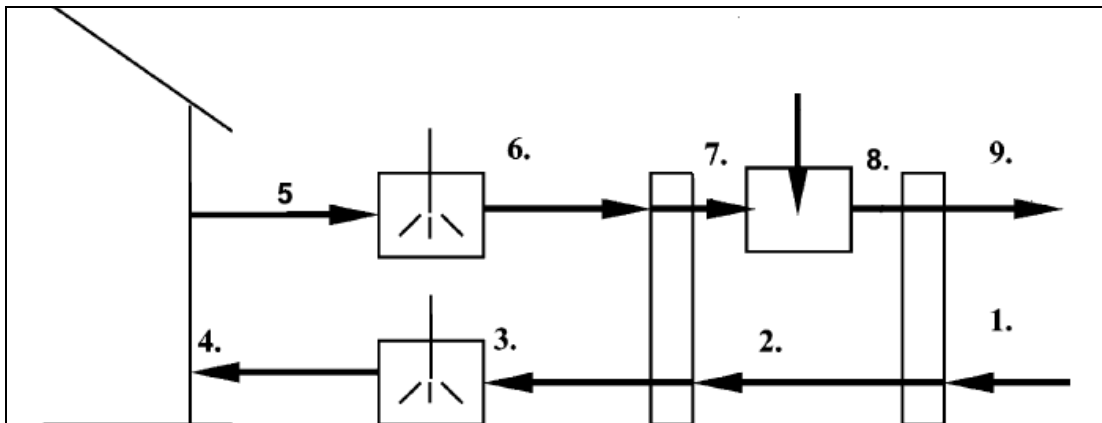
$$h_1 = 80.18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 51.06 \text{ kJ/kg}$$

$$h_8 = 108.2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_7 = 87.47 \text{ kJ/kg}$$

Τελικά προκύπτει ότι  $COP = 1,4$



Σχήμα 6.6.1 Καταστάσεις του αέρα στις διάφορες θέσεις.

# 7

## *Επίλογος*

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να γίνει η σύνοψη της διπλωματικής και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από όσα έχουν προηγηθεί ως τώρα.

### *7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα*

Από την μέχρι τώρα ανάλυση έχουν προκύψει τα ακόλουθα συμπεράσματα που αξίζει να τονισθούν:

1. Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό ενός συστήματος κλιματισμού desiccant είναι ότι είναι κατάλληλο για την ανεξάρτητη ρύθμιση της θερμοκρασίας και υγρασίας στο χώρο. Ο τροχός desiccant δεσμεύει μόνο το λανθάνον φορτίο και στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον συστήματα για την ψύξη και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του αέρα αλλά και για τη ρύθμιση της υγρασίας του στα επιθυμητά επίπεδα.
2. Ένα σύστημα κλιματισμού desiccant επιτρέπει τη διακίνηση μεγάλων παροχών αέρα και έτσι διευκολύνει την επίτευξη κατάλληλων συνθηκών από την άποψη της θερμικής άνεσης και της υγιεινής. Ακόμα, επειδή ο αέρας έχει πολύ χαμηλότερη υγρασία κατά μήκος του αγωγού προσαγωγής του αέρα στο χώρο σε σχέση με άλλες εγκαταστάσεις κλιματισμού, εξασφαλίζεται στεγνό και καθαρό δίκτυο σωληνώσεων χωρίς μικρόβια, παθογόνους μικροοργανισμούς και μύκητες και συνεπώς, συμβάλλει στο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για αποδεκτή ποιότητα αέρα (IAQ) όπως έχει παρουσιασθεί στο κεφάλαιο 3.
3. Τα συστήματα κλιματισμού desiccant δίνουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί χαμηλού κόστους θερμική ενέργεια για τη λειτουργία τους, όπως εναλλακτικές ενέργειες (στη προκειμένη περίπτωση ο ήλιος) και για το λόγο αυτό οδηγούν σε χαμηλό μέγιστο ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, αφού χρησιμοποιείται συγκριτικά πολύ λιγότερη συμβατική ενέργεια.

