



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική εργασία

**Μοντελοποίηση Συμπεριφοράς Εξατμιστικών
Ψυκτών τύπου Maisotsenko**

Επιμέλεια

Αναγνώστου Παναγιώτης (Α.Μ.: 02106699)

Επίβλεψη

Εμμανουήλ Ρογδάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	
Περίληψη	
Abstract	
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εισαγωγικές έννοιες	1
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Περιγραφή της εξατμιστικής ψύξης	3
2.1: Άμεση εξατμιστική ψύξη	3
2.2: Έμμεση εξατμιστική ψύξη.....	6
2.3: Συνδυασμός άμεσης και έμμεσης εξατμιστικής ψύξης.....	9
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Ο κύκλος του Maisotsenko	13
3.1: Η λειτουργία του κύκλου του Maisotsenko.....	13
3.2: Κατασκευή και λειτουργικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που βασίζονται στον κύκλο του Maisotsenko	15
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Γενική εισαγωγή και στόχοι του πειράματος	17
4.1: Εξαρτήματα πειραματικής διάταξης.....	18
4.2: Κατασκευή πειραματικής διάταξης	19
4.3: Συμπεράσματα και προβληματισμοί που δημιουργήθηκαν κατά τη διαδικασία εγκατάστασης του πειράματος	33
5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας	35
5.1: Επεξεργασία Μετρήσεων	35
5.2: Παρουσίαση των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου – διαγράμματα & πίνακες	37
6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Υπολογιστική προσομοίωση εξατμιστικού ψύκτη	49
6.1: Αποτελέσματα προσομοίωσης	51
6.2: Σύγκριση πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων.....	66
6.3: Συμπεράσματα	67
7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Αξιοποίηση βρόχινου νερού	69
7.1: Διαδικασία υπολογισμού	69
7.2: Δεδομένα και αποτελέσματα της μελέτης	70
7.3: Συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη.....	73
8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Συμπεράσματα	77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Πρόγραμμα προσομοίωσης του εναλλάκτη	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	105

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Εμμανουήλ Ρογδάκη για την πολύτιμη βοήθεια, υποστήριξη και καθοδήγηση του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Υ.Δ. κ. Δημήτριο Τερτίπη για τη βοήθεια, το χρόνο που μου παρείχε αλλά και την ανοχή και υπομονή που έδειξε κατά τη διάρκεια της μελέτης. Επίσης, ευχαριστώ τον συνάδελφο Διαμαντή Δημήτρη, χωρίς τη συνεργασία, τις γνώσεις και το χρόνο εκείνου αλλά και του κ. Τερτίπη, η κατασκευή της πειραματικής διάταξης θα ήταν αδύνατη. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον κ. Νικόλαο Τσουκαλά, ο οποίος πρόσφερε εθελοντικά τις γνώσεις σε καίρια σημεία κατά τη διάρκεια κατασκευής της πειραματικής μονάδας. Η παρούσα εργασία αφιερώνεται σε όλους τους παραπάνω, χωρίς την βοήθεια των οποίων η εργασία αυτή δεν θα ήταν ολοκληρωμένη.

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας

Διπλωματική Εργασία

Επιμέλεια

Παναγιώτης Ν. Αναγνώστου

Επιβλέπων

Εμμανουήλ Δ. Ρογδάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη μιας μονάδας εξατμιστικού ψύκτη στην οποία εφαρμόζεται ο κύκλος του Maisotsenko.

Αρχικά παρουσιάζονται, στο Κεφάλαιο 2, τα συστήματα εξατμιστικής ψύξης, τα οποία προϋπήρχαν του συστήματος που εφαρμόζει τον κύκλο του Maisotsenko. Αυτά είναι ο άμεσος, ο έμμεσος εξατμιστικός ψύκτης και αυτός του συνδυασμένου κύκλου. Στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών αλλά και ο λόγος που αυτά τα συστήματα δεν κατάφεραν να εισχωρήσουν με επιτυχία και να επικρατήσουν στην αγορά.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας των εξατμιστικών ψυκτών, οι οποίοι εφαρμόζουν τον κύκλο του Maisotsenko. Γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα που έχουν και εξηγείται γιατί επικράτησαν έναντι των προγενέστερων συστημάτων εξατμιστικών ψυκτών. Οι βασικός λόγος ήταν ο συνδυασμός της υψηλότερης απόδοσης με τις κατάλληλες συνθήκες με τις οποίες προκύπτει ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται στο κλιματιζόμενο χώρο, δηλαδή ψυχρός και ξηρός. Για να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη αυτού του συστήματος αρχικά κατασκευάστηκε μια διάταξη τέτοιου τύπου, η οποία κατασκευάστηκε από το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής ΕΜΠ· ο τρόπος κατασκευής και εγκατάστασης αυτής της μονάδας παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας. Επίσης, στο ίδιο Κεφάλαιο γίνεται λόγος για τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν, για τα μετρητικά όργανα τα οποία τοποθετήθηκαν, τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά καθώς και τα σφάλματα, τα οποία εισάγουν στις μετρήσεις.

Τα πιο ενδιαφέροντα σενάρια των μετρήσεων αυτών παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5, στο οποίο μπορεί να μελετήσει κανείς τους πίνακες των αποτελεσμάτων αλλά και τα διαγράμματα των βασικών αποτελεσμάτων, όπως του βαθμού απόδοσης υγρού βολβού (η), της ψυκτικής ισχύος (Q_c) καθώς και της ειδικής κατανάλωσης νερού (swc). Γίνεται σχολιασμός αυτών και εξάγονται συμπεράσματα για την ορθότητα των λεγομένων του κατασκευαστή. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται η δυνατότητα παραμετροποίησης του ψύκτη, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσής του.

Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 6 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από ένα πρόγραμμα προσομοίωσης της μονάδας, το οποίο γράφτηκε στο πρόγραμμα Mathcad. Παρουσιάζονται επίσης οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν και η μέθοδος υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε, αυτή των πεπερασμένων διαφορών. Τέλος, στο ίδιο Κεφάλαιο γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων, αλλά κυρίως γίνεται σύγκριση αυτών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων, το οποίο ήταν και ο αρχικός και βασικός στόχος της παρούσας μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται μια μελέτη για την αξιοποίηση του βρόχινου νερού για τον υπό μελέτη σύστημα. Αφού, όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 3 κύριο μειονέκτημα όλων των εξαμιστικών ψυκτών, άρα και αυτού που εφαρμόζει τον κύκλο του Maisotsenko είναι ότι η λειτουργία τους βασίζεται στη χρησιμοποίηση μιας ποσότητας νερού. Εξετάζεται λοιπόν αν το νερό αυτό επαρκεί για τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος σε διάφορες πόλεις στη Ελλάδα, αλλά και η ελάχιστη επιφάνεια που απαιτείται για τη συλλογή αυτού.

School of Mechanical Engineering, Thermal Section
National Technical University of Athens

Diploma Thesis

Student

Anagnostou Panayiotis

Supervisor

Professor Emmanuel Rogdakis

Abstract

The aim of this thesis is to study an evaporative cooler unit to which the cycle of Maisotsenko is applied.

Originally evaporative cooling systems are presented in Chapter 2, which were designed system earlier than the system in which Maisotsenko Cycle is applied. These are the direct, the indirect evaporative cooler and the cooler of the combined cycle. In the same chapter are presented the advantages and disadvantages of these systems but also why these systems failed to penetrate successfully and dominate the market.

Chapter 3 shows how evaporative coolers, which implement cycle Maisotsenko, operate. Mention is made of the advantages and disadvantages of these systems and why they prevailed over the prior systems of evaporative coolers. The main reason was the combination of higher performance with appropriate conditions of the air, which enters the conditioned space. That is cold and dry. To do a comprehensive study of this system a device of this type was initially built, which is installed at the laboratories of applied thermodynamics at NTUA.

The construction and installation of this unit is presented in Chapter 4 of this thesis. Also in the same chapter are mentioned the materials which were used, the measuring instruments which were placed, the characteristics and the errors which they introduce in measurements. The most interesting scenarios of these measurements are presented in Chapter 5.

This Chapter also contains the results tables and charts of the key results, such as wet bulb efficiency, cooling capacity (Q_c) and the coefficient of water consumption (swc). These are also commented and draw conclusions about the correctness of the sayings of the manufacturer.

Thereafter in Chapter 6 are presented the results of a program, which simulates the unit and was written in Mathcad. Also in this Chapter are presented the equations and the method of the calculation used, which is the method of the finite difference. Finally, in the same Chapter the results of this program are discussed, but mostly are compared with the corresponding results of experimental measurements, which was the first and main objective of this study.

Chapter 7 presents a study on the use of rainwater for the considered system. Since, as mentioned in Chapter 3 main drawback of all evaporative coolers and thus applying this cycle Maisotsenko is that the operation is based on using a quantity of water. Therefore was calculated whether the water is sufficient to run such a system in various cities in Greece, but also which is the minimum area required to collect it.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Η κατανάλωση ενέργειας παγκοσμίως αυξάνεται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό έχουν συμβάλει η συνεχής αύξηση του πληθυσμού παγκοσμίως καθώς και η συνεχής ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών αλλά και οι ολο αυξανόμενες ενεργειακές απαιτήσεις των ανεπτυγμένων χωρών. Αυτά τα δεδομένα οδηγούν τις χώρες στη κατασκευή περισσότερων και μεγαλύτερων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα να εντείνουν το πρόβλημα του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Οι ερευνητές διέγνωναν το πρόβλημα και προσπάθησαν με εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας όπως τις ΑΠΕ να το μειώσουν. Αλλά συντομα παρατήρησαν ότι αυτό δεν είναι αρκετό και έστρεψαν τις έρευνες τους στη δημιουργία νέων τεχνολογιών για την εφαρμογή συμβατικών συστημάτων, με κύριους στόχους, αυτές να έχουν όσο το δυνατόν λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις με την ίδια ή και καλύτερη απόδοση και τα υλικά κατασκευή τους να είναι όσο το δυνατόν φιλικότερα προς το περιβάλλον.

Στην Ελλάδα, χώρα με εύκρατο κλίμα δηλαδή ήπιο χειμώνα αλλά πολύ ζεστό καλοκαίρι, παρουσιάζονται πολλά προβλήματα στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τη περίοδο του καλοκαιριού και κυρίως στις ώρες αιχμής. Αυτά κατα γενική ομολογία οφείλονται στις ανάγκες κλιματισμού καθώς η πλέον διαδεδομένη μέθοδος κλιματισμού είναι η εφαρμογή συστημάτων που βασίζονται σε ψυκτικούς κύκλους με συμπύεση ατμού. Τα συστήματα αυτά έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως η ανεπηρέαστη λειτουργία τους από τις κλιματολογικές συνθήκες, η εύκολη εγκατάσταση τους σε οποιοδήποτε χώρο αλλά και η απλή και οικονομική συντήρησή τους. Υπάρχουν όμως και σημαντικά μειονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι ότι η λειτουργία τους βασίζεται σε ηλεκτρικούς κινητήρες, οι οποίοι απαιτούν ενέργεια από το δίκτυο, όπως και σε επιβλαβή ψυκτικά μέσα για το περιβάλλον. Έτσι κατά τις ώρες αιχμής απαιτούνται μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα το δίκτυο ηλεκτροδότησης να μην μπορεί να ανταποκριθεί και να παρατηρείται συχνά το φαινόμενο, μεγάλες περιοχές να μην έχουν ρεύμα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τέλος λόγω των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων επιβαρύνουν οικονομικά και τους χρήστες καθώς το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας ολοένα και αυξάνεται.

Το παραπάνω πρόβλημα στις εφαρμογές κλιματισμού δεν παρατηρείται μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες χώρες με παρόμοιο κλίμα. Μία πολλά υποσχόμενη λύση είναι η εφαρμογή συστημάτων, τα οποία στηρίζονται στη μέθοδο της εξατμιστικής ψύξης. Η μέθοδος αυτή και οι παραλλαγές της θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια, όπου θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο κύκλο του Maisotsenko, ο οποίος μελετήθηκε πειραματικά και υπολογιστικά. Τέλος, αν και η μέθοδος αυτή όπως θα δούμε «ελαφρύνει» το ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς έχει ελάχιστες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, χρειάζεται κάποια ποσότητα νερού για να λειτουργήσει. Για το λόγο αυτό θα μελετηθεί στο τελευταίο κεφάλαιο κατά πόσο αυτή η ποσότητα νερού μπορεί να καλυφθεί από την αξιοποίηση του βρόχινου νερού σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, σύμφωνα και με τα στατιστικά δεδομένα της Ε.Μ.Υ. για πολλές πόλεις της Ελλάδας, ώστε να καταστεί αυτή η μέθοδος κλιματισμού όσο το δυνατόν πιο οικολογική και φιλική προς το περιβάλλον.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΗΣ ΨΥΞΗΣ

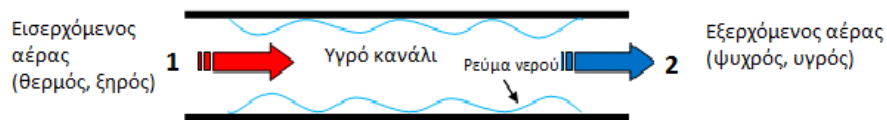
Η λειτουργία της εξατμιστικής ψύξης στηρίζεται, όπως υποδηλώνει και η ονομασία της, στη διαδικασία της εξάτμισης. Υγρό, εν γένει νερό, εξατμίζεται με τη βοήθεια της θερμότητας, η οποία αφαιρείται από ένα θερμό ρεύμα αέρα με αποτέλεσμα αυτό να ψύχεται. Ως εκ τούτου συμπεραίνεται εύκολα οτί τα συστήματα εξατμιστικής ψύξης έχουν καλύτερα αποτελέσματα σε περιοχές με ξηρό κλίμα.

Οι τύποι της εξατμιστικής ψύξης είναι:

- Άμεση εξατμιστική ψύξη
- Έμμεση εξατμιστική ψύξη
- Συνδυαμός των παραπάνω

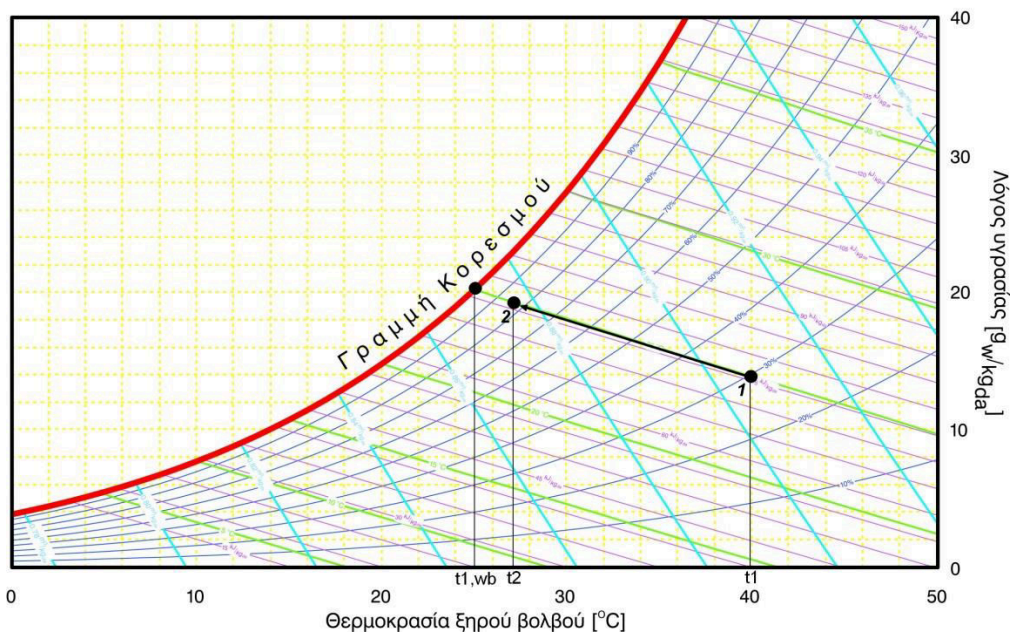
2.1 Άμεση εξατμιστική ψύξη

Κατά την άμεση εξατμιστική ψύξη το νερό εξατμίζεται προσθέτοντας υγρασία στο τροφοδοτούμενο αέρα, όπως φαίνεται στα Σχήματα 2.1 και 2.2.



Σχήμα 2.1: Διαδικασία άμεσης εξατμιστικής ψύξης

Ψυχομετρικός Χάρτης (στάθμη θάλασσας)



Σχήμα 2.2: Η θερμοδυναμική μεταβολή της άμεσης εξατμιστικής ψύξης στο ψυχομετρικό χάρτη

Ο εισερχόμενος αέρας (κατάσταση 1), ο οποίος είναι θερμός και ξηρός, εναλλάσσει θερμότητα και υγρασία με το νερό. Καθώς το νερό εξατμίζεται κατά μήκος του υγρού καναλιού, η θερμοκρασία ξηρού βολβού του εισερχόμενου αέρα μειώνεται και ταυτόχρονα αυξάνεται υγρασία του καταλήγοντας στη κατάσταση 2. Κατά τη διαδικασία αυτή, η αισθητή θερμότητα του αέρα μειώνεται, ενώ η λανθάνουσα θερμότητα αυτού αυξάνεται λόγω της εξάτμισης του νερού. Όπως φαίνεται και απο το σχήμα 2.2, στο οποίο παρουσιάζεται η θερμοδυναμική μεταβολή της άμεσης εξαμιστικής ψύξης στο ψυχομετρικό χάρτη, η μεταβολή αυτή απο τη κατάσταση 1 στη κατάσταση 2 είναι ισενθαλπική.^[5]

Η θερμοδυναμική μεταβολή στην άμεση εξαμιστική ψύξη καθορίζεται κυρίως απο τη θερμοκρασία υγρού βολβού του εισερχόμενου αέρα (κατάσταση 1). Για το λόγο αυτό το κριτήριο αποτελεσματικότητας των συστημάτων αυτών είναι πόσο μπορεί η θερμοκρασία ξηρού βολβού του εξερχόμενου αέρα (κατάσταση 2) να προσεγγίσει τη θερμοκρασία υγρού βολβού του εισερχόμενου αέρα (κατάσταση 1), καθώς η τελευταία θεωρείται το κατώτερο δυνατό όριο μείωσης της θερμοκρασίας ξηρού βολβού. Έτσι ορίστηκε ο παρακάτω βαθμός απόδοσης:

$$\varepsilon_{DEC,wb} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{1,wb}} \cdot 100\% \quad \{2.1\}$$

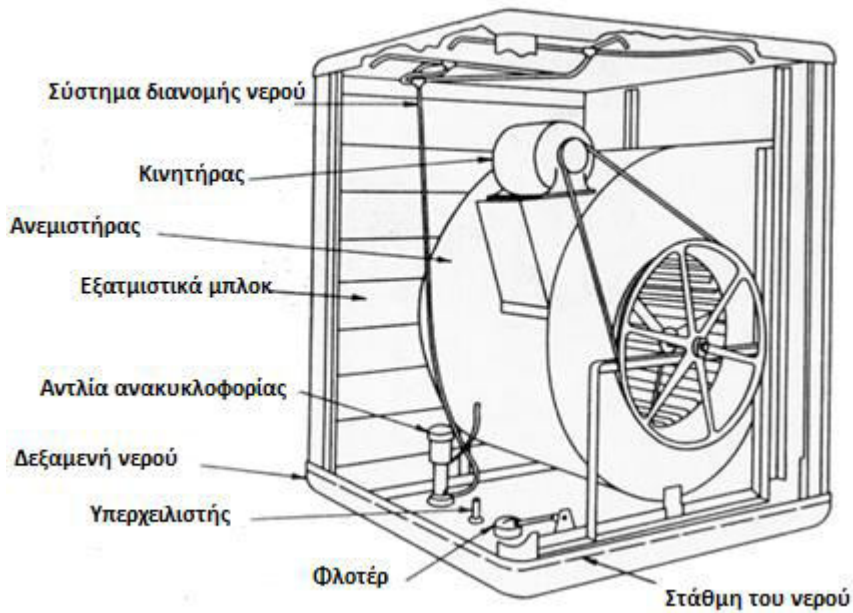
Σύμφωνα με το παραπάνω βαθμό απόδοσης και το παράδειγμα του Σχήματος 2.2, ο βαθμός απόδοσης του παραδείγματος υπολογίζεται:

$$\varepsilon_{DEC,wb} = \frac{40 - 27.3}{40 - 25.3} \cdot 100\% \approx 86\%$$

Η τιμή είναι ικανοποιητική καθώς οι τιμές που έχουν επιτευχθεί κυμαίνονται απο 70% έως 95% και εξαρτώνται απο την κατασκευή του συστήματος, αλλα και απο την ταχύτητα του ρεύματος του αέρα.