4. Τα συστήματα κλιματισμού desiccant παρουσιάζουν δυσκολία ως προς την επιλογή των κατάλληλων υποσυστημάτων και το σχεδιασμό. Η δυσκολία αυτή έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχουν πολλές παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία τους και οι οποίες αλληλοεξαρτώνται, με αποτέλεσμα ο σχεδιαστής να πρέπει να κάνει πολλές υποθέσεις και να τις επανεξετάζει συνεχώς.
5. Το COP του συστήματος είναι χαμηλότερο από τα συμβατικά κλιματιστικά συστήματα.

## **7.2 Μελλοντικές επεκτάσεις**

Στην παρούσα διπλωματική εξετάσθηκαν τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού από την τεχνολογική σκοπιά και δόθηκε έμφαση στα λειτουργικά τους κομμάτια και στη σύνθεση αυτών. Σκόπιμο θα ήταν να γίνει μια αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τεχνοοικονομικής άποψης, κάτι που θα είχε εξαιρετικό ενδιαφέρον ως προς τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν και που θα έδινε το έναυσμα για την αναζήτηση άλλων συστημάτων και εναλλακτικών διαμορφώσεων πιο εφαρμόσιμων στη πράξη από οικονομική άποψη.

# 8

## *Βιβλιογραφικές αναφορές*

- [1] American Gas Cooling Center (1999). Application Engineering Manual for Desiccant Systems
- [2] ASHRAE (1995). Handbook of Fundamentals
- [3] F. C. McQuiston, J.D. Parker, J.D. Spitler. Heating, Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design. John Wiley&Sons Inc 2004
- [4] K.A. Joudi, N,S, Dhaidan. Application of Solar Assisted Heating and Desiccant Cooling Systems for a Domestic Building. Energy Conversion and Management 42 (2001) 995-1022
- [5] ASHRAE (1996). Handbook HVAC Systems and Equipment
- [6] G. Grossman, A. Johannsen. Solar Cooling and Air Conditioning. Prog. Energy Combust Sci.(1981), Vol 7:185-228
- [7] P.J. Banks. Prediction of Heat and Water Vapour Exchanger Performance from that of a Similar Heat Exchanger. Compact Heat Exchangers-History, Technological Advancement, and Mechanical Design Problems (ASME Winter Annual Meeting), HTD-10, 57, Nov. (1980)
- [8] Klingenburg GmbH ([www.klingenburg.de](http://www.klingenburg.de))
- [9] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [10] J.A. Duffie, W.A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley&Sons Inc 1980
- [11] ASHRAE (1999). Applications Handbook

- [12] <http://www.daviddarling.info>
- [13] Κ.Α Αντωνόπουλου. Θερμικά- Ηλιακά Συστήματα Μέρος Πρώτο. Σημειώσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα 2007
- [14] Κ.Α Αντωνόπουλου. Κλιματισμός Μέρος Πρώτο. Σημειώσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα 2007
- [15] LaRoche Novelaire Inc. ([www.novelaire.com](http://www.novelaire.com))
- [16] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας ΚΑΠΕ (<http://www.cres.gr>)
- [17] ASHRAE (2005). Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning
- [18] Munters Co. ([www.munters.co.uk](http://www.munters.co.uk))
- [19] <http://www.globalairfiltration.com>
- [20] <http://www.retscreen.net>
- [21] W.C. Dickinson, P.N. Cheremisinoff. Solar Energy Technology Handbook/Part A Engineering Fundamentals. New York: Marcel Dekkar, Inc., 1980.
- [22] Desiccant Rotors International DRI ([www.drirotors.com](http://www.drirotors.com) )
- [23] S.P. Halliday, C.B. Beggs, P.A. Sleigh. The use of solar desiccant cooling in the UK: a feasibility study. Applied Thermal Engineering 22 (2002) 1327–1338
- [24] S. Jain, P.L. Dhar, S.C Kaushik. Evaluation of solid-desiccant-based evaporative cooling cycles for typical hot and humid climates. Int. J. Refrigeration 18 (5) (1995) 287–296
- [25] G.A. Florides, S.A. Tassou, S.A. Kalogirou, L.C. Wrobel. Review of solar and low energy cooling technologies for buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews 6 (2002) 557–572
- [26] G. Grossman. Solar Powered Systems For Cooling, Dehumidification and Air Conditioning. Solar Energy Vol. 72, No. 1 (2002), 53–62
- [27] J.J. Jurinac, J.W. Mitchell, W.A. Beckman. Open Cycle Desiccant Air Conditioning as an Alternative to Vapor Compression Cooling in Residential Applications. Journal of solar energy engineering vol. 106 (1984) 252-260
- [28] J.S. Nelson, W.A. Beckman, J.W. Mitchell, D.J. Close. Simulations of the Performance of Open Cycle Desiccant Systems Using Solar Energy. Solar Energy Vol. 21 273-278