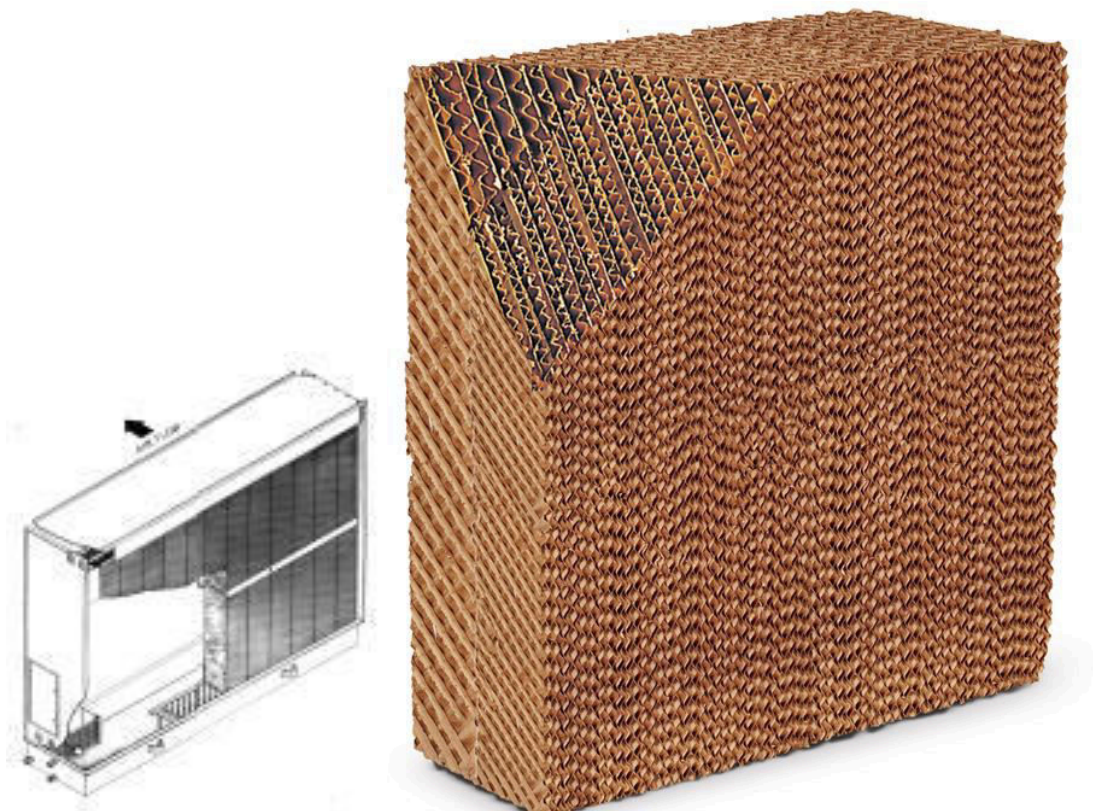
Υπάρχουν διάφοροι τύποι άμεσων εξαμιστικών συστημάτων. Οι κυριότεροι είναι:

- *ψύκτες τυχαίου μέσου*: αποτελούνται από εξαμιστικά μπλοκ, τα οποία κατασκευάζονται απο ξύλο λεύκης, πλαστική ίνα ή αφρολέξ. Η αποτελεσματικότητά τους κρίνεται φτωχή λόγω της χρήσης των παραπάνω φτηνών και αναποτελεσματικών υλικών κατασκευής τους. Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζονται όλα τα μέρη ενός άμεσου εξαμιστικού ψύκτη τυχαίου μέσου. Η αντλία υψώνει το νερό στο διανομέα, ο οποίος διανέμει το νερό στα εξαμιστικά μπλοκ, όπου ρέει ανάμεσα τους και προς τα κάτω. Εντωμεταξύ, ο ανεμιστήρας οδηγεί τον αέρα προς τα εξαμιστικά μπλοκ και ο αέρας καταλήγει στον κλιματιζόμενο χώρο ψυχρός και υγρός. Κατά τη διαδικασία αυτή η ταχύτητα του αέρα κυμαίνεται από 0.5 έως 1.3m/s και παρατηρείται μία πτώση πίεσης της τάξης των 25Pa. Ένας τυπικός βαθμός απόδοσης της μονάδας είναι 80%. Στα πλεονεκτήματα τους συγκαταλέγονται η απλή χρήση και κατασκευή καθώς και το χαμηλό κόστος της. Αντίθετα, τα μειονεκτήματα τους είναι η χαμηλή αποτελεσματικότητα, η μικρή διάρκεια ζωής και η δυσκολία καθαρισμού. Τα μειονεκτήματα υπερτερούν των πλεονεκτημάτων, με αποτέλεσμα την πολύ μικρή διείσδυση στην αγορά των εν λόγω μηχανημάτων και την αντικατάστασή τους από αποδοτικότερα.



Σχήμα 2.3: Άμεσος εξατμιστικός ψύκτης τυχαίου μέσου

- *ψύκτες άκαμπτου μέσου:* οι ψύκτες αυτοί λόγω της κατασκευής τους είναι πιο αποτελεσματικοί από αυτούς του τυχαίου μέσου και παρουσιάζουν μικρότερη πτώση πίεσης. Η κατασκευή τους στηρίζεται στη χρήση ενός άκαμπτου μέσου με διασταυρωμένες αυλακώσεις όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4. Αυτό το άκαμπτο μέσο κατασκευάζεται συνήθως από κυτταρίνη, χαρτόνι ή υαλοβάμβακα.



Σχήμα 2.4: Τυπική κατασκευή ψύκτη άκαμπτου μέσου

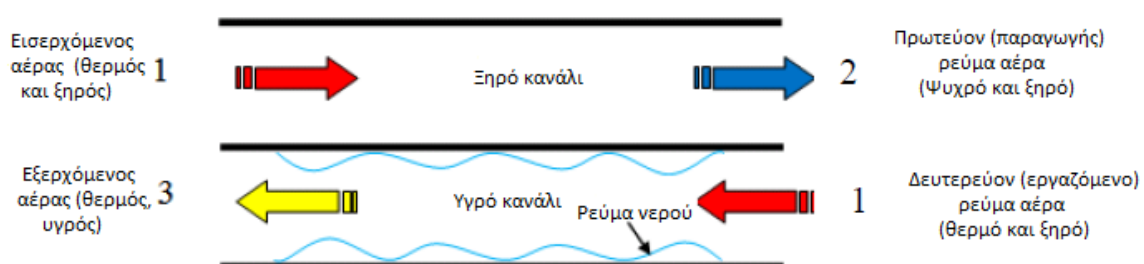
Αέρας διοχετεύεται μέσα στο άκαμπτο μέσο, ενώ ταυτόχρονα κυκλοφορεί νερό στο εσωτερικό του, το οποίο ανυψώνεται με τη βοήθεια μιάς αντλίας απο τη δεξαμενή που βρίσκεται στο κάτω μέρος του ψύκτη. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του είναι: η ταχύτητα του αέρα είναι 2 - 3m/s και ο βαθμός απόδοσης υγρού βολβού καλύπτει όλο το εύρος των άμεσων εξατμιστικών ψυκτών και είναι 70-95%, ο οποίος εξαρτάται απο την ταχύτητα του αέρα καθώς και το πάχος του υλικού, που θα χρησιμοποιηθεί στο άκαμπτο μέσο. Γενικά χαρακτηρίζεται από μικρότερη θερμοκρασία εξερχόμενου αέρα, μικρότερη πτώση πίεσης, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και ευκολότερο χειρισμό απο τον ψύκτη τυχαίου μέσου. Όμως, το μεγάλο μειονέκτημα του είναι το κόστος κατασκευής.

- **ψύκτες ψεκασμού νερού:** Οι ψύκτες αυτού του τύπου αποτελούνται από ένα τμήμα ψεκασμού και ένα τμήμα φυστηρήρα. Το ρεύμα του αέρα ρέει διαμέσου του ψεκαζόμενου νερού, το οποίο δημιουργείται από ένα ηλεκτρικό περιστρεφόμενο δίσκο. Ο αέρας αυτός περνάει από ένα μπλοκ εξάτμισης καθώς και από ένα μπλοκ που απορροφά την υγρασία του. Το κύριο πλεονεκτήματα του είναι ότι δημιουργείται ένα καλύτερα κατανεμημένο «φιλμ» νερού, το οποίο βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό την αποδοτικότητα του σε σχέση με τους ψύκτες τυχαίου μέσου. Καταναλώνει όμως μεγάλα ποσά ενέργειας. Ο βαθμός απόδοσης του προσεγγίζει το 80%.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι τα κύρια πλεονεκτήματα των συστημάτων άμεσης εξατμιστικής ψύξης είναι η απλότητα κατασκευής τους, η ευκολία ελέγχου και εγκατάστασης τους και όπως σε όλα τα συστήματα εξατμιστικής ψύξης οικονομικότερα όσον αφορά τη κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα συμπίεσης ατμού. Όμως το μεγάλο μειονέκτημά τους και ο κύριος λόγος που δεν επικράτησαν στην αγορά είναι ότι ο εισερχόμενος αέρας στον κλιματιζόμενο χώρο είναι πολύ υγρός, κατάσταση που προκαλεί δυσφορία σε οποιονδήποτε άνθρωπο.^[7] Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Σχήματος 2.2, όπου ο εισερχόμενος αέρας (κατάσταση 1) στον άμεσο εξατμιστικό ψύκτη έχει 30% σχετική υγρασία και $0.014kg_w/kg_{da}$ λόγο υγρασίας, ενώ στην έξοδο του ψύκτη (κατάσταση 2), δηλαδή κατά την είσοδο του στο κλιματιζόμενο χώρο, έχει 88% σχετική υγρασία και λόγο υγρασίας $0.019kg_w/kg_{da}$. Οι ερευνητές προσπαθώντας να λύσουν το πρόβλημα αυτό κατέληξαν στα συστήματα έμμεσης εξατμιστικής ψύξης, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

2.2 Έμμεση εξατμιστική ψύξη

Οι έμμεσοι εξατμιστικοί ψύκτες μειώνουν την θερμοκρασία χωρίς να προσθέτουν υγρασία στον αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση ουσιαστικά δύο καναλιών ενός ξηρού και ενός υγρού όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 2.5.

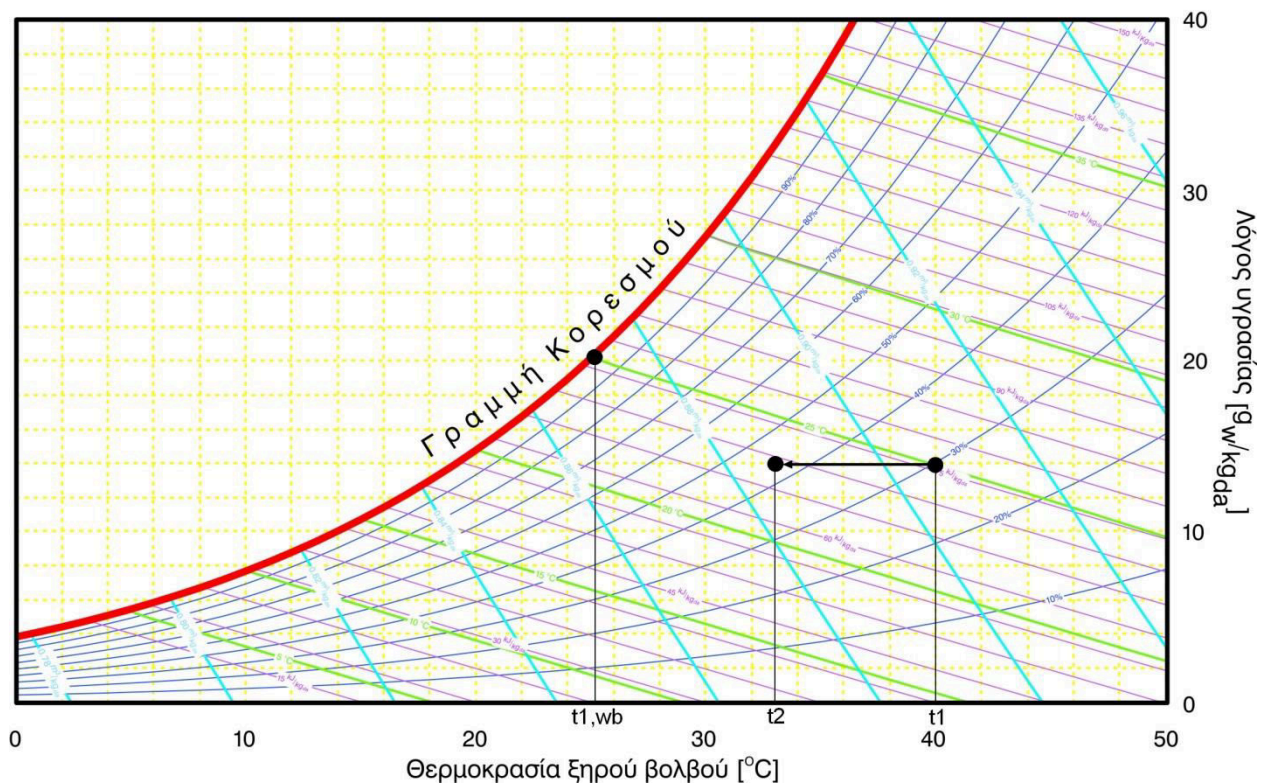


Σχήμα 2.5: Διαδικασία έμμεσης εξατμιστικής ψύξης

Από τη σκοπιά της Θερμοδυναμικής, σε ένα έμμεσο εξατμιστικό ψύκτη το πρωτεύον (παραγωγής) ρεύμα αέρα (θερμό και ξηρό) εισέρχεται στο ξηρό κανάλι (κατάσταση 1), ενώ ταυτόχρονα εισέρχεται το δευτερεύον (εργαζόμενο) ρεύμα αέρα στο υγρό κανάλι. Η υγρή πλευρά απορροφά θερμότητα από τη ξηρή πλευρά, αφού ο θερμός αέρας εξατμίζει τον νερό και έτσι ψύχεται η ξηρή πλευρά, ενώ ταυτόχρονα η λανθάνουσα θερμότητα του εξατμιζόμενου νερού μεταφέρεται στον εργαζόμενο αέρα στην υγρή πλευρά. Το εξερχόμενο (παραγωγής) ρεύμα αέρα του ξηρού καναλιού εισέρχεται στο κλιματιζόμενο χώρο ψυχρό και ξηρό (κατάσταση 2). Αντίθετα, το εξερχόμενο εργαζόμενο ρεύμα αέρα του ξηρού καναλιού αποβάλλεται στο περιβάλλον ως θερμό και υγρό (κατάσταση 3).

Από τον ψυχομετρικό χάρτη (Σχήμα 2.6) παρατηρούμε ότι το πρωτεύον ρεύμα αέρα έχει οριζόντια πορεία προς τα αριστερά, αυτό σημαίνει ότι εκτός του ότι ψύχεται διατηρείται σταθερός ο λόγος υγρασίας, επιβεβαιώνοντας με αυτό τον τρόπο ότι ο αέρας ψύχεται χωρίς να προστίθεται σε αυτόν υγρασία.

Ψυχομετρικός Χάρτης (στάθμη θάλασσας)



Σχήμα 2.6: Η θερμοδυναμική μεταβολή της έμμεσης εξατμιστικής ψύξης στο ψυχομετρικό χάρτη

Θεωρητικά αν τα δύο ρεύματα αέρα είναι σε σταυρωτή ροή, έχουν ανάλογη ταχύτητα ροής αλλά και άπειρη επιφάνεια ροής, η θερμοκρασία ξηρού βολβού του πρωτεύοντος ρεύματος αέρα κατά την έξοδο του μπορεί να φτάσει τη θερμοκρασία υγρού βολβού που είχε στην είσοδο του.^[4] Στο Σχήμα 2.6 η κατάσταση 1 χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία ξηρού βολβού ίση με 40°C και θερμοκρασία υγρού βολβού ίση με 25 °C, ενώ η κατάσταση 2 έχει θερμοκρασία ξηρού βολβού ίση με 33 °C, επομένως ο βαθμός απόδοσης υγρής σφαίρας θα είναι:

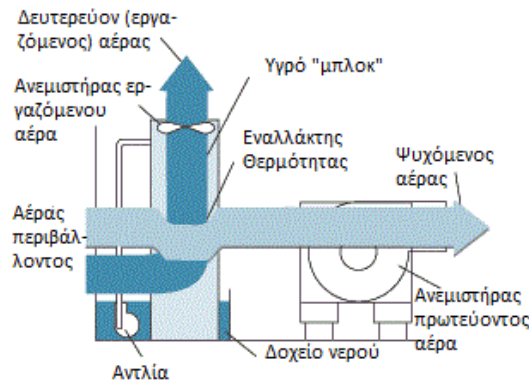
$$\varepsilon_{IEC,wb} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_{1,wb}} \cdot 100\% \quad \{2.2\}$$

$$\varepsilon_{IEC,wb} = \frac{40-33}{40-25.3} \cdot 100\% \approx 47\%$$

Η παραπάνω τιμή είναι ενδεικτική της αδυναμίας των έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών να κυριαρχήσουν στη αγορά.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών:

- **σύστημα ανάκτησης θερμότητας αέρα:** Σύμφωνα με το Σχήμα 2.7 οι έμμεσοι εξατμιστικοί ψύκτες αυτού του τύπου απορροφούν αέρα περιβάλλοντος με τη βοήθεια του ανεμιστήρα του πρωτεύοντος ρεύματος αέρα και αυτός περνά από τη ξηρή πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας. Ταυτόχρονα απορροφάται αέρας περιβάλλοντος και με τη βοήθεια του ανεμιστήρα του εργαζόμενου ρεύματος αέρα διαπερνά την υγρή πλευρά του εναλλάκτη. Ο αέρας περιβάλλοντος ψύχεται με τρόπο αισθητό αλλά και λανθάνοντα από το ρεύμα του δευτερεύοντος αέρα.



Σχήμα 2.7: Τυπικό σύστημα ανάκτησης θερμότητας αέρα

Αυτού του τύπου οι ψύκτες κατασκευάζονται συνήθως από πορώδες κεραμικό υλικό ή από ρούχο, το οποίο έχει τη δυνατότητα συγκράτησης της υγρασίας (π.χ. βαμβακερό). Τα συστήματα αυτά μπορούν να επιτύχουν βαθμούς απόδοσης 40% – 80%, είναι πολυπλοκότερα και ακριβότερα στη κατασκευή τους σε σχέση με τα συστήματα άμεσης εξατμιστικής ψύξης, αλλά το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ο καθαρός και ξηρός κλιματιζόμενος αέρας που παράγουν.

- **συνδυασμός πύργου ψύξης και συστήματος περιελίξεων:** αυτού του είδους τα συστήματα αποτελούνται από ένα πύργο ψύξης, από ένα σύστημα περιελίξεων εναλλάκτη θερμότητας νερού-αέρα και από μία αντλία ανακυκλοφορίας. Κρύο νερό αντλείται από τη δεξαμενή του πύργου ψύξης, οδηγείται στο σύστημα περιελίξεων του εναλλάκτη θερμότητας νερού – αέρα και επιστρέφει στο κύριο σύστημα διανομής του νερού στον πύργο ψύξης για ανακυκλοφορία. Στον πύργο ψύξης το νερό ψύχεται έως τη θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα περιβάλλοντος και στη συνέχεια διανέμεται στις περιελίξεις για να εναλλάξει θερμότητα με το ρεύμα του πρωτεύοντος ρεύματος αέρα. Με αυτόν τον τρόπο το πρωτεύον ρεύμα αέρα ψύχεται χωρίς να του προστεθεί υγρασία καθώς η θερμότητα του προσλαμβάνεται από το κρύο νερό, και αυτό με τη σειρά του αυξάνει τη θερμοκρασία του. Τέλος, το θερμό πλέον νερό επιστρέφεται στο πύργο ψύξης ώστε να ψυχθεί και εκ νέου να χρησιμοποιηθεί.

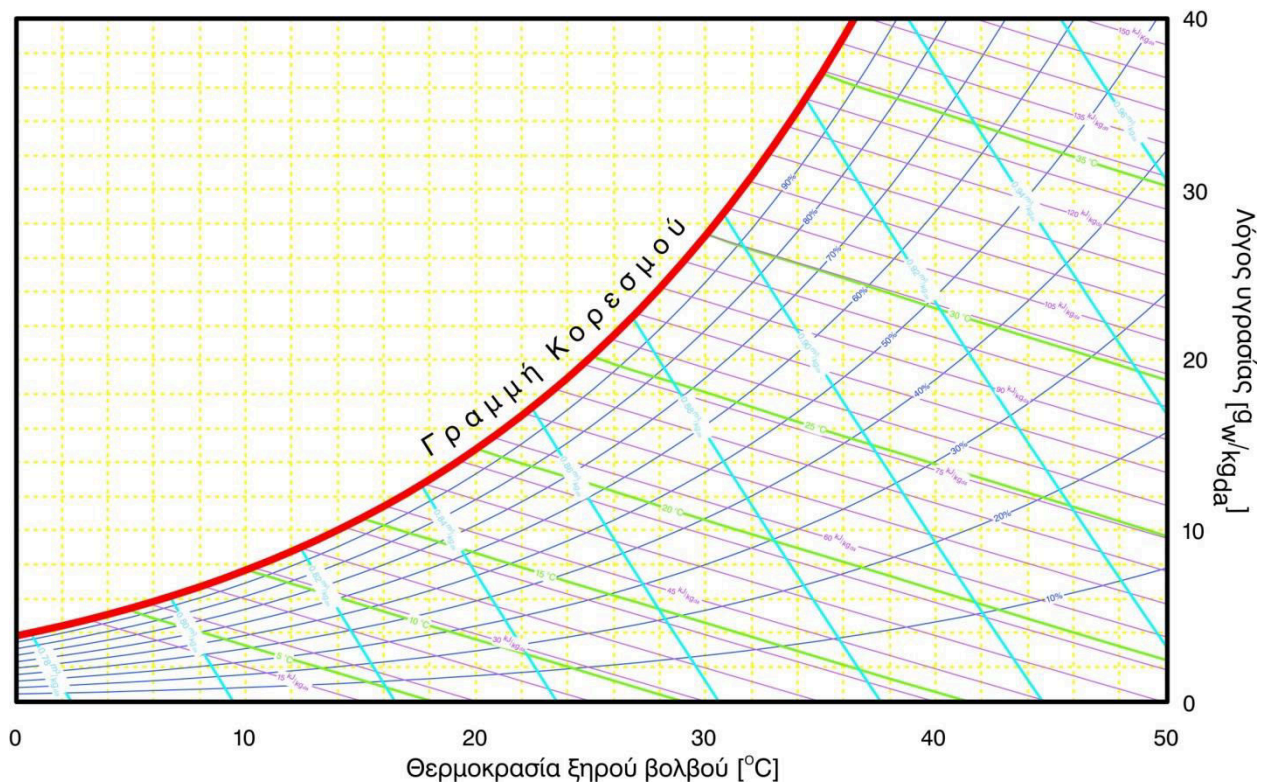
Τα συστήματα των έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω μας έδειξαν ότι κατάφεραν να λύσουν το μεγάλο πρόβλημα, το οποίο παρουσίασαν οι άμεσοι

εξατμιστικοί ψύκτες, που δεν ήταν άλλο από τη δυσφορία που προκαλούσε η αύξηση της υγρασίας στα άτομα που παρευρίσκονταν στο κλιματιζόμενο χώρο.^[5] Όμως, το πολύ μεγαλύτερο κόστος κατασκευής τους αλλά και ο μικρότερος βαθμός αποδοχής τους σε σύγκριση με τα συστήματα άμεσων εξατμιστικών ψυκτών τα κατέστησαν ασύμφορα.

2.3 Συνδυασμός άμεσης και έμμεσης εξατμιστικής ψύξης

Η λύση που προτάθηκε για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα τόσο της προσθήκης υγρασίας στα συστήματα άμεσης εξατμιστικής ψύξης, όσο και της χαμηλής αποδοτικότητας σε αυτά της έμμεσης εξατμιστικής ψύξης ήταν να συνδυαστούν αυτά τα δύο συστήματα. Η πρώτη βαθμίδα του νέου συστήματος θα αποτελείται από ένα έμμεσο εξατμιστικό ψύκτη, ο οποίος θα μειώνει τόσο τη θερμοκρασία υγρού βολβού, όσο και τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του εισερχόμενου αέρα χωρίς να του προσθέτει υγρασία. Στη συνέχεια, ο εξερχόμενος αέρας θα εισέρχεται στη δεύτερη βαθμίδα του συστήματος και θα ψύχεται επιπλέον, αλλά με τη προσθήκη υγρασίας.^[4] Τα στάδια των επιμέρους θερμοδυναμικών μεταβολών παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.8.

Ψυχομετρικός Χάρτης (στάθμη θάλασσας)



Σχήμα 2.8: Η θερμοδυναμική μεταβολή του συνδυασμένου συστήματος στο ψυχομετρικό χάρτη

Όπως αναμενόταν ο εισερχόμενος, στη πρώτη βαθμίδα (έμμεσος εξατμιστικός ψύκτης), θερμός και ξηρός αέρας (κατάσταση 1) θα «κινηθεί» οριζόντια, αφού δεν προστίθεται υγρασία, και αριστερά, λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας του πρωτεύοντος ρεύματος αέρα, πάνω στο ψυχομετρικό χάρτη έως τη κατάσταση 2, όπου ο αέρας παραμένει ξηρός αλλά ψυχρότερος από τη κατάσταση 1. Στη συνέχεια εισάγεται στη δεύτερη βαθμίδα (άμεσος εξατμιστικός ψύκτης), όπου ψύχεται περαιτέρω ισενθαλπικά έως τη κατάσταση 3, με αποτέλεσμα να του

προστίθεται υγρασία. Η μεταβολή 1-4, η οποία φαίνεται με κόκκινο στο ίδιο σχήμα δείχνει το αποτέλεσμα που θα είχαμε αν εφαρμόζαμε μόνο την άμεση εξαμιστική ψύξη. Από τη σύγκριση που μπορεί να γίνει και εποπτικά φαίνεται ξεκάθαρα ότι η μεταβολή 1-2-3 του συνδυασμένου συστήματος παράγει αέρα ψυχρότερο και με μικρότερη υγρασία από τον αέρα που παράγεται για τις ίδιες αρχικές συνθήκες με το σύστημα της άμεσης εξαμιστικής ψύξης. Ο βαθμός απόδοσης υγρής σφαίρας του συνδυασμένου συστήματος υπολογίζεται:

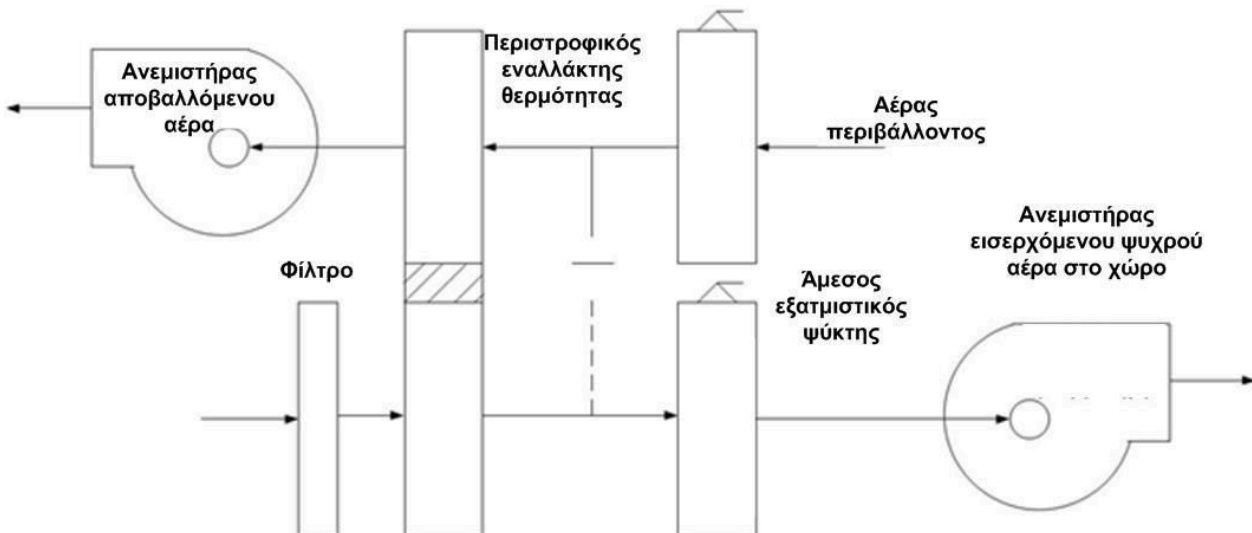
$$\varepsilon_{comb,wb} = \frac{t_1 - t_3}{t_1 - t_{1,wb}} \cdot 100\% \quad \{2.3\}$$

$$\varepsilon_{comb,wb} = \frac{40 - 25}{40 - 25.3} \cdot 100\% \approx 102\%$$

Αν ανατρέξουμε στο Εδάφιο 2.1 θα παρατηρήσουμε ότι το αντίστοιχο αποτέλεσμα για τις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος το σύστημα άμεσης εξαμιστικής ψύξης απέδιδε 85%. Επομένως, το συνδυασμένο σύστημα βελτίωσε κατά 17% την αποδοτικότητα.

Υπάρχουν δύο είδη συνδυασμένων συστημάτων, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

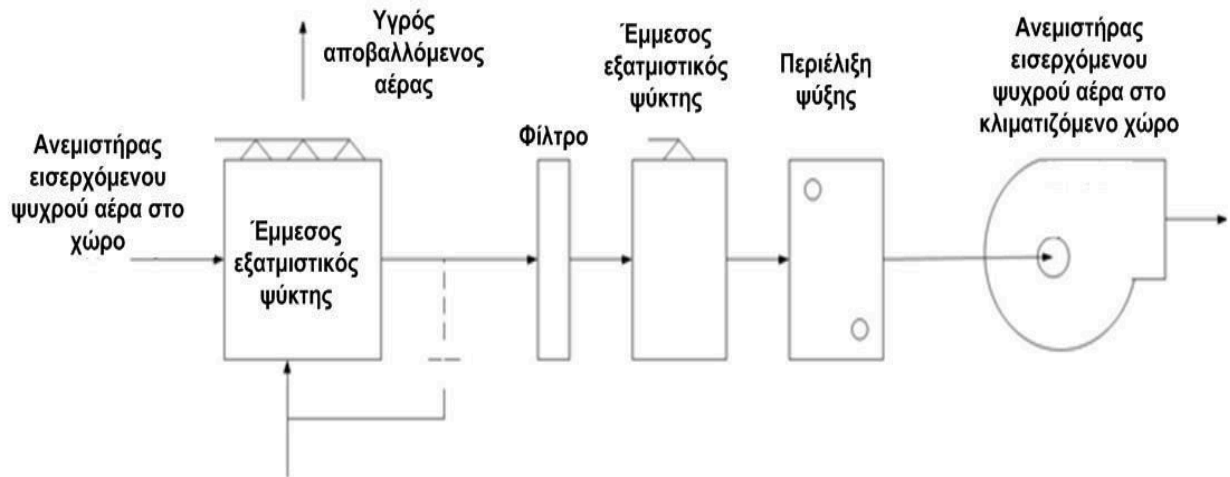
- *σύστημα δύο βαθμίδων*: το σύστημα αυτό απεικονίζεται στο σχήμα 2.9, όπου μπορούν να διακριθούν ο άμεσος και ο έμμεσος εξαμιστικός ψύκτης καθώς και οι χρησιμοποιούμενοι ανεμιστήρες και ο περιστροφικός εναλλάκτης θερμότητας.



Σχήμα 2.9: Τυπικό σύστημα δύο βαθμίδων

Το σύστημα αυτό προσφέρει πάνω από 100% βαθμό απόδοσης υγρής σφαίρας, αλλά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.9 η πολυπλοκότητα του συστήματος είναι πολύ μεγάλη, γεγονός το οποίο ανεβάζει πάρα πολύ το κόστος κατασκευής του.

- *σύστημα 3 βαθμίδων*: στο Σχήμα 2.10 απεικονίζεται το σύστημα 3 βαθμίδων, στο οποίο ενεργοποιείται η περιέλιξη ψύξης, όταν η θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα περιβάλλοντος είναι υψηλή ή όταν απαιτείται αφύγρανση. Το σύστημα αυτό έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το προηγούμενο αλλά και σε αυτό η πολυπλοκότητα κατασκευής του, το καθιστά απαγορευτικό.



Σχήμα 2.10: Τυπικό σύστημα τριών βαθμίδων

Η ιδέα συνδυασμού άμεσου και έμμεσου εξατμιστικού ψύκτη κρίνεται άκρως επιτυχημένη όσον αφορά την αποδοτικότητα, αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του εισερχόμενου αέρα στον κλιματιζόμενο χώρο (πολύ χαμηλή θερμοκρασία, καίτοι υψηλός λόγος υγρασίας). Όμως, το υψηλό κόστος κατασκευής τέτοιων συστημάτων δεν τους επέτρεψε να κυριαρχήσουν στην αγορά, αφού κρίθηκαν λόγω κόστους μη ανταγωνιστικά.^{[4],[5]}

Τη λύση σε όλα τα παραπάνω προβλήματα δίνει μία νέα ιδέα του Valeriy Maisotsenko, η οποία δίνει ελπίδα στα συστήματα εξατμιστικής ψύξης ότι θα μπορέσουν να κατακτήσουν ένα μέρος της αγοράς του κλιματισμού. Η νέα αυτή διάταξη είναι ουσιαστικά το θέμα της παρούσας εργασίας και θα αναλυθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

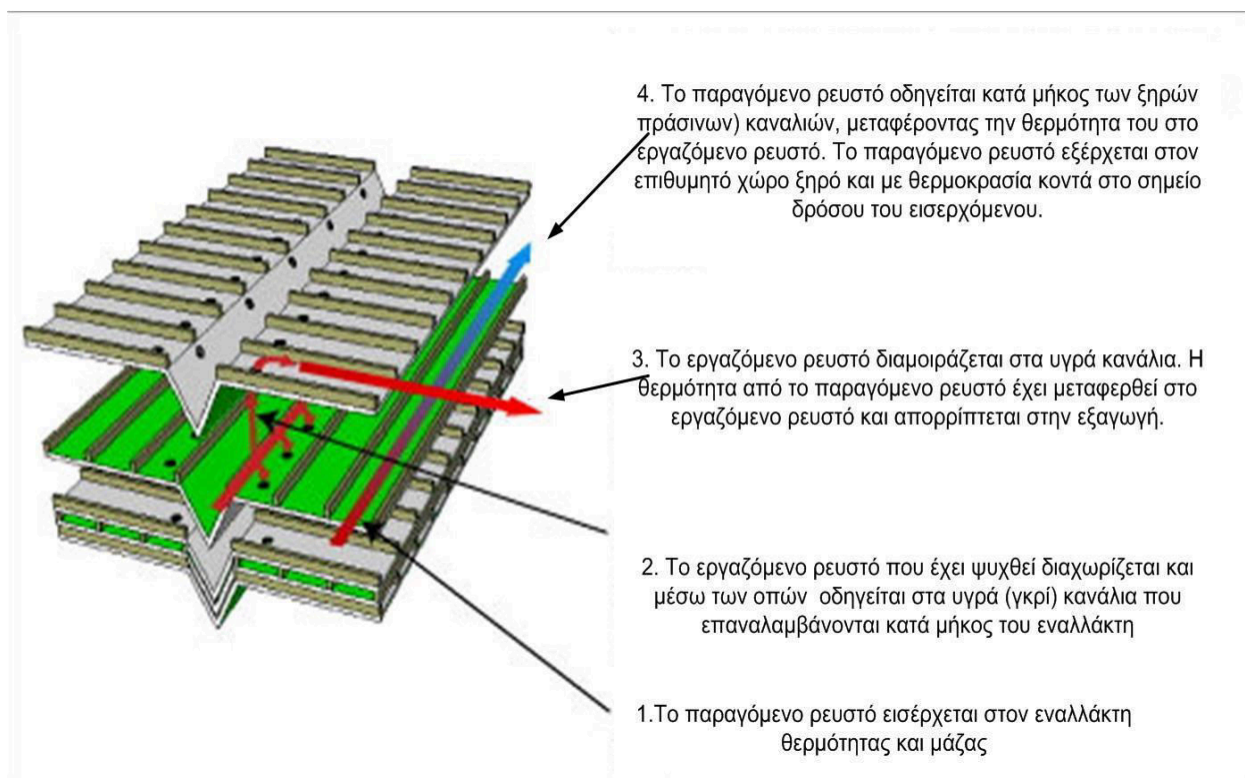
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Ο ΚΥΚΛΟΣ MAISOTSENKO

Ο Valeriy Maisotsenko εφηύρε ένα νέο θερμοδυναμικό κύκλο, καθώς παρόλο που χρησιμοποίησε την ίδια υγρή και ξηρή πλευρά του που χρησιμοποιήθηκε και στα συστήματα έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών, άλλαξε τη ροή του αέρα. Αυτή η νέα διαμόρφωση επιτρέπει στον πρωτεύοντα αέρα (παραγωγής), να ψύχεται κάτω από τη θερμοκρασία υγρής σφαίρας, του εισερχόμενου στο σύστημα αέρα περιβάλλοντος, που ήταν το κατώτατο όριο των έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών, και του επιτρέπει να προσεγγίζει τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, η οποία αποτελεί το κατώτατο δυνατό όριο κατά τη διαδικασία της εξάτμισης.