- [29] H.M Henning, T. Erpenbeck, C.Hindenbunrg, I.S. Santamaria. The Potential of Solar Use in Desiccant Cooling Cycles. *International Journal of Refrigeration* 24 (2001) 220-229
- [30] A.A Pesaran, T.R. Penney, A.W. Czanderna. *Desiccant Cooling State-of-the-Art Assessment*. National Renewable Energy Laboratory 1992
- [31] B.S. Davanagere, S. A. Sherif, D. Y. Goswami. A Feasibility Study of a Solar Desiccant Air-Conditioning System-Part I:Psychrometrics and Analysis of the Conditioned Zone *Int. J. Energy Res.* 23 (1999), 7- 21
- [32] R. Besta, N. Ortega. *Solar Refrigeration and Cooling*. Renewable Energy 1999
- [33] Mavroudaki, Halliday, Beggs, Sleight. The Potential for Solar Powered Single-Stage Desiccant Cooling in Southern Europe. *Applied Thermal Engineering* 22 (2002) 1129-1140

## Παράρτημα

Πίνακας 1 Τυπικές τιμές του μεταβολικού ρυθμού για διάφορες δραστηριότητες [2]

	W/m <sup>2</sup>	met <sup>2</sup>
<b>Resting</b>		
Sleeping	40	0.7
Reclining	45	0.8
Seated, quiet	60	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
<b>Walking (on level surface)</b>		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3.8
<b>Office Activities</b>		
Reading, seated	55	1.0
Writing	60	1.0
Typing	65	1.1
Filing, seated	70	1.2
Filing, standing	80	1.4
Walking about	100	1.7
Lifting/packing	120	2.1
<b>Driving/Flying</b>		
Car	60 to 115	1.0 to 2.0
Aircraft, routine	70	1.2
Aircraft, instrument landing	105	1.8
Aircraft, combat	140	2.4
Heavy vehicle	185	3.2
<b>Miscellaneous Occupational Activities</b>		
Cooking	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	130	2.2
<b>Machine work</b>		
sawing (table saw)	105	1.8
light (electrical industry)	115 to 140	2.0 to 2.4
heavy	235	4.0
Handling 50 kg bags	235	4.0
Pick and shovel work	235 to 280	4.0 to 4.8
<b>Miscellaneous Leisure Activities</b>		
Dancing, social	140 to 255	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	175 to 235	3.0 to 4.0
Tennis, singles	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball	290 to 440	5.0 to 7.6
Wrestling, competitive	410 to 505	7.0 to 8.7