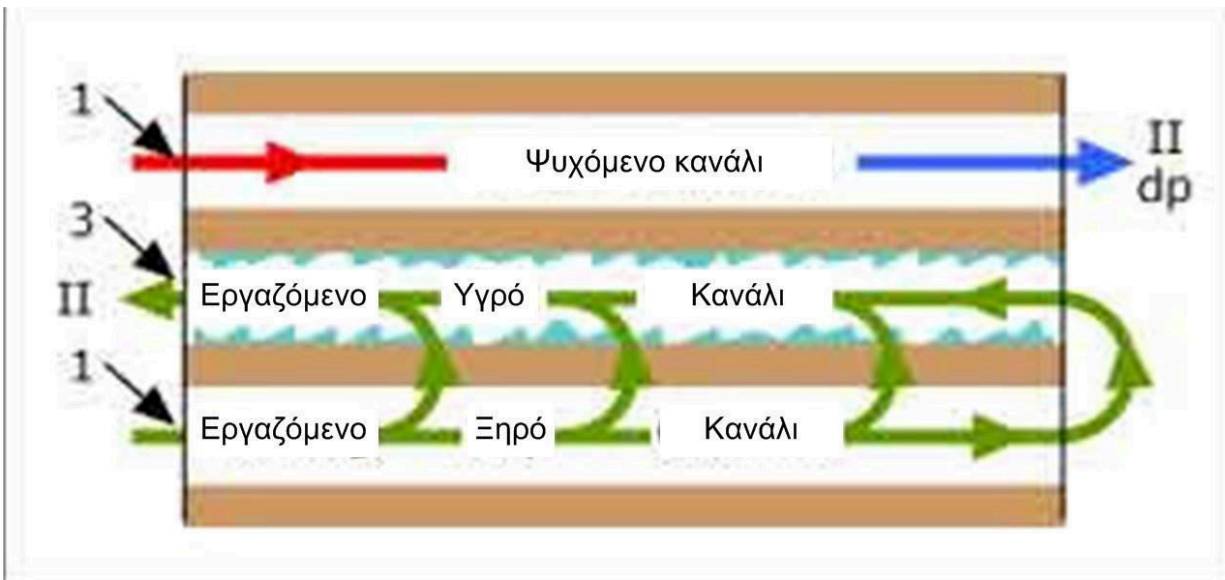
3.1 Η λειτουργία του κύκλου του Maisotsenko

Στο σχήμα 3.1^[5] διακρίνεται ένας διάτρητος και εγκάρσιος εναλλάκτης θερμότητας και μάζας στον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ο κύκλος του Maisotsenko μαζί με τα στάδια λειτουργίας του.



Σχήμα 3.1: Εναλλάκτης θερμότητας και μάζας στον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ο κύκλος του Maisotsenko μαζί με τα στάδια λειτουργίας του

Στο σχήμα 3.2 απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας του κύκλου του Maisotsenko, στον οποίο οι συνθήκες εισόδου είναι ίδιες στον αέρα παραγωγής και στον εργαζόμενο αέρα.



Σχήμα 3.2: Αρχή λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας και μάζας, ο οποίος βασίζεται στο κύκλο του Maisotsenko

Ο εισερχόμενος εργαζόμενος αέρας κατάστασης 1 ρέει πάνω από τη ξηρή πλευρά, η οποία είναι διάτρητη σε όλο το μήκος της. Καθώς ο εργαζόμενος αέρας «κινείται» κατά μήκος της ξηρής πλάκας, μέρος αυτού εκτρέπεται μέσω των οπών στην υγρή πλευρά της πλάκας με αποτέλεσμα την αλλαγή κατάστασης του από την στην 3'. Στο τέλος της διαδρομής του εργαζόμενου αέρα στο ξηρό κανάλι, μένει ένα πού μικρό ποσοστό του εργαζόμενου αέρα, το οποίο ψύχεται στο κατώτατο όριο, δηλαδή πολύ κοντά στη τιμή της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του εισερχόμενου εργαζόμενου αέρα κατάστασης 1, και το οποίο εκτρέπεται και αυτό στο υγρό κανάλι. Έτσι, ο εργαζόμενος αέρας στο υγρό κανάλι έχει ψυχθεί, επομένως έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει θερμότητα από τα παρακείμενα τοιχώματα του υγρού καναλιού, όπως από το εργαζόμενο ρεύμα αέρα της ξηρής πλευράς και το ρεύμα του αέρα παραγωγής της άλλης παρακείμενης ξηρής πλευράς. Καθώς οδεύει προς την έξοδο της συσκευής μέχρι την κατάσταση 3, ο εργαζόμενος αέρας απορροφά αισθητή θερμότητα από τα παρακείμενα ρεύματα αέρα των ξηρών πλευρών. Αυτό έχει ως συνέπεια τη ψύξη του ρεύματος αέρα παραγωγής μέχρι την τελική κατάσταση 2, όπου με αυτή οδηγείται στο κλιματιζόμενο χώρο.

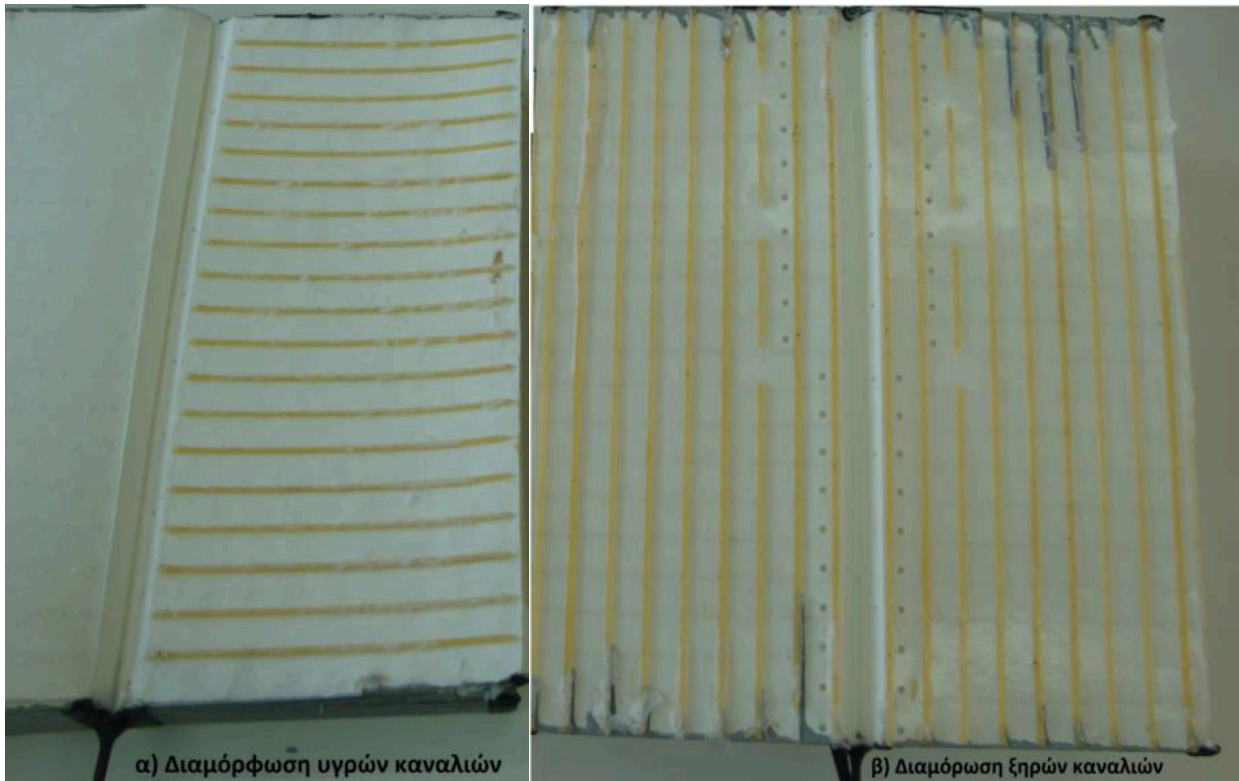
Θεωρητικά αλλά και από διάφορους εργαστηριακούς ελέγχους που διεξήχθησαν οι μονάδες που βασίζονται στον κύκλο του Maisotsenko μπορούν να επιτύχουν βαθμούς απόδοσης υγρής σφαίρας (όπως αυτός ορίστηκε και στις προηγούμενες ενότητες) από 110% έως 122%, ενώ επειδή πλέον ο στόχος είναι η προσέγγιση της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του εισερχόμενου αέρα θεωρήθηκε σκόπιμο να εισαχθεί και η έννοια του βαθμού απόδοσης σημείου δρόσου:

$$\varepsilon_{M-C,dp} = \frac{t_1 - t_3}{t_1 - t_{1,wb}} \cdot 100\% \quad \{3.1\}$$

Οι ίδιες μετρήσεις έδειξαν ότι ο βαθμός απόδοσης σημείου δρόσου των συστημάτων που βασίζονται στο κύκλο του Maisotsenko κυμαίνεται από 55% έως 85%.^[5]

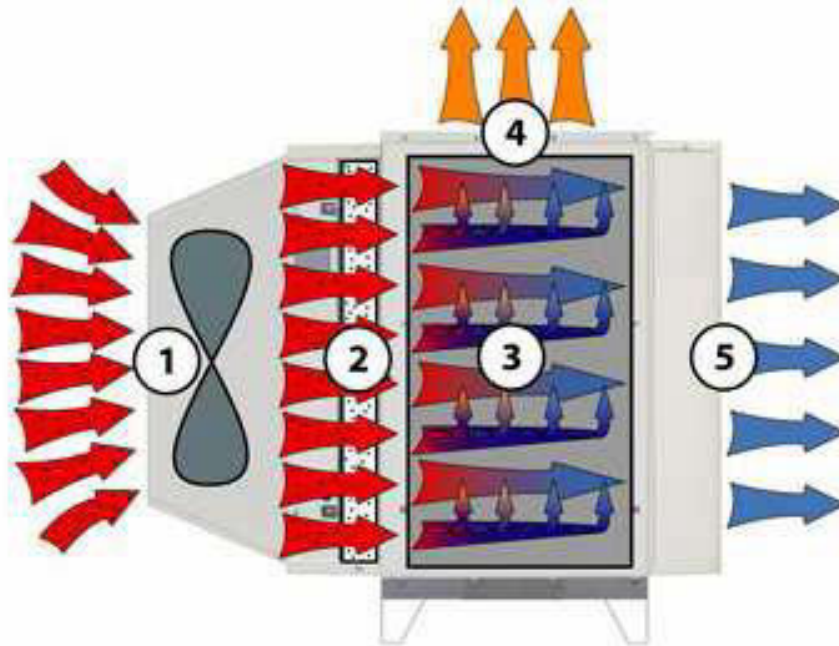
3.2 Κατασκευή και λειτουργικά χαρακτηριστικά των συστημάτων που βασίζονται στον κύκλο του Maisotsenko

Στο Σχήμα 3.3 απεικονίζεται η μορφή ενός πραγματικού ψύκτη που ακολουθεί το θερμοδυναμικό κύκλο του Maisotsenko. Σε αυτό μπορούμε να διακρίνουμε τις χαρακτηριστικές οπές αλλά και τα χαρακτηριστικά κανάλια (υγρά και ξηρά) που διαμορφώνονται, οι οποίες καθιστούν δυνατή τη ροή του αέρα που περιγράψαμε στη προηγούμενη ενότητα. Τα κανάλια αυτά κατασκευάζονται από ζεστό λειωμένο πολυαιθυλένιο, ενώ όλος ο υπόλοιπος ψύκτης από ίνες κυτταρίνης.



Σχήμα 3.3: Διαμόρφωση υγρών και ξηρών καναλιών σε ένα πραγματικό ψύκτη Maisotsenko

Μακροσκοπικά, η λειτουργία ενός πραγματικού ψύκτη μπορεί να συνοψιστεί με τη βοήθεια του σχήματος 3.4, όπου απεικονίζεται στο σημείο 1 (είσοδος της μονάδας) ο ανεμιστήρας που εισάγει αέρα περιβάλλοντος, ο οποίος φιλτράρεται στο ειδικό φίλτρο πάχους 5cm, το οποίο βρίσκεται στο σημείο 2. Στο σημείο 3 φαίνεται ο εναλλάκτης θερμότητας και μάζας, ο οποίος βασίζει τη λειτουργία του στο κύκλο του Maisotsenko. Ένα μέρος του αέρα (εργαζόμενος) αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα (όπως φαίνεται στο σημείο 4), αφού προηγουμένως έχει απορροφήσει τη θερμότητα από το ψυχόμενο ρεύμα αέρα (παραγωγής) και έχει κορεστεί. Τέλος, στο σημείο 5 (έξοδος της μονάδας) εξέρχεται το υπόλοιπο ρεύμα αέρα (παραγωγής), το οποίο είναι ψυχρό και ξηρό και οδηγείται στον κλιματιζόμενο χώρο.



Σχήμα 4.4: Εμπορικό σύστημα που υλοποιεί το κύκλο του Maisotsenko

Όσο αφορά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της μονάδας μέχρι στιγμής έχουν κατασκευαστεί 2 τύποι συστημάτων. Ο πρώτος διαθέτει κινητήρα μίας ταχύτητας με ονομαστική ισχύ 1200W, ενώ ο δεύτερος διαθέτει έναν ηλεκτρονικά μεταγωγικό κινητήρα με μέγιστη ονομαστική ισχύ 750W. Ο κινητήρας των συστημάτων που εφαρμόζουν το κύκλο του Maisotsenko είναι ο μοναδικός που απαιτεί ηλεκτρική ισχύ από όλο το σύστημα, το οποίο αναδεικνύει και το μεγάλο του πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού που εφαρμόζουν ψυκτικούς κύκλους με συμπίεση ατμού. Τα τελευταία καταναλώνουν 6 – 7kW, οπότε το ποσοστό μείωσης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που επιτυγχάνεται φτάνει το 85%. Έτσι, μπορεί να μειωθεί η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις ώρες αιχμής και να αποφευχθούν τυχόν δυσάρεστες συνέπειες από την υπερφόρτωση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση χρημάτων καθώς μια τέτοια μονάδα έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος από τις συμβατικές, 3500 – 4000 €, αλλά λόγω της μειωμένης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, γρήγορα αποσβένεται. Οι μονάδες αυτές μεταφέρουν στο εσωτερικό χώρο 700L/s και μπορούν να εγκατασταθούν με επιτυχία τόσο σε κατοικίες, όσο και σε μικρά και ελαφρά εμπορικά και βιομηχανικά κτήρια.

Το κύριο μειονέκτημα σε μια τέτοιου είδους μονάδα είναι η ποσότητα νερού που απαιτείται για τη λειτουργία της. Αυτή υπολογίζεται περίπου σε 45L νερού ανά ώρα λειτουργίας ή 2.5L/kWh σε μικρές εφαρμογές. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού θα μελετηθεί στο τελευταίο κεφάλαιο η συλλογή βρόχινου νερού κατά τους χειμερινούς μήνες και η χρησιμοποίησή του κατά τη λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι.

Ένα ακόμη μειονέκτημα της μονάδας είναι ότι δεν προσθέτει υγρασία στον αέρα αλλά ούτε την αφαιρεί όπως κάποια συμβατικά κλιματιστικά κάνουν. Έτσι αν η σχετική υγρασία του αέρα είναι ήδη υψηλή δεν θα έχει μεγάλη αποτελεσματικότητα στην ψύξη του αέρα αφού ο κορεσμός του εργαζόμενου θα επέλθει γρηγορότερα. Αν η αφύγρανση είναι αναγκαία, μπορεί να επιτευχθεί μέσω της σύνδεσης του εξατμιστικού ψύκτη σε ένα συμβατικό στοιχείο ψύξης ή με άλλα μέσα.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

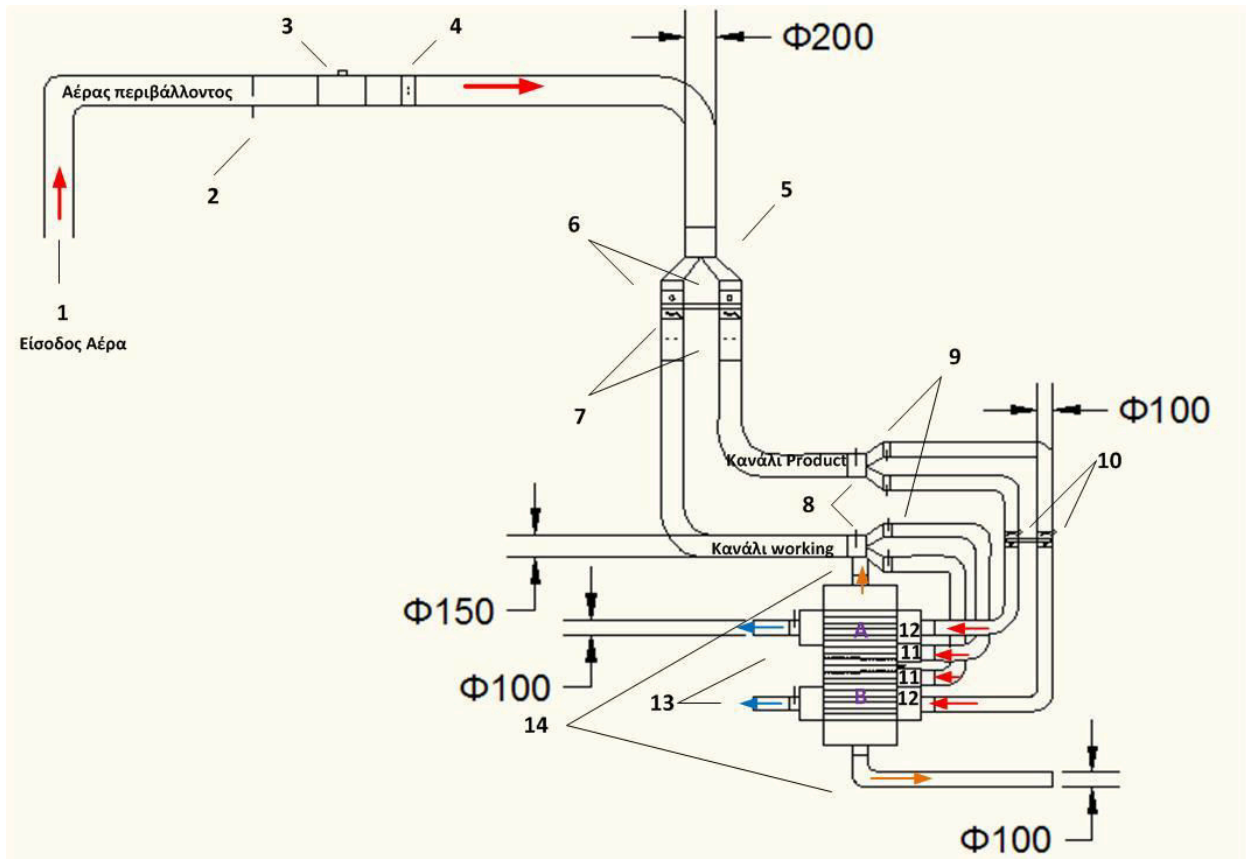
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ MAISOTSENKO

Ξεκινώντας το στήσιμο του πειράματος κύριοι στόχοι μας ήταν να εγκαταστήσουμε έτσι τη διάταξη, ώστε να λειτουργεί με βέλτιστο τρόπο, να τοποθετήσουμε τα μετρητικά όργανα σε καίριες θέσεις της εγκατάστασης, ώστε να πάρουμε τις μετρήσεις που μας ενδιαφέρουν και τέλος να εισάγουμε στην εγκατάσταση κάποια επιπλέον κομμάτια, όπως οι αντιστάσεις και τα dampers, τα οποία θα μας βοηθούσαν να καταστρώσουμε διάφορα «σενάρια» κατά τη διάρκεια του πειράματος. Για να επιτύχουμε το στόχο της καλής και αποτελεσματικής λειτουργίας της εγκατάστασης μελετήσαμε τη κατασκευή της εμπορικής διάταξης Coolerado προσπαθώντας να τη προσομοιώσουμε, έχοντας όμως υπόψη τη διαμόρφωση του χώρου της εγκατάστασης που μας παραχωρήθηκε, την προσβασιμότητα που θα έπρεπε να έχουμε τόσο στα μετρητικά όργανα, όσο και στα τμήματα τα οποία θα πρέπει να αλλάζουμε εκτελώντας κάθε φορά ένα διαφορετικό «σενάριο». Τέλος, στοχεύαμε η διάταξη να είχε τη δυνατότητα να «μεταλλάσσεται» με ευκολία σε περίπτωση που μελλοντικά κάποιος θα ήθελε να τη διαμορφώσει διαφορετικά ή σε περίπτωση που πάθαινε κάποια βλάβη να υπήρχε η δυνατότητα εύκολης προσβασιμότητας, σε κάθε τμήμα της εγκατάστασης, για την γρήγορη επιδιόρθωση της.

Τα παραπάνω ζητούμενα συνυπολογίστηκαν, με αποτέλεσμα την κατασκευή της πειραματικής διάταξης που απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 4.1: Γενική εικόνα της πειραματικής διάταξης



Σχήμα 4.2: Μονογραμμικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης

4.1 Εξαρτήματα πειραματικής διάταξης

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν πέρα από τον εναλλάκτη θερμότητας και μάζας που εφαρμόζει το θερμοδυναμικό κύκλο του Maisotsenko, είναι:

- **Εξαρτήματα και μέσα διανομής των αέριων ρευμάτων**
 - a. Ένας ηλεκτρικός ανεμιστήρας Fantech TD-800 60W διαμέτρου $\varnothing 200$ (σημείο 3 στο σχήμα 4.2)
 - b. Τρεις εύκαμπτοι αεραγωγοί με εσωτερική μόνωση από υαλοβάμβακα διαμέτρου $\varnothing 200$, $\varnothing 150$ και $\varnothing 100$ και μήκους 10m ο καθένας.
 - c. Τρεις διαχωριστές (παντελόνια) των ρευμάτων του αέρα κατασκευασμένοι από γαλβανισμένη λαμαρίνα, ένας (σημείο 5, Σχήμα 4.2) με είσοδο διαμέτρου $\varnothing 200$ και εξόδους με διάμετρο $\varnothing 150$ και δύο (σημείο 8, Σχήμα 4.2) με είσοδο διαμέτρου $\varnothing 150$ και εξόδους διαμέτρων $\varnothing 100$.
 - d. Τέσσερα συστήματα ρύθμισης της παροχής των ρευμάτων του αέρα (dampers) κατασκευασμένα από γαλβανισμένη λαμαρίνα, δύο διαμέτρου $\varnothing 150$ και δύο διαμέτρου $\varnothing 100$ (σημείο 6 και 10 αντίστοιχα, Σχήμα 4.2).
 - e. Ειδικά μεταλλικά πλαίσια από γαλβανισμένη λαμαρίνα για όλη τη περίμετρο του εναλλάκτη.
- **Μετρητικά όργανα**
 - a. Ένα καταγραφικό θερμοκρασίας – υγρασίας της εταιρίας ΑΚΟ
 - b. Επτά μετρητικά θερμοκρασίας ΑΚΟ-14901, τα οποία συνοδεύουν το καταγραφικό (σημεία 2, 9, 13, Σχήμα 4.2).

- c. Επτά μετρητικά υγρασίας τύπου SAU2 της εταιρείας SACET S.r.l. (σημεία 2, 9, 13, Σχήμα 4.2).
- d. Δύο μετρητικά της ταχύτητας του αέρα τύπου hotwire της εταιρείας KIMO CTV100 (σημείο 13, Σχήμα 4.2).
- **Λοιπά μέρη της εγκατάστασης**
 - a. Τρεις αντιστάσεις, οι οποίες προσαρτώνται σε κυλινδρικό πλαίσιο κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα, ονομαστικής ισχύος 1kW η καθεμία. Η πρώτη έχει διάμετρο $\varnothing 200$, ενώ οι δύο άλλες $\varnothing 150$ (σημεία 4 και 7, σχήμα 4.2).
 - b. Ένας ηλεκτρικός πίνακας, που αποτελείται από 4 ασφάλειες.

4.2 Κατασκευή πειραματικής διάταξης

Στο σημείο 1 του Σχήματος 4.2 απεικονίζεται η είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα στη διάταξη. Η απορρόφηση του αέρα γίνεται με τη βοήθεια του ηλεκτρικού κινητήρα που αναφέρθηκε στο Εδάφιο 4.1. Ο ανεμιστήρας αυτός συνδέεται με το ηλεκτρικό πίνακα της διάταξης για την παροχή ρεύματος με ένα πολύκλωνο καλώδιο διαστάσεων 3x1.5, αλλά και για την επιλογή της ταχύτητας του αέρα καθώς παρέχει τη δυνατότητα μέσω ενός διακόπτη δύο θέσεων να επιλέξουμε μεταξύ δύο ταχυτήτων. Ο ανεμιστήρας αυτός με τη βοήθεια βιδών εδράζεται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.3, πάνω σε μεταλλικές ράγες σε ύψος 2,5 μέτρων. Οι ράγες αυτές στερεώνονται σε σωλήνες νερού και σε μεταλλική γέφυρα, η οποία χρησιμοποιείται για τη στήριξη καλωδίων αλλά και του αεραγωγού, όπως δείχνει και το Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.3: Ηλεκτρικός κινητήρας απορρόφησης αέρα

Η μεταφορά του αέρα σε όλη τη διάταξη γίνεται με τη βοήθεια εύκαμπτων αεραγωγών καθώς η κατασκευή τους, τούς καθιστά ιδιαίτερα εύχρηστους στην εγκατάσταση. Επίσης λόγω της μόνωσης υαλοβάμβακα που διαθέτει αποφεύγονται τυχόν θερμικές απώλειες. Πιο συγκεκριμένα

στην είσοδο της διάταξης (σημείο 1, Σχήμα 4.2) τοποθετήθηκε αεραγωγός διαμέτρου $\varnothing 200mm$, ώστε να εφαρμόζει με τον κινητήρα, και μήκους $10m$ για να υπάρχει επαρκής απόσταση από την εξαγωγή των working καναλιών της εγκατάστασης τα οποία εξαγωγήν αέρα με σχετική υγρασία 85%. Στην είσοδο του αεραγωγού τοποθετήθηκε σήτα, για την αποφυγή εισόδου διαφόρων εντόμων.



Σχήμα 4.4: Στήριξη εύκαμπτου αεραγωγού εισόδου κατά την είσοδο του αέρα περιβάλλοντος



Σχήμα 4.5: Εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα

Πριν τον ανεμιστήρα τοποθετήθηκαν δύο μετρητικά όργανα όπως φαίνονται στη θέση 2 του Σχήματος 4.2, αλλά και στο Σχήμα 4.6. Το μετρητικό όργανο της υγρασίας μετρά τιμές σχετικής υγρασίας από 5% έως 95%, στηρίχθηκε στον αεραγωγό με πλαστικό σφιγκτήρα και μονώθηκε με αλουμινοταινία, ενώ το μετρητικό της θερμοκρασίας από -50°C έως $+100^{\circ}\text{C}$ και στηρίχθηκε με αλουμινοταινία. Τα δύο προαναφερόμενα όργανα συνδέθηκαν στο καταγραφικό με τη βοήθεια ενός καλωδίου 4x1 (ένα ζεύγος καλωδίων για κάθε όργανο).

Μετά τον ανεμιστήρα και σε επαρκή απόσταση από αυτόν τοποθετήθηκε μια αντίσταση ονομαστικής ισχύς 1kW (σημείο 4, Σχήμα 4.2), ώστε να μπορεί να αυξάνει την θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα για την εξέταση επιπλέον «σεναρίων» του πειράματος. Για την ενσωμάτωση της, εσωτερικά του αεραγωγού προσαρτήθηκε σε κυλινδρικό πλαίσιο από γαλβανισμένη λαμαρίνα διαμέτρου $\varnothing 200$, ενώ η σύνδεση της με τον ηλεκτρικό πίνακα έγινε μέσω καλωδίου 3x1.5. Η ενσωμάτωση της μέσα στον αεραγωγό έγινε με μεταλλικούς σφιγκτήρες και αλουμινοταινία. Πρέπει να τονιστεί ότι η αντίσταση, όπως και ο ανεμιστήρας έχουν γειωθεί για λόγους ασφαλείας.

Προχωρώντας προς τον εναλλάκτη, τα ηλεκτρικά καλώδια των μετρητικών και του ανεμιστήρα τοποθετήθηκαν μέσα σε πλαστικό σκληρό σωλήνα διαμέτρου 4 cm (σχήμα 4.7), ο οποίος δέθηκε με χαρτοταινία με τον εύκαμπτο αεραγωγό, ώστε ο τελευταίος να σχηματίσει αμβλεία γωνία (σχήμα 4.8), για την ομαλότερη οδήγηση του αέρα, κατευθυνόμενος προς τον εναλλάκτη.



Σχήμα 4.6: Μετρητικά θερμοκρασίας και υγρασίας πριν τον ανεμιστήρα

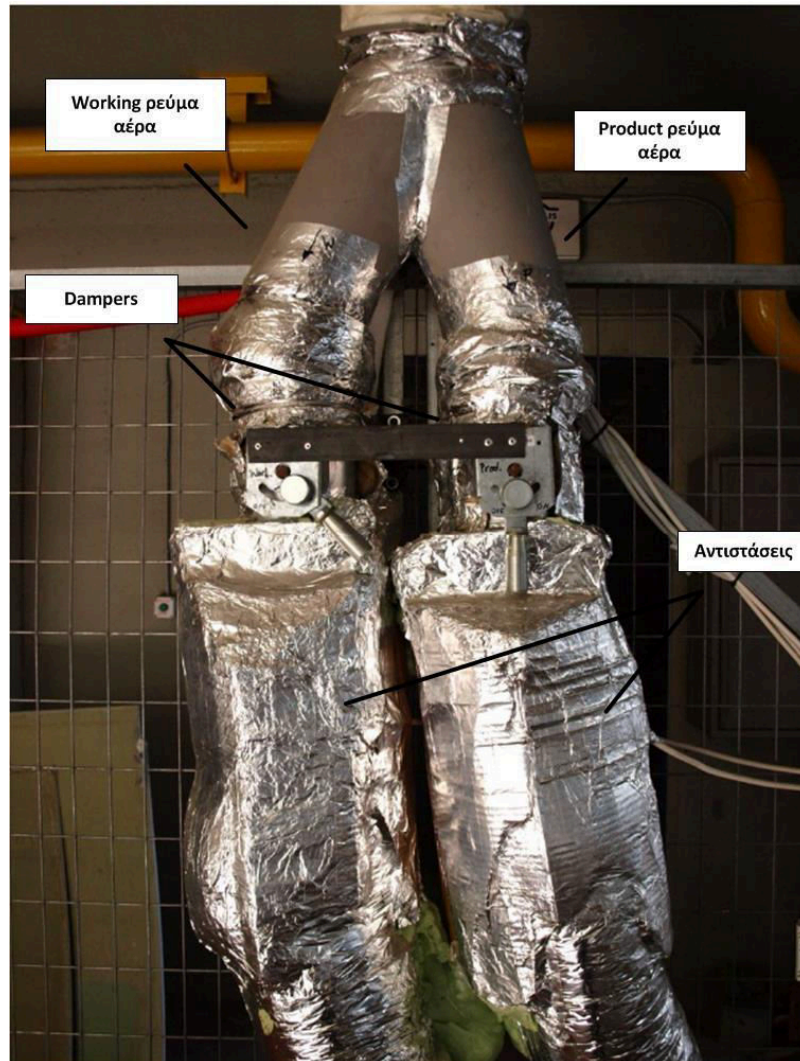


Σχήμα 4.7: Πλαστικός οδηγός σωλήνας καλωδίων – στήριγμα αεραγωγού



Σχήμα 4.8: Αμβλεία γωνία εύκαμπτου αεραγωγού

Στο Σχήμα 4.9 απεικονίζονται το σύστημα διακλάδωσης (σημείο 5, Σχήμα 4.2), τα δύο συστήματα ρύθμισης των ρευμάτων του αέρα (σημείο 6, Σχήμα 4.2), αλλά και οι δύο αντιστάσεις (σημείο 7, Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.9: Σύστημα διακλάδωσης ψυχόμενου (product) – εργαζόμενου (working) ρεύματος αέρα, συστήματα ρύθμισης της παροχής τους και αντιστάσεις

Το σύστημα διακλάδωσης κατασκευάστηκε από γαλβανισμένη λαμαρίνα σε σχήμα παντελονιού, ώστε να διασφαλιστεί ο ομαλότερος διαχωρισμός του ρεύματος αέρα, σε ένα εργαζόμενο (working) και σε ένα ψυχόμενο (product) ρεύμα αέρα. Οι ενώσεις του έγιναν με ηλεκτροπόντες και κατά την εξέταση του διαπιστώθηκε ότι ένα μικρό ποσοστό του ρεύματος αέρα χανόταν. Επομένως, αποφασίστηκε να μονωθεί επιπλέον εσωτερικά και πάνω στις ενώσεις αυτές ειδική σιλικόνη η οποία θα είχε αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες καθώς προηγείται μία αντίσταση και όπως θα αναφερθεί ακολουθούν και δυο ακόμη, οι οποίες θερμαίνουν τα ρεύματα του αέρα σε ιδιαίτερα ψηλές θερμοκρασίες.

Εκμεταλλούμενοι το περιμετρικό μεταλλικό πλέγμα της εγκατάστασης στηρίχθηκε όλο το σύστημα διακλάδωσης πάνω του πάνω του με μεταλλικούς σφικτήρες, αποφεύγοντας έτσι άλλους πολύπλοκους και δαπανηρούς τρόπους στήριξης. Η είσοδος του παντελονιού έχει διάμετρο Ø200, αφού σε αυτή προσαρμόζεται ο αεραγωγός Ø200 που ξεκινάει από την είσοδο του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ οι δύο έξοδοι του παντελονιού έχουν διάμετρο Ø150. Όλες οι

ενώσεις του παντελονιού με τον αεραγωγό έγιναν με μεταλλικούς σφιγκτήρες αλλά και αλουμινοταινία για τη μέγιστη δυνατή μόνωση.

Κάτω ακριβώς από το παντελόνι τοποθετήθηκαν δύο συστήματα ρύθμισης της παροχής των δυο ρευμάτων αέρα (dampers) κατασκευασμένα από γαλβανισμένη λαμαρίνα διαμέτρου $\varnothing 150$ (Σχήματα 4.9 και 4.10). Τα dampers εξωτερικά διαθέτουν μία τετράγωνη διαμόρφωση, η οποία φέρει ένα μοχλό, ο οποίος κινεί εσωτερικά ένα στρογγυλό έλασμα με διάμετρο ελάχιστα μικρότερη των $\varnothing 150$, ώστε να εμποδίζει πλήρως τη διέλευση του αέρα αν χρειαστεί αλλά ταυτόχρονα να περιστρέφεται ελεύθερα χωρίς να χτυπά στα εσωτερικά τοιχώματα. Η βίδα, η οποία διαθέτει ο μοχλός και διακρίνεται καλύτερα στο Σχήμα 4.10, αποτελεί το φρένο του μοχλού ώστε να διασφαλίζεται καλύτερα η σταθερή παροχή των ρευμάτων του αέρα. Η στήριξη των dampers έγινε και αυτή στο περιμετρικό μεταλλικό πλέγμα με τη βοήθεια μιας μεταλλικής βάσης σχήματος T, η οποία βιδώθηκε στο πλέγμα και προσαρτήθηκε στα δυο dampers με τη βοήθεια πριτσινιών. Τα dampers συνδέθηκαν με το παντελόνι με μεταλλικούς σφιγκτήρες και αλουμινοταινία.

Μετά τα dampers ακολουθούν δύο αντιστάσεις όπως αυτές φαίνονται στο σημείο 7 του σχήματος 4.2 αλλά και στο σχήμα 4.11. Οι αντιστάσεις αυτές έχουν τοποθετηθεί εσωτερικά ενός κυλινδρικού πλαισίου από γαλβανισμένη λαμαρίνα και έχουν διάμετρο $\varnothing 150$. Έχουν ονομαστική ισχύ ίση με 1 kW και έχουν συνδεθεί με τον ηλεκτρικό πίνακα της εγκατάστασης με ένα καλώδιο 3×1.5 και γειωθεί. Για λόγους καλύτερης θερμικής μόνωσης οι αντιστάσεις επικαλύφθηκαν με αφρό πολυουρεθάνης.



Σχήμα 4.10: Τα dampers και η στήριξη τους· αριστερά διακρίνεται το damper του εργαζόμενου ρεύματος και δεξιά το του ψυχόμενου ρεύματος



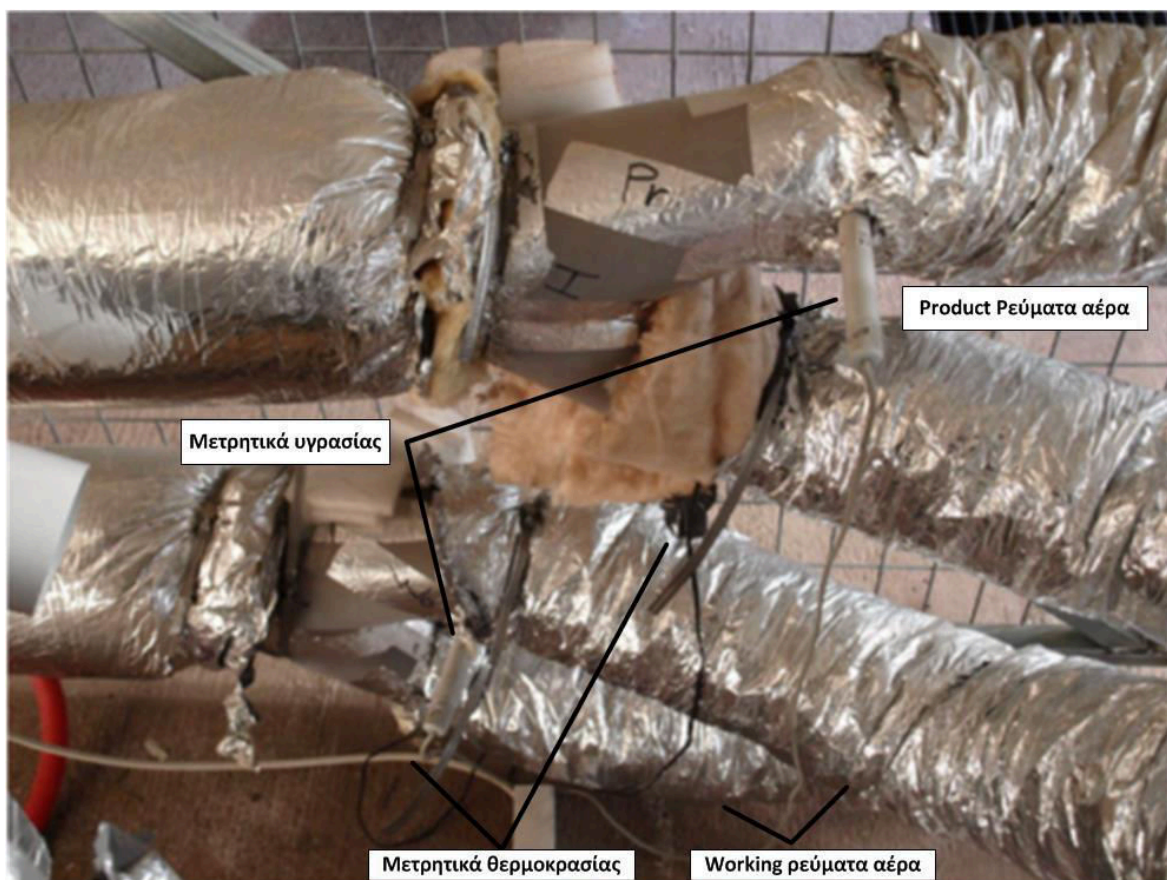
Σχήμα 4.11: Αντιστάσεις 1kW και η μόνωση τους

Συνεχίζοντας την πορεία της διάταξης προς τον εναλλάκτη (σχήμα 4.12) λόγω και της διαμόρφωσης του χώρου, οι εύκαμπτοι αεραγωγοί που μεταφέρουν τα δύο ρεύματα αέρα (working και product) έπρεπε να αλλάξουν κατεύθυνση, ώστε να παραλληλιστούν και με το έδαφος και να προσεγγίσουν τον εναλλάκτη. Η γωνία που θα σχηματίσουν οι αεραγωγοί προσπαθήθηκε να γίνει όσο το δυνατόν ομαλότερη για τη αποφυγή ανεπιθύμητων εσωτερικών τυρβών, οι οποίες θα αλλοίωναν τα ρευστοδυναμικά χαρακτηριστικά των ρευμάτων του αέρα, άρα και τις μετρήσεις. Οι αεραγωγοί δέθηκαν με μεταλλικούς σφιγκτήρες με το εξωτερικό μεταλλικό πλέγμα, ώστε να πάρουν την επιθυμητή κλίση.