**Πίνακας 2 Ασθένειες σχετιζόμενες με την ποιότητα αέρα στα κτίρια [2]**

Illness	Physical Examination	Laboratory Testing	Linkage	Causes/Exposures
Allergic Rhinitis, Sinusitis	Stuffy/runny nose, post-nasal drip, pale or erythematous mucosa	Anterior and posterior rhinomanometry, acoustic rhinometry, nasal lavage, biopsy, rhinoscopy, RAST or skin prick testing	Immunologic skin prick or RAST testing, bracketed physiology	Mold, pollen, and dust mites are common examples
Building-related asthma	Coughing, wheezing, episodic dyspnea, wheezing on examination, chest tightness, temporal pattern at work	Spirometry before and after work at start of week, peak expiratory flow diary, methacholine challenge	Immunology testing: skin prick or RAST; physiology testing*	Pet dander, mold, environmental tobacco smoke, and dust mites are common examples
Organic dust toxic syndrome	Cough, dyspnea, chest tightness, feverishness	DLCO, TLC	Temporal pattern related to work	Gram-negative bacteria or endotoxin
Hypersensitivity pneumonitis	Cough, dyspnea, myalgia, weakness, rales, clubbing, feverishness	DLCO, FVC, TLC, CXR, lung biopsy	Immunology testing: IgG antibody to agents present, challenge testing, physiology testing (in acute forms): spirometry, DLCO	Causative agents include thermophilic actinomycetes; molds; mixed amoebae, fungi, and bacteria; avian proteins; certain metals and chemicals
Contact dermatitis	Dry skin, itching, scaling skin	Scaling, rash, eczema, biopsy	Patch testing; allergy testing	Range of microorganisms, chemicals
Urticaria (hives)	Multiple swollen raised itchy areas of skin	Inspection, biopsy	Provocation testing	Skin irritation, foods, heat/cold, direct pressure, sunlight, drugs
Eye irritation	Eye itching, irritation, dryness	Tear-film break-up time, conjunctival staining (fluorescein)	Temporal pattern	Low relative humidity, VOCs, and particulate matter are common examples
Nasal irritation	Stuffy, congested nose, rhinitis	Acoustic rhinometry, posterior and anterior rhinomanometry, nasal lavage, nasal biopsy	Temporal pattern	Low relative humidity, VOCs, and particulate matter are common examples
Central nervous system symptoms	Headache, fatigue, irritability, difficulty concentrating	Neuropsychological testing	Temporal pattern (epidemiology)	Organic compounds, noise, lighting, work stress, and carbon monoxide are common examples
Legionnaires' disease	Pneumonia	History, <i>Legionella pneumophila</i> identification from patient	Organism isolated from patient and source; immunology testing	<i>Legionella pneumophila</i> -contaminated aerosols from water sources
Pontiac fever	Non-pneumonic flulike illness	History		<i>Legionella</i> -contaminated aerosols from water sources



Πίνακας 3 Τυπικές τιμές αερισμού [3]

Application	Estimated Maximum* Occupancy P/1000 ft <sup>2</sup> or 100 m <sup>2</sup>	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/person	L/s-person	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s-m <sup>2</sup>	
<b>Dry Cleaners, Laundries</b>						
Commercial laundry	10	25	13			Dry-cleaning processes may require more air.
Commercial dry cleaner	30	30	15			
Storage, pick up	30	35	18			
Coin-operated laundries	20	15	8			
Coin-operated dry cleaner	20	15	8			
<b>Food and Beverage Service</b>						
Dining rooms	70	20	10			Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Cafeteria, fast food	100	20	10			
Bars, cocktail lounges	100	30	15			
Kitchens (cooking)	20	15	8			Makeup air for hood exhaust may require more ventilating air. The sum of the outdoor air and transfer air of acceptable quality from adjacent spaces shall be sufficient to provide an exhaust rate of not less than 1.5 cfm/ft <sup>2</sup> (7.5 L/s-m <sup>2</sup> ).