Σχήμα 4.12: Διάταξη αεραγωγών product working μετά το πρώτο παντελόνη

Αφού οι αεραγωγοί έχουν παραλληλιστεί πλήρως με το έδαφος και σε ικανή απόσταση ώστε να ομαλοποιηθεί η ροή των δύο ρευμάτων τοποθετούνται 2 νέα παντελόνια (σημείο 8, Σχήμα 4.2 και Σχήμα 4.13) όμοια σε κατασκευή με το πρώτο αλλά με διάμετρο εισόδου $\varnothing 150$ και εξόδων $\varnothing 100$. Τα παντελόνια στηρίχθηκαν και αυτά στο εξωτερικό μεταλλικό πλέγμα με μεταλλικούς σφιγκτήρες. Ο λόγος που διαχωρίζονται τα 2 ρεύματα σε 4 είναι γιατί η διαμόρφωση του εναλλάκτη, η οποία θα παρουσιαστεί εκτενώς παρακάτω, έχει δύο πλευρές που η καθεμία απαιτεί ένα ψυχόμενο (product) ρεύμα αέρα αλλά και ένα εργαζόμενο (working) ρεύμα αέρα. Έτσι, το ένα ρεύμα από το παντελόνι του product και ένα ρεύμα από το παντελόνι του working καταλήγει με τη βοήθεια εύκαμπτων αεραγωγών διαμέτρου $\varnothing 100$ στην Α πλευρά του εναλλάκτη και τα άλλα δυο αντίστοιχα στη Β πλευρά, όπως αυτές φαίνονται στο Σχήμα 4.2 πάνω στον εναλλάκτη.



Σχήμα 4.13: Διάταξη των παντελονιών των ρευμάτων working και product

Όμως, προτού συνεχίσουμε στη διάταξη θα πρέπει να τονιστεί και η παρουσία των μετρητικών θερμοκρασίας και υγρασίας (σημείο 9, Σχήμα 4.2), τα οποία τοποθετήθηκαν στην μια από τις δυο εξόδους κάθε παντελονιού, στηρίχθηκαν πάνω τους μέσω ειδικά διαμορφωμένων οπών που έγιναν στις εξόδους των παντελονιών και μονώθηκαν με τη βοήθεια πιστολιού θερμικής σιλικόνης αλλά και αλουμινοταινίας όπως μπορεί κανείς να διακρίνει και στο σχήμα 4.13. Ο τύπος των μετρητικών είναι αυτός που έχει περιγραφεί και παραπάνω και η σύνδεση τους στο καταγραφικό έγινε επίσης με όμοιο τρόπο. Ο σκοπός που τοποθετήθηκαν τα μετρητικά αυτά στο σημείο αυτό είναι για να γνωρίζουμε πλήρως τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των ρευμάτων του αέρα working και product ουσιαστικά κατά την είσοδο τους στον εναλλάκτη καθώς δεν υπάρχει κάτι από αυτό το σημείο της διάταξης μέχρι την είσοδο του εναλλάκτη που μπορεί να μεταβάλλει την θερμοδυναμική κατάσταση τους.

Πλησιάζοντας στον εναλλάκτη και για την περαιτέρω παραμετροποίηση του πειράματος κρίθηκε σκόπιμο να τοποθετηθούν δυο dampers στα δυο ρεύματα product (σημείο 10, Σχήμα 4.2) μετά από ακόμη μια αλλαγή πορείας που έγινε στους εύκαμπτους αεραγωγούς, οι οποίοι στηρίζονται πάντα στο εξωτερικό μεταλλικό πλέγμα με μεταλλικούς σφιγκτήρες. Τα dampers έχουν όμοια κατασκευή με αυτά που παρουσιάστηκαν παραπάνω, αλλά έχουν διάμετρο $\varnothing 100$, καθώς από το σημείο αυτός της διάταξης μέχρι το τέλος της χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των ρευμάτων διάταξης και αεραγωγοί διαμέτρου $\varnothing 100$. Η στήριξη τους έγινε με ένα κομμάτι λαμαρίνας, η οποία συνδέει τα δυο damper μεταξύ τους με τη βοήθεια πριτσινιών και ταυτόχρονα κάθε damper ξεχωριστά στηρίχθηκε με μεταλλικούς σφιγκτήρες πάνω στο εξωτερικό μεταλλικό πλέγμα (Σχήμα 4.14). Μετά τα dampers οι αεραγωγοί στρίβουν προς τον εναλλάκτη με όσο το δυνατόν ομαλότερη γωνία και κατευθύνονται στην είσοδο του εναλλάκτη (σημεία 11,12, Σχήμα 4.2), όπου δένονται στα στόμια $\varnothing 100$ της κατασκευής που τον «ντύνουν», θα περιγραφούν στην επόμενη ενότητα, με τη βοήθεια μεταλλικών σφιγκτήρων αλλά και αλουμινοταινίας, όπως γίνεται εξάλλου σε κάθε σύνδεση της μορφής αυτής σε όλη την εγκατάσταση.



Σχήμα 4.14: Dampers των δύο ρευμάτων αέρα product πριν την είσοδο τους στον εναλλάκτη

Ο εναλλάκτης της εγκατάστασης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.1, εδράζεται σε ένα ειδικά κατασκευασμένο τραπέζι, το οποίο είναι φτιαγμένο από ξύλινες επιφάνειες και σιδερένια στηρίγματα. Κάτω από την οριζόντια επιφάνεια του που στηρίζεται ο εναλλάκτης υπάρχει μία ξύλινη και κάθετη επιφάνεια στην οποία τοποθετήθηκαν ο ηλεκτρικό πίνακας της εγκατάστασης αλλά και το καταγραφικό των πειραματικών μετρήσεων.

Ο ηλεκτρικός πίνακας, ο οποίος απεικονίζεται στο Σχήμα 4.15 διαθέτει, όπως αναφέρθηκε και στο Εδάφιο 4.1, τέσσερις ασφάλειες εκ των οποίων οι τρεις αφορούν στη λειτουργία των τριών αντιστάσεων και η τελευταία αποτελεί τον γενικό διακόπτη της διάταξης. Εύκολα

παρατηρεί κανείς ότι η λειτουργία του ανεμιστήρα δεν έχει απομονωθεί με μια επιπλέον ασφάλεια, αλλά ο ανεμιστήρας λειτουργεί μόλις θέσουμε τον γενικό διακόπτη σε λειτουργία. Αυτό αποφασίστηκε να γίνει για λόγους ασφαλείας όλης της εγκατάστασης, διότι αν ο χειριστής της εγκατάστασης ξεχάσει ανοιχτή μια από τις ασφάλειες των αντιστάσεων να λειτουργεί υποχρεωτικά και ο ανεμιστήρας, ώστε το ρεύμα αέρα που θα παράγει να ψύχει τις περιοχές γύρω από τις αντιστάσεις για την αποφυγή τυχόν υπερθέρμανσης τους.



Σχήμα 4.15: Ηλεκτρικός πίνακας της εγκατάστασης

Τέλος, όσο αφορά τον ηλεκτρικό πίνακα στην εξωτερική δεξιά πλευρά του έχει τοποθετηθεί ο διακόπτης δύο θέσεων για την επιλογή της ταχύτητας του ανεμιστήρα, ο οποίος αναφέρθηκε στην ενότητα 4.3.1 και απεικονίζεται στο σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.16: Διακόπτης δύο θέσεων επιλογής της ταχύτητας του ανεμιστήρα

Το καταγραφικό των μετρήσεων της εταιρείας ΑΚΟ (Σχήμα 4.17) βρίσκεται παράπλευρα του ηλεκτρικού πίνακα και διαθέτει δέκα θέσεις για σύνδεση με μετρητικά όργανα και παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης με υπολογιστή με καλώδιο τύπου USB για τη μεταφορά των δεδομένων των μετρήσεων. Επίσης συνοδεύεται με κατάλληλο λογισμικό από το οποίο μπορούν να

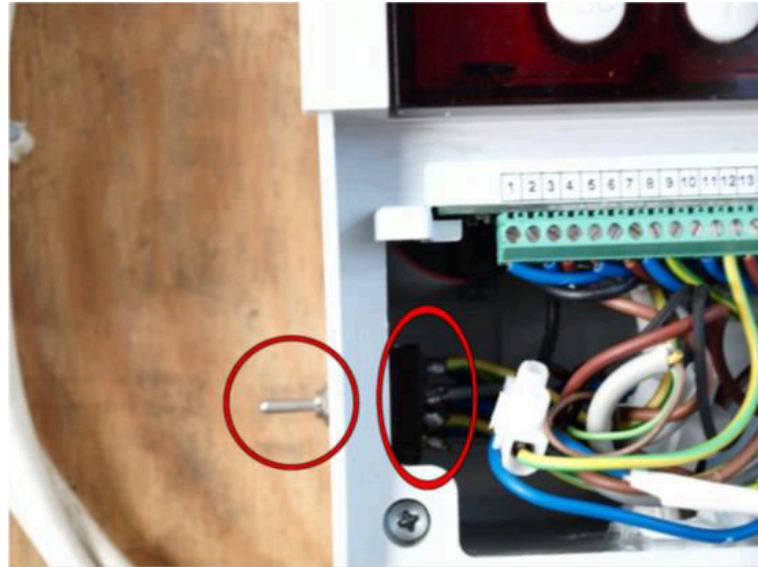
εξαχθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων, για περαιτέρω μελέτη, αλλά και να γίνουν διαγράμματα αυτών. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να εκτυπωθούν και σε ειδική θερμική ταινία. Οι έξι θέσεις του καταγραφικού καταλαμβάνονται από τα 3 ζεύγη μετρητικών οργάνων που έχουν ήδη περιγραφεί και εν συντομία είναι τα μετρητικά όργανα θερμοκρασίας και υγρασίας του περιβάλλοντος αέρα (Σημείο 2, Σχήμα 4.2), του εργαζόμενου και του ψυχόμενου ρεύματος αέρα (Σημείο 9, Σχήμα 4.2). Οι υπόλοιπες τέσσερις θέσεις καταλαμβάνονται από μετρητικά, οποία είναι εγκατεστημένα πάνω στον εναλλάκτη. Ο εναλλάκτης όπως αναφέρθηκε έχει χωριστεί σε δυο τμήματα Α και Β όπως αυτά απεικονίζονται και στο Σχήμα 4.2 με σκοπό την καλύτερη επίβλεψη του πειράματος. Για τον ίδιο λόγο τοποθετήθηκαν τέσσερα ζεύγη μετρητικών οργάνων θερμοκρασίας – υγρασίας, δυο για κάθε έξοδο του product ρεύματος αέρα του εναλλάκτη και δυο για κάθε έξοδο του working ρεύματος αέρα του εναλλάκτη.



Σχήμα 4.17: Καταγραφικό των πειραματικών μετρήσεων

Όπως καταλαβαίνει κανείς τα μετρητικά που τελικά χρησιμοποιήθηκαν, δεκατέσσερα στον αριθμό (14), ήταν περισσότερα από τις διαθέσιμες θέσεις του καταγραφικού. Για να λυθεί το παραπάνω ζήτημα τοποθετήθηκε στην αριστερή πλευρά του καταγραφικού, ένας διακόπτης δυο επιλογών, μια για κάθε τμήμα του εναλλάκτη Α ή Β, ο οποίος συνδέθηκε κατάλληλά και απεικονίζεται στο Σχήμα 4.18.

Συνεχίζοντας με τα μετρητικά όργανα, τα οποία έχουν τοποθετηθεί πάνω στο εναλλάκτη συναντάμε στις εξόδους των ψυχόμενων ρευμάτων του εναλλάκτη δυο μετρητικά της τοπικής ταχύτητας του αέρα τύπου hotwire της εταιρίας KIMO με εύρος λειτουργίας 0 έως 30m/s (Σχήμα 4.19 και 4.20). Η καταγραφή των δεδομένων από αυτά έγινε με την παρατήρηση των οθονων, που τα συνοδεύουν, από τον χειριστή κάθε δυο λεπτά καθώς με την ίδια συχνότητα ανανεώνονταν και οι μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας από το καταγραφικό.



Σχήμα 4.18: Διακόπτης εναλλαγής μετρητικών μεταξύ A και B τμήματος του εναλλάκτη

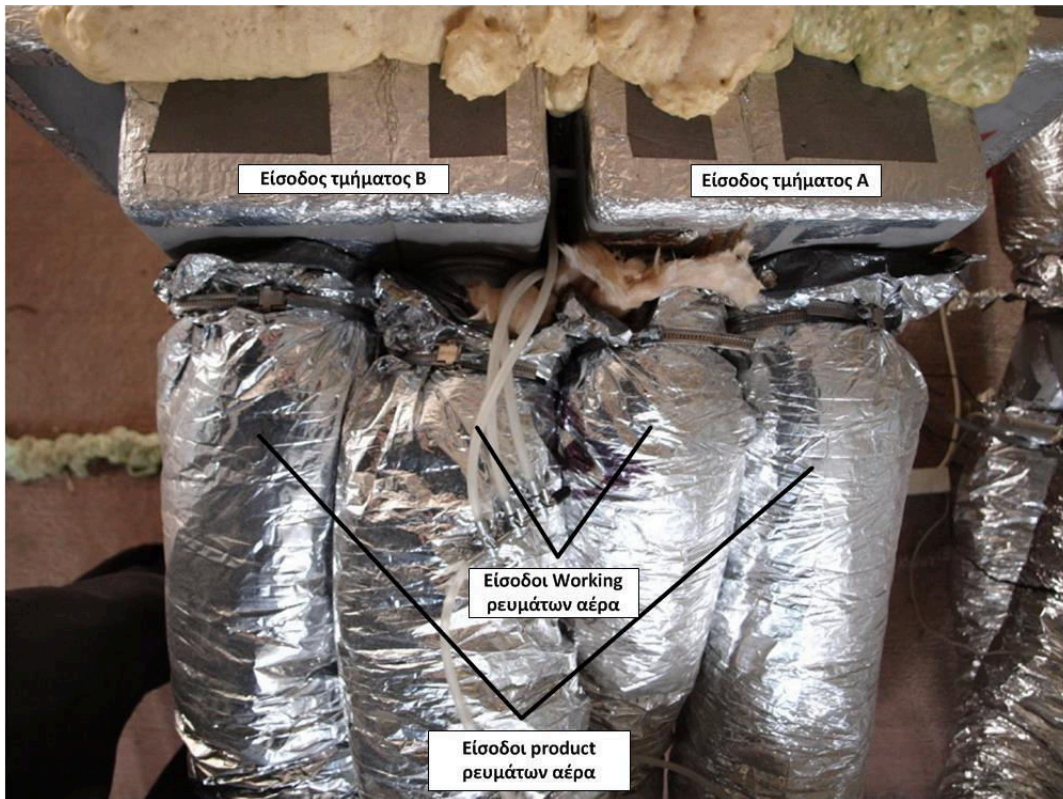


Σχήμα 4.19: Μετρητικό στοιχείο ταχύτητας του αέρα



Σχήμα 4.20: Οθόνη του μετρητικού της ταχύτητας

Τέλος, για την έδραση του εναλλάκτη, αλλά και κυρίως για την προσάρτηση των εύκαμπτων αεραγωγών σε αυτόν, ώστε να μην υπάρχει καμία διαρροή των ρευμάτων του αέρα μεταξύ product και working, είτε προς το περιβάλλον κατασκευάστηκαν ειδικά μεταλλικά πλαίσια τα οποία «ντύνουν» περιμετρικά τον εναλλάκτη. Τα πλαίσια αυτά κατασκευάστηκαν από γαλβανισμένη λαμαρίνα και διαθέτουν εξωτερική θερμική μόνωση. Πιο συγκεκριμένα κατά την είσοδο των ρευμάτων του αέρα τοποθετήθηκαν τέσσερα ειδικά πλαίσια ανά δυο όμοια σε διαστάσεις (Σχήμα 4.21), ώστε τα μεν δυο να εφαρμόζουν ακριβώς στο κάθε working κανάλι του εκάστοτε τμήματος του εναλλάκτη (σημεία 11, Σχήμα 4.2) και τα άλλα δυο στο κάθε κανάλι product του εκάστοτε τμήματος του εναλλάκτη (σημεία 12, Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.21: Είσοδος εναλλάκτη

Οι δύο έξοδοι των ρευμάτων του αέρα βρίσκονται ακριβώς στην απέναντι πλευρά της εισόδου του εναλλάκτη (σημείο 13, Σχήμα 4.2), όπου διακρίνονται στο Σχήμα 4.22 δύο ειδικά κατασκευασμένα πλαίσια ώστε να εφαρμόζουν ακριβώς στα κανάλια εξόδου του product ρεύματος αέρα, τα οποία σε μια επαγγελματική εφαρμογή θα οδηγούνταν στο κλιματιζόμενο χώρο μεταφέροντας τον ψυχρό και ξηρό αέρα. Παράπλευρα από τις εισόδους του εναλλάκτη βρίσκονται δυο πλαίσια ειδικά διαμορφωμένα (σημείο 14, Σχήμα 4.2), ένα σε κάθε πλευρά ώστε να εφαρμόζει στις εξόδους των working καναλιών του κάθε τμήματος του εναλλάκτη (Σχήμα 4.23) και θα απορρίπτονταν στο περιβάλλον σε μια επαγγελματική εφαρμογή. Όλα τα πλαίσια έχουν μια κυλινδρική διαμόρφωση διαμέτρου $\varnothing 100$, ώστε να μπορούν να συνδεθούν με τους εύκαμπτους αεραγωγούς για την μεταφορά των αέριων ρευμάτων.