<b>Garages, Repair, Service Stations</b>						
Enclosed parking garage				1.50	7.5	Distribution among people must consider worker location and concentration of running engines; stands where engines are run must incorporate systems for positive engine exhaust withdrawal. Contaminant sensors may be used to control ventilation.
Auto repair rooms				1.50	7.5	
<b>Hotels, Motels, Resorts, Dormitories</b>						
				<u>cfm/room</u>	<u>L/s-room</u>	Independent of room size.
Bedrooms				30	15	
Living rooms				30	15	
Baths				35	18	Installed capacity for intermittent use.
Lobbies	30	15	8			See also food and beverage services, merchandising, barber and beauty shops, garages. Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Conference rooms	50	20	10			
Assembly rooms	120	15	8			
Dormitory sleeping areas	20	15	8			
Gambling casinos	120	30	15			
<b>Offices</b>						
Office space	7	20	10			Some office equipment may require local exhaust.
Reception areas	60	15	8			
Telecommunication centers and data entry areas	60	20	10			Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Conference rooms	50	20	10			

Application	Estimated Maximum <sup>b</sup> Occupancy P/1000 ft <sup>2</sup> or 100 m <sup>2</sup>	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/person	L/s-person	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s-m <sup>2</sup>	
<b>Public Spaces</b>						
Corridors and utilities				0.05	0.25	
Public restrooms, cfm/wc or cfm/urinal		50	25	0.5	2.5	Normally supplied by transfer air. Local mechanical exhaust with no recirculation recommended.
Locker and dressing rooms						
Smoking lounge	70	60	30			
Elevators				1.00	5.0	Normally supplied by transfer air.
<b>Retail Stores, Sales Floors, and Show Room Floors</b>						
Basement and street	30			0.30	1.50	
Upper floors	20			0.20	1.00	
Storage rooms	15			0.15	0.75	
Dressing rooms				0.20	1.00	
Malls and arcades	20			0.20	1.00	
Shipping and receiving	10			0.15	0.75	
Warehouses	5			0.05	0.25	
Smoking lounge	70	60	30			Normally supplied by transfer air, local mechanical exhaust; exhaust with no recirculation recommended.

<b>Specialty Shops</b>						
Barber	25	15	8			
Beauty	25	25	13			
Reducing salons	20	15	8			
<b>Florists</b>						
Florists	8	15	8			Ventilation to optimize plant growth may dictate requirements.
Clothiers, furniture				0.30	1.50	
Hardware, drugs, fabric	8	15	8			
Supermarkets	8	15	8			
Pet shops				1.00	5.00	
<b>Sports and Amusement</b>						
Spectator areas	150	15	8			When internal combustion engines are operated for maintenance of playing surfaces, increased ventilation rates may be required.
Game rooms	70	25	13			
Ice arenas (playing areas)				0.50	2.50	
Swimming pools (pool and deck area)				0.50	2.50	Higher values may be required for humidity control.
Playing floors (gymnasium)	30	20	10			
Ballrooms and discos	100	25	13			
Bowling alleys (seating areas)	70	25	13			
<b>Theaters</b>						
Ticket booths	60	20	10			Special ventilation will be needed to eliminate special stage effects (e.g., dry ice vapors, mists, etc.)
Lobbies	150	20	10			
Auditorium	150	15	8			
Stages, studios	70	15	8			
<b>Transportation</b>						
Waiting rooms	100	15	8			Ventilation within vehicles may require special considerations.
Platforms	100	15	8			
Vehicles	150	15	8			

Application	Estimated Maximum Occupancy P/1000 ft <sup>2</sup> or 100 m <sup>2</sup>	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/ person	L/s- person	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s-m <sup>2</sup>	
<b>Workrooms</b>						
Meat processing	10	15	8			Spaces maintained at low temperatures (– 10°F to + 50°F, or – 23°C to + 10°C) are not covered by these requirements unless the occupancy is continuous. Ventilation from adjoining spaces is permissible. When the occupancy is intermittent, infiltration will normally exceed the ventilation requirement.
Photo studios	10	15	8			
Darkrooms	10			0.50	2.50	
Pharmacy	20	15	8			
Bank vaults	5	15	8			
Duplicating, printing				0.50	2.50	Installed equipment must incorporate positive exhaust and control (as required) of undesirable contaminants (toxic or otherwise).

Institutional Facilities						
<b>Education</b>						
Classroom	50	15	8			Special contaminant control systems may be required for
Laboratories	30	20	10			
Training shop	30	20	10			
<b>Music rooms</b>						
Libraries	20	15	8			processes or functions including laboratory animal occupancy.
Locker rooms				0.50	2.50	
Corridors				0.10	0.50	
Auditoriums	150	15	8			
Smoking lounges	70	60	30			Normally supplied by transfer air. Local mechanical exhaust with no recirculation recommended.
<b>Hospitals, Nursing and Convalescent Homes</b>						
Patient rooms	10	25	13			Special requirements or codes and pressure relationships may determine minimum ventilation rates and filter efficiency. Procedures generating contaminants may require higher rates.
Medical procedure	20	15	8			
Operating rooms	20	30	15			
Recovery and ICU	20	15	8			
Autopsy rooms				0.50	2.50	Air shall not be recirculated into other spaces.
Physical Therapy	20	15	8			
<b>Correctional Facilities</b>						
Cells	20	20	10			
Dining halls	100	15	8			
Guard stations	40	15	8			

**Πίνακας 4 Όρια συγκέντρωσης και σύγκριση μεταξύ των περιβαλλοντικών προτύπων [2]**

	Canadian	WHO/Europe	NAAQS/EPA <sup>f</sup>	NIOSH REL (TWA) <sup>h</sup>	OSHA (TWA) <sup>h</sup>	ACGIH (TWA) <sup>h</sup>	MAK <sup>g</sup> (TWA) <sup>h</sup>
Acrolein	0.02 ppm <sup>a</sup>			0.1 ppm 0.3 ppm (15 min)	0.1 ppm	C 0.1 ppm, A4	
Acetaldehyde	5.0 ppm			Ca: ALARA <sup>b</sup>	200 ppm	C 25 ppm	50 ppm 100 ppm (5 min)
Formaldehyde	0.1 ppm <sup>c</sup>	0.081 ppm		0.016 ppm 0.1 ppm (15 min) Ca	0.75 ppm 2 ppm (15 min) Ca	C 0.3 ppm, A2	0.5 ppm 1.0 ppm (5 min)
Carbon dioxide	3500 ppm			5000 ppm 30 000 ppm (15 min)	5000 ppm	5000 ppm 30 000 ppm (15 min)	5000 ppm 10 000 ppm (60 min)
Carbon monoxide	11 ppm (8 h) 25 ppm (1 h)	8.6 ppm (8 h) 25 ppm (1 h) 51 ppm (30 min) 86 ppm (15 min)	9 ppm (8 h) 35 ppm (1 h)	35 ppm C 200 ppm	50 ppm	25 ppm	30 ppm 60 ppm (30 min)
Nitrogen dioxide	0.05 ppm 0.25 ppm (1 h)	0.08 ppm (24 h) 0.2 ppm (1 h)	0.053 ppm (1 yr)	1 ppm (15 min)	C 5 ppm	3 ppm 5 ppm (15 min), A4	5 ppm 10 ppm (5 min)
Ozone	0.12 ppm (1 h); no long-term level	0.08 ppm (8 h) 0.1 ppm (1 h)	0.12 ppm (1 h) 0.085 ppm (8 h)	C 0.1 ppm	0.1 ppm	0.05 ppm, A4 (for heavy work) 0.2 ppm (2 h) (light, moderate, or heavy work)	
Particles <2.5 MMAD <sup>d</sup>	40 µg/m <sup>3</sup> (8 h) 100 µg/m <sup>3</sup> (1 h)		50 g/m <sup>3</sup> (1 yr)		5 mg/m <sup>3</sup> (respirable fraction)	3 mg/m <sup>3</sup> (8 h) (no asbestos, <1% crystalline silica, with median cut point of 4.0 µm)	5 mg/m <sup>3</sup> (respirable fraction)
Sulfur dioxide	0.019 ppm 0.38 ppm (5 min)			2 ppm (8 h) 5 ppm (15 min)	5 ppm	2 ppm 5 ppm (15 min)	0.5 ppm 1.0 ppm (5 min)
Radon	800 Bq/m <sup>3</sup> <sup>e</sup>		4 pCi/l				
Relative humidity	30 to 80% (summer) 30 to 55% (winter)						