Σχήμα 4.22: Εξαγωγή product καναλιών



Σχήμα 4.23: Μια εκ των δυο εξόδων των working καναλιών

Επίσης, όλα τα πλαίσια συγκρατήθηκαν μεταξύ τους με πριτσίνια και κολλήθηκαν με χρήση σιλικόνης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε εσωτερικά σε κάθε πλαίσιο ξεχωριστά για την μόνωση του με σιλικόνη στις διάφορες ενώσεις που σχηματίζουν για την αποφυγή διαρροών προς το περιβάλλον, στις μεταξύ τους μονώσεις ώστε να μην υπάρχουν διαρροές μεταξύ working και product καναλιών που θα αλλοίωναν τις μετρήσεις μας. (σχήμα 4.23).



Σχήμα 4.24: Αεροστεγής κάλυψη διακένων με χρήση πολυουρεθάνης

Στις δυο εξόδους του εργαζόμενου (working) ρεύματος αέρα σφυρηλατήθηκαν κατάλληλα οι κάτω πλευρές των μεταλλικών πλαισίων για να σχηματιστεί μια ελαφριά κλίση προς το κέντρο, ώστε σε εκείνη τη θέση να δημιουργηθεί σε κάθε έξοδο μια μικρή οπή, στην οποία προσαρτήθηκαν πλαστικά σωληνάκια μικρής διαμέτρου (Σχήμα 4.22), τα οποία θερμάνθηκαν ώστε να διασταλούν και να εφαρμόσουν τέλεια στις δυο οπές. Αυτά τοποθετήθηκαν για τη διαφυγή της ποσότητας νερού που περισσεύει αν υπάρξει τέτοια, αλλά και για την διαφυγή τυχόν συμπυκνωμάτων που θα δημιουργούνταν λόγω των υψηλών επίπεδων υγρασίας τα οποία επικρατούν μέσα στα πλαίσια των εξόδων του working ρεύματος.

4.3 Συμπεράσματα και προβληματισμοί που δημιουργήθηκαν κατά τη διαδικασία εγκατάστασης του πειράματος

Σε όλα τα στάδια σχεδόν της σχεδίασης και του στησίματος της μονάδας προέκυψαν διάφορα εμπόδια και πολλές συζητήσεις για την επίλυση τους.

Από τα πρώτα και σημαντικότερα προβλήματα ήταν η γενική θέση της διάταξης στο χώρο που μας παραχωρήθηκε. Το κύριο μέλημα μας ήταν αρχικά η είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα στη διάταξη να απέχει όσο το δυνατόν περισσότερο από τις δυο εξόδους του working ρεύματος του εναλλάκτη καθώς ο αέρας που θα προέκυπτε από αυτούς θα ήταν γεμάτος με υγρασία (κορεσμένος) και αν αναμειγνυόταν με τον αέρα εισαγωγής θα είχαμε κακής ποιότητας μετρήσεις. Έτσι αποφασίστηκε η είσοδος να βρίσκεται στην απέναντι πλευρά των εξόδων του εργαζόμενου αέρα, αλλά και μέσω ενός 10m εύκαμπτου αεραγωγού η είσοδος να είναι σε ικανή απόσταση.

Ένα ακόμα θέμα ήταν αυτό της εργονομίας. Γνωρίζοντας ότι η διάταξη αυτή θα χρησιμοποιηθεί και για εκπαιδευτικούς λόγους στα πλαίσια εργαστηριακής άσκησης των φοιτητών η σκέψη που υπήρχε αρχικά για τοποθέτηση των αεραγωγών στο έδαφος, για την αποφυγή στήριξής τους, γρήγορα εγκαταλείφτηκε, αφού διαπιστώθηκε ότι η διέλευση πολλών ατόμων θα μπορούσε να καταστρέψει τη διάταξη. Για το λόγο αυτό και παρατηρώντας ότι το ταβάνι της εγκατάστασης το διαπερνούσαν πολλές σωλήνες νερού αποφασίσαμε ο αεραγωγός εισόδου να διαπεράσει το ταβάνι στηριγμένος κυρίως στις σωλήνες αυτές αλλά και σε άλλα στηρίγματα που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, μέχρι να φτάσει το όριο του μεταλλικού πλέγματος ασφαλείας που περιβάλλει το χώρο, στο οποίο θα στηρίζονταν τα υπόλοιπα εξαρτήματα της μονάδας στην πορεία τους προς τον εναλλάκτη.

Στη συνέχεια μας απασχόλησε αρκετά ο τρόπος μέτρησης της παροχής όγκου του αέρα, που εισάγεται από τον ανεμιστήρα της διάταξης. Μετά από σχετική μελέτη καταλήξαμε στην επιλογή μέτρησης της με τη μέθοδο της μέτρησης της πίεσης με μετρητικά τύπου pitot καθώς θεωρήθηκε η πλέον αξιόπιστη για την εφαρμογή μας. Όμως λόγω του υπερβολικά υψηλού κόστους καταλήξαμε στην επιλογή των μετρητικών τοπικής ταχύτητας τύπου hotwire. Αργότερα μας απασχόλησε και το σημείο της διάταξης, στο οποίο θα έπρεπε να τοποθετήσουμε τα μετρητικά αυτά. Αρχικά, τοποθετήθηκαν στο σημείο 8 του Σχήματος 4.2 πάνω δηλαδή στην είσοδο κάθε μικρού παντελονιού. Όμως κατά τη διάρκεια του καλιμπραρίσματος τους και τοποθετώντας τα σε διάφορα σημεία κατά τη κάθετη έννοια της διατομής των μικρών παντελονιών, διακρίναμε ένα καθόλου κανονικό προφίλ της ταχύτητας. Ενώ θα περιμέναμε να

προκύψει ένα παραβολικό ομαλό προφίλ των ρευμάτων του αέρα, αντίθετα προέκυπτε τριγωνικό. Αυτό οφειλόταν στις γωνίες που σχημάτιζαν οι εύκαμπτοι αεραγωγοί λίγο πριν του σημείου αυτού, καθώς αυτές προκαλούσαν επιτάχυνση των αέριων ρευμάτων στην κάτω πλευρά του εύκαμπτου αεραγωγού και επιβράδυνση τους στην πάνω δημιουργώντας αυτό το μη ομαλό τριγωνικό προφίλ. Η λύση που τελικά υιοθετήθηκε ήταν τα μετρητικά να τοποθετηθούν στις διατομές των εξόδων των product καναλιών του εναλλάκτη, όπου λόγω της μικρής διατομής αλλά και του σχετικά μεγάλου μήκους των καναλιών του εναλλάκτη, η ροή θα έχει ομαλοποιηθεί και θα παρουσιάζει ομαλότητα ως προς τον οριζόντιο αλλά και κατακόρυφο άξονα. Τοποθετώντας τα εκεί και κάνοντας πάλι τις απαραίτητες μετρήσεις διαπιστώθηκε όντως η ομαλότητα αυτή, λύνοντας ακόμη ένα πρόβλημα που μας απασχόλησε αρκετά.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Ο σκοπός των πειραματικών μετρήσεων, αλλά και όλης της πειραματικής διαδικασίας ήταν η σε βάθος μελέτη του τρόπου λειτουργίας του νέου αυτού θερμοδυναμικού κύκλου του Maisotsenko, όπως και η εξακρίβωση όσο αφορά το βαθμό απόδοσης, τον οποίο υπόσχονται οι εταιρείες που εφαρμόζουν επαγγελματικά το κύκλο αυτό. Οι πειραματικές μετρήσεις ελήφθησαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 2011 και πιο συγκεκριμένα προς τα τέλη Ιουλίου, κατά τη διάρκεια του οποίου επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό αγγίζει τα υψηλότερα ποσοστά της.

Εκμεταλλευόμενοι τις παραμέτρους που εισήχθησαν κατά το στήσιμο της διάταξης και περιγράφηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή τις δυο ταχύτητες του ανεμιστήρα, τις τρεις αντιστάσεις και τα τέσσερα dampers, καταστρώθηκαν διάφορα σενάρια μετρήσεων, τα οποία καλύπτουν όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των παραπάνω. Δεν εξετάστηκε μόνο η περίπτωση κατά την οποία είναι αναμμένη μόνο η αντίσταση του working καναλιού καθώς αυτό θα αντέβαινε στην αρχή λειτουργίας του κύκλου του Maisotsenko. Αφού όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3 για να ψυχθεί το product ρεύμα αέρα (ψυχόμενο) θα πρέπει το εργαζόμενο ρεύμα αέρα να μπορεί να απορροφήσει θερμότητα από το product.

Τα σενάρια που επαναλήφθηκαν δυο φορές το καθένα, μία για την υψηλή και μια για τη χαμηλή ταχύτητα του ανεμιστήρα συνοψίζονται παρακάτω:

1. Ίση θέρμανση των product και working ρευμάτων αέρα με τη βοήθεια της αντίστασης διαμέτρου $\varnothing 200$, η οποία είναι κοινή και βρίσκεται μετά ακριβώς τον ανεμιστήρα.
2. Θέρμανση των working και product ρευμάτων αέρα με την αντίσταση διαμέτρου $\varnothing 200$ mm σε συνδυασμό με την επιπλέον θέρμανση του ψυχόμενου ρεύματος αέρα με τη βοήθεια της αντίστασης διαμέτρου $\varnothing 150$ (R_{pro}).
3. Θέρμανση με τη βοήθεια και των τριών αντιστάσεων ($\varnothing 200$, R_{pro} και R_{work}).
4. Πείραμα σε συνθήκες περιβάλλοντος χωρίς καμία αντίσταση αναμμένη.
5. Θέρμανση του ψυχόμενου ρεύματος αέρα R_{pro} , για τη θέρμανση μόνο του product καναλιού.

Εισάγοντας τις παραμέτρους που προκύπτουν με τη βοήθεια των dampers αν ορίσουμε ως λόγο παροχών, το λόγο παροχής παραγόμενου ρεύματος προς τη παροχή του εργαζόμενου ρεύματος, καλιμπράροντας τα damper λήφθηκαν μετρήσεις με λόγους $2/3$ και $1/2$. Αυτές έγιναν σε συνθήκες περιβάλλοντος ώστε να διαπιστωθεί αν η ψυκτική ικανότητα του εναλλάκτη επηρεαστεί από τη μειωμένη παροχή του ψυχόμενου ρεύματος. Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα πειράματα κυμαίνονται σε κάποιο εύρος θερμοκρασίας, ίσως και υγρασίας καθώς τα πειράματα ήταν πολύωρα και κατά τη διάρκεια τους, όπως ήταν φυσικό, η κατάσταση του αέρα περιβάλλοντος μεταβαλλόταν.

5.1 Επεξεργασία μετρήσεων

Αρχικά, παρουσιάζονται οι συμβολισμοί που θα χρησιμοποιηθούν:

- RH :.....Σχετική υγρασία

- T :.....Θερμοκρασία
- h :.....Ενθαλπία
- W :.....Λόγος υγρασίας
- v :.....Ειδικός όγκος
- m :.....παροχή μάζας
- η :.....βαθμός απόδοσης
- Q_c :.....ψυκτική ισχύς
- swc :.....ειδική κατανάλωση νερού

Στα παραπάνω μεγέθη προσαρτώνται οι παρακάτω δείκτες:

- amb :.....περιβάλλον
- pro :.....ψυχόμενο ρεύμα (product)
- wor :.....εργαζόμενο ρεύμα (working)
- wb :.....υγρού βολβού
- db :.....ξηρού βολβού
- w :.....νερό
- in :.....είσοδος εναλλάκτη
- out :.....έξοδος εναλλάκτη

Σε όλα τα σενάρια που παρουσιάστηκαν στο Εδάφιο 5.1 θεωρήθηκε σκόπιμο να υπολογιστούν ο βαθμός απόδοσης η , η ψυκτική ισχύς Q_c (**kW**) και η ειδική κατανάλωση νερού **swc** (**kg/kWh**) για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Οι σχέσεις υπολογισμού των παραπάνω είναι:

$$\eta = \frac{T_{pro_in} - T_{pro_out}}{T_{pro_in} - T_{wb,pro_in}} \quad \{5.1\}$$

$$Q_c = m_{pro} \cdot (h_{pro_in} - h_{pro_out}) \quad \{5.2\}$$

$$swc = \frac{m_w}{Q_c} \quad \{5.3\}$$

όπου T_{pro_in} και T_{pro_out} λαμβάνονται από τα αντίστοιχα μετρητικά της θερμοκρασίας της διάταξης. Η θερμοκρασία υγρού βολβού T_{wb} υπολογίζεται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη, γνωρίζοντας τη θερμοκρασία ξηρού βολβού T_{db} αλλά και τη σχετική υγρασία RH της εκάστοτε θέσης στην οποία βρίσκονται τα ζεύγη των μετρητικών οργάνων θερμοκρασίας – υγρασίας.

Η παροχή μάζας του ψυχόμενου ρεύματος (m_{pro}) υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$m_{pro} = \frac{v_{pro} \cdot A}{v} = \rho \cdot v_{pro} \cdot \pi \cdot \frac{R^2}{4} \quad \{5.4\}$$

όπου R είναι η ακτίνα του κυκλικού αγωγού, στον οποίο είναι τοποθετημένο το μετρητικό στοιχείο ταχύτητας.

Η ειδική ενθαλπία υπολογίζεται συναρτήσει του λόγου υγρασίας και της θερμοκρασίας ξηρού βολβού ως εξής:

$$h = c_{p,a} \cdot t + W \cdot (r + c_{p,s} \cdot t) \quad \{5.5\}$$

όπου $c_{p,a}$ είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα ξηρού αέρα, t η θερμοκρασία ξηρού βολβού, W ο λόγος υγρασίας, r η θερμότητα ατμοποίησης του νερού $c_{p,s}$ είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα του ατμού. Οι δύο τελευταίοι παράγοντες είναι σταθεροί, ενώ ο λόγος υγρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$W = 0.622 \cdot \frac{RH \cdot p_s}{p - RH \cdot p_s} \quad \{5.6\}$$

όπου p_s είναι η τάση ατμών και p η ατμοσφαιρική πίεση.

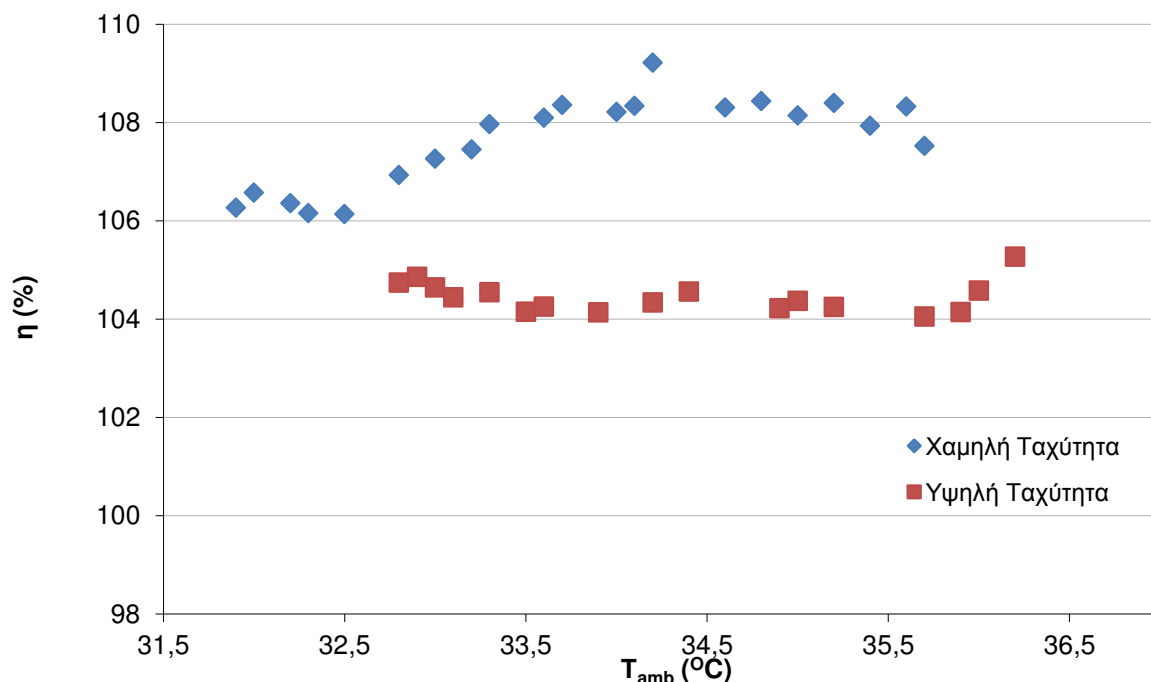
Η ωριαία κατανάλωση του νερού δίνεται από τη σχέση:

$$m_w = m_{wor} \cdot (W_{wor_out} - W_{wor_in}) \cdot 3600 \quad \{5.7\}$$

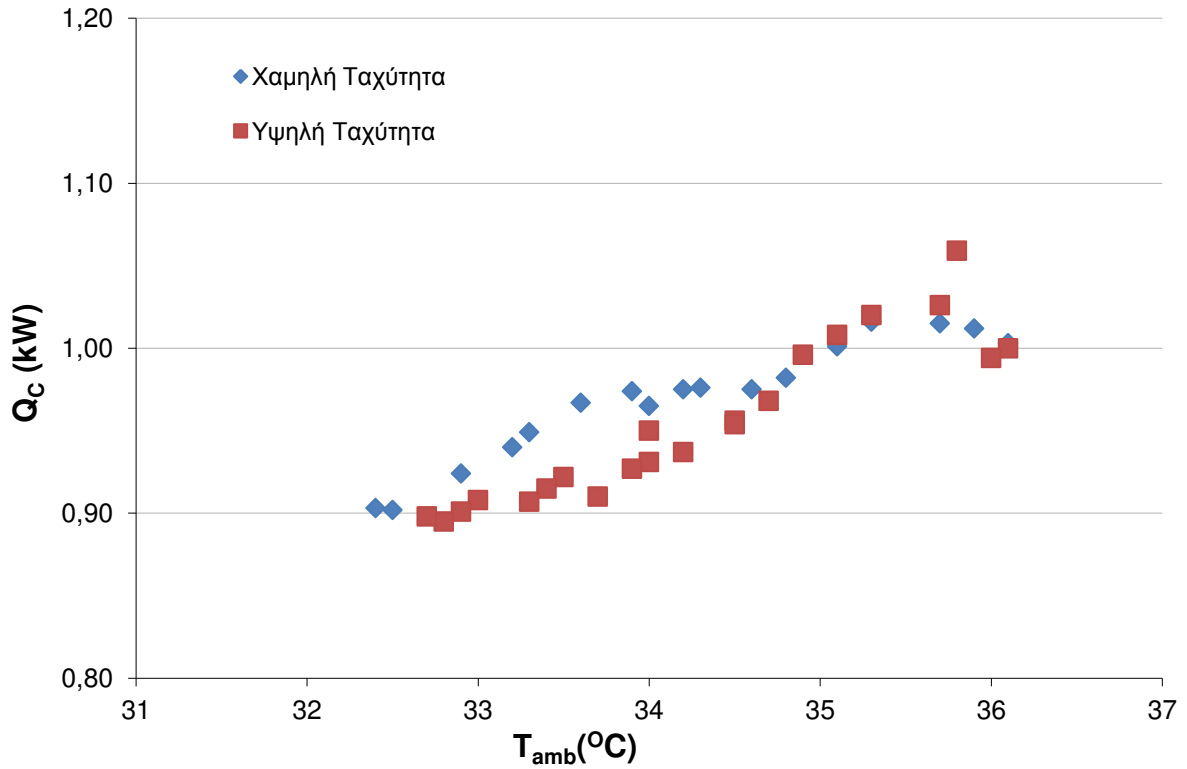
5.2 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων – Διαγράμματα & Πίνακες

Σκοπός του παρόντος εδαφίου είναι η παρουσίαση κάποιων ενδεικτικών αποτελεσμάτων, με σκοπό την επιβεβαίωση του υπολογιστικού μοντέλου του επόμενου Κεφαλαίου. Για πλήρη παρουσίαση όλων των αποτελεσμάτων όλων των σεναρίων της πειραματικής διαδικασίας, προτείνεται η μελέτη της Διπλωματικής Εργασίας με τίτλο «Πειραματική Διάταξη Προσομοίωσης Συμπεριφοράς Εξατμιστικής Ψυκτικής Μονάδος Maisotsenko» του κ. Δημητρίου Διαμαντή (ΕΜΠ, 2012).

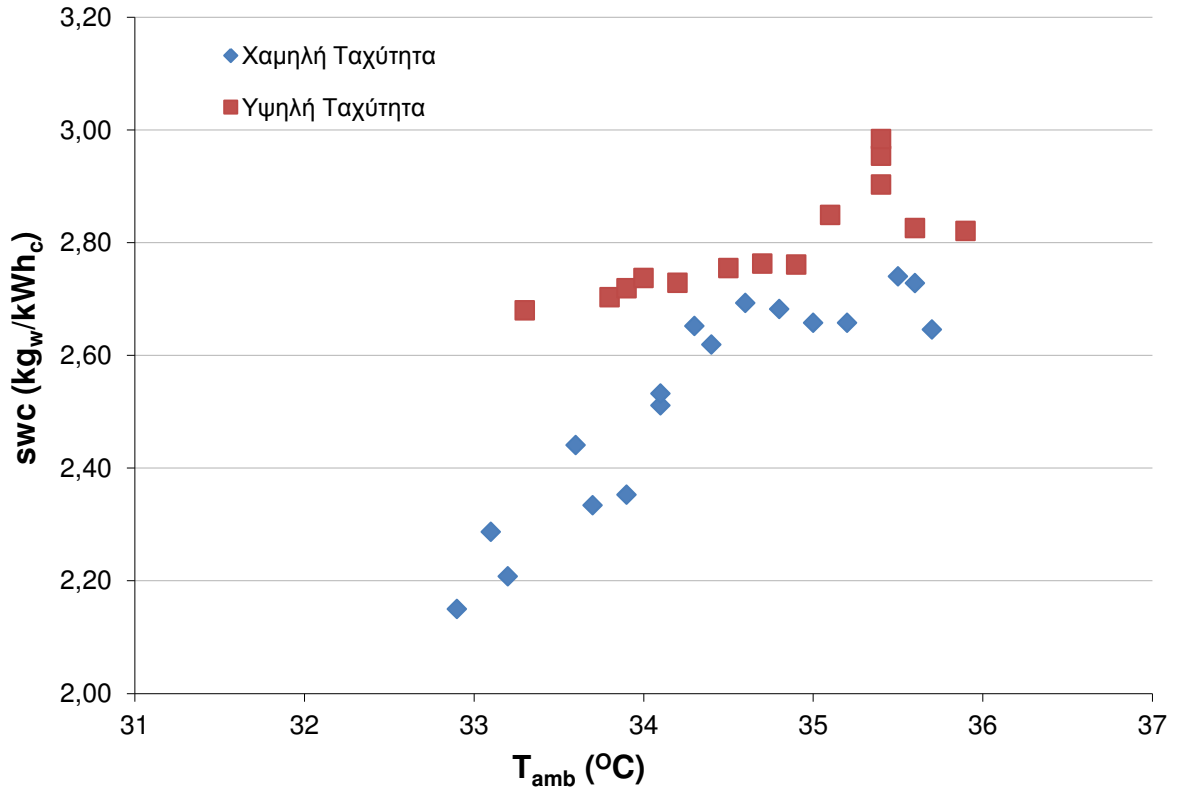
Εξετάζεται κατ' αρχήν η συμπεριφορά του εξατμιστικού ψύκτη, με την αντίσταση $\varnothing 200$ σε λειτουργία.



Σχήμα 5.1: Βαθμός απόδοσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος

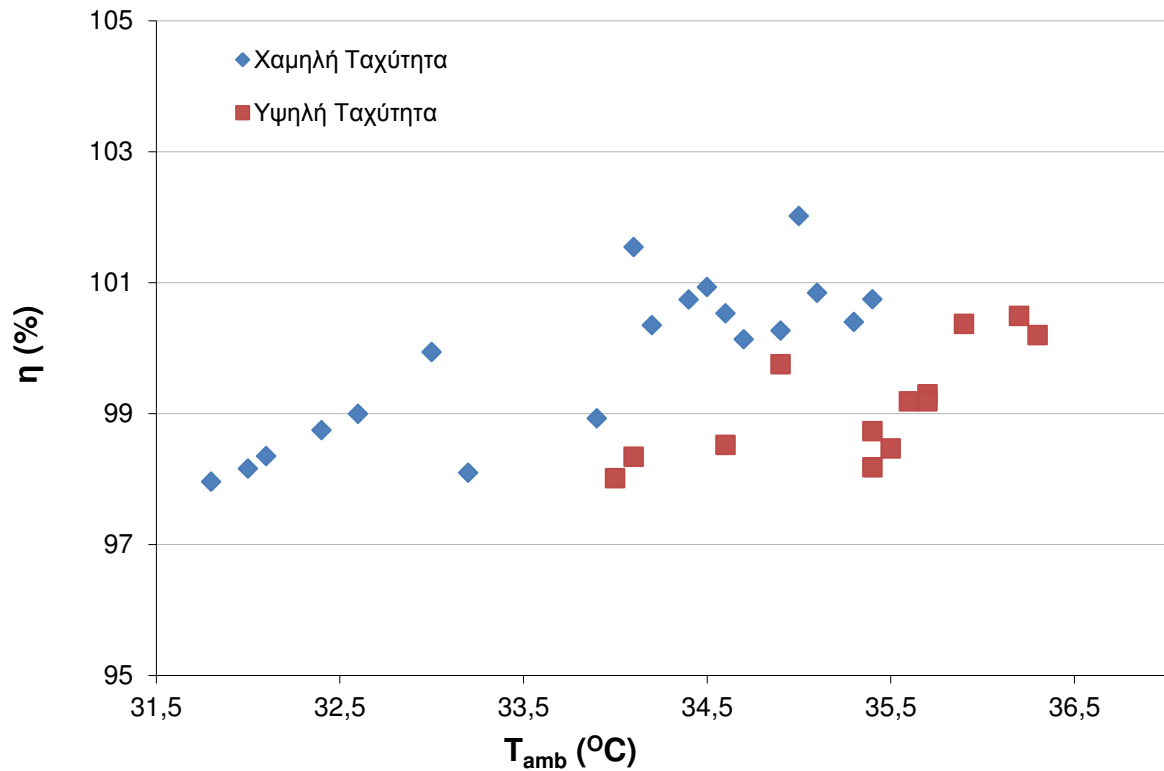


Σχήμα 5.2: Ψυκτική ικανότητα συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος

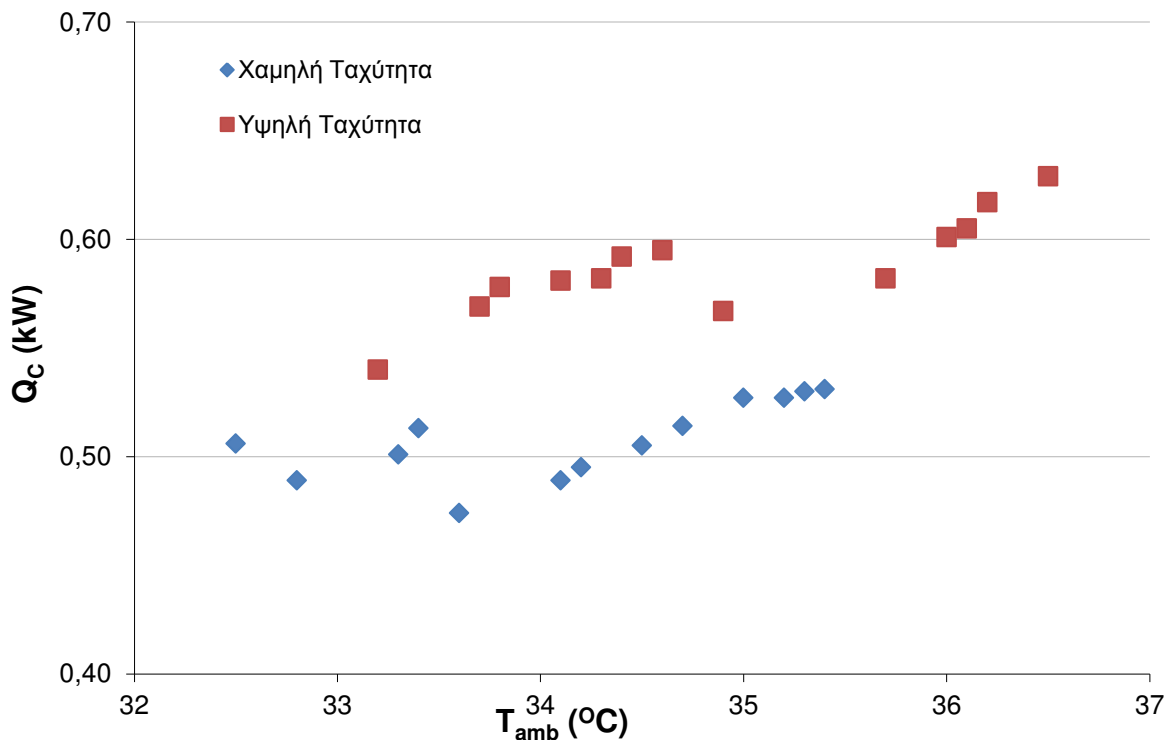


Σχήμα 5.3: Ειδική κατανάλωση νερού συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος

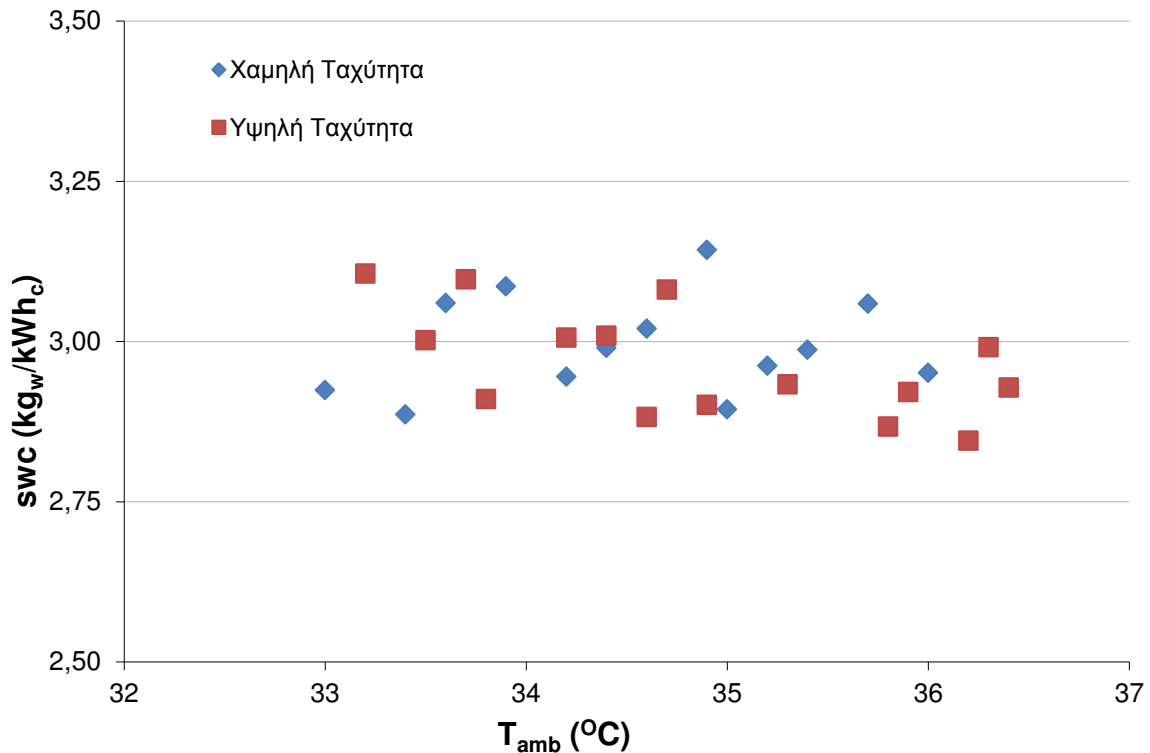
Η επόμενη εξεταζόμενη περίπτωση αφορά σε μη χρήση των αντιστάσεων. Προφανώς εδώ η είσοδος του ψύκτη ταυτίζεται με τις συνθήκες περιβάλλοντος



Σχήμα 5.4: Βαθμός απόδοσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος



Σχήμα 5.5: Ψυκτική ικανότητα συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος



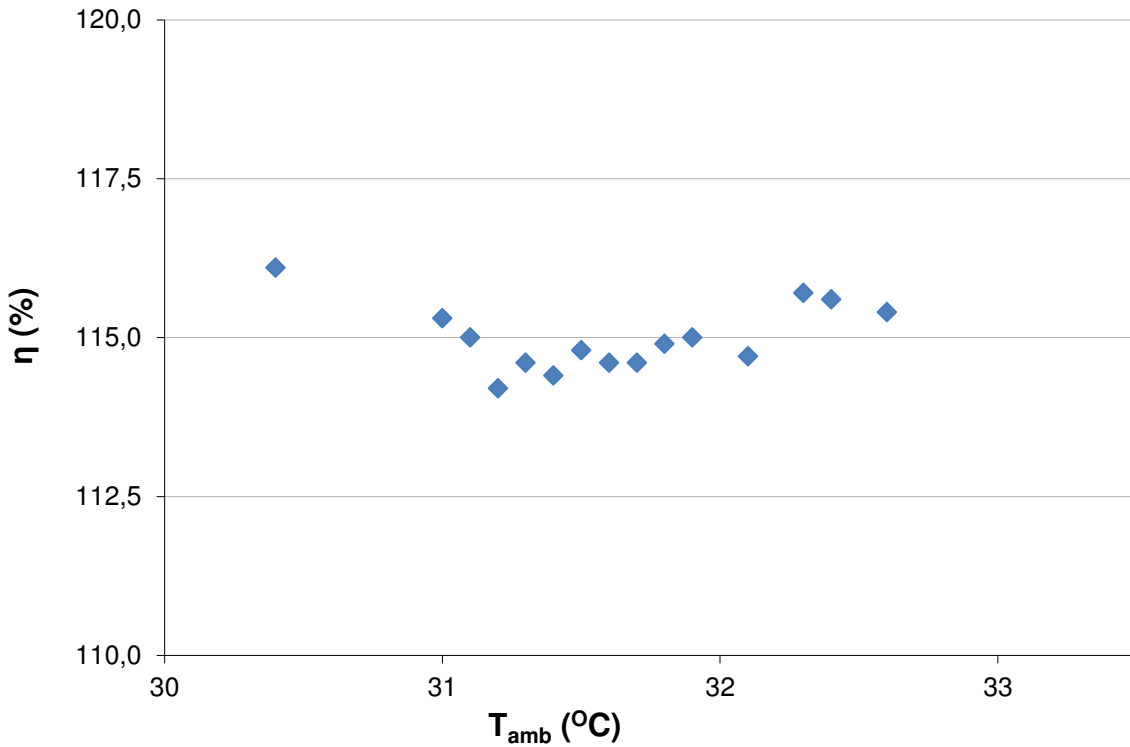
Σχήμα 5.6: Ειδική κατανάλωση νερού συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Για τα ανωτέρω παρουσιασθέντα αποτελέσματα, τονίζονται τα ακόλουθα:

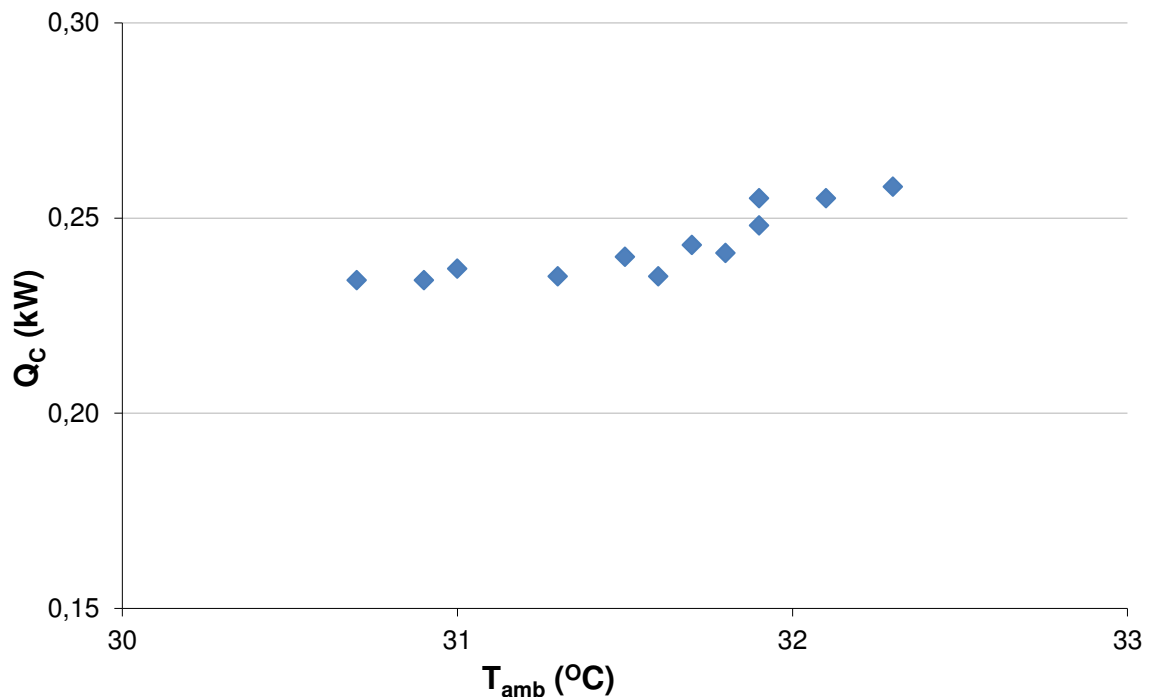
- από τα διαγράμματα του βαθμού απόδοσης που παρατέθηκαν παρατηρούμε ότι ως προς τη ταχύτητα του ανεμιστήρα, αποδοτικότερη εμφανίζεται η χαμηλή ταχύτητα ανεξαρτήτως σεναρίου. Επίσης, ενώ θα ανέμενε κανείς ότι όσο αυξάνει η εισερχόμενη στη μονάδα θερμοκρασία θα αύξανε ταυτόχρονα και ο βαθμός απόδοσης της μονάδας, παρατηρείται σε ορισμένα διαγράμματα ότι παραμένει κατά κανόνα σταθερός.
- επιπροσθέτως, παρατηρείται σε κάθε σενάριο λίγο υψηλότερη ψυκτική ισχύς στην περίπτωση της υψηλής ταχύτητας έναντι της χαμηλής. Αυτό εξηγείται επίσης από το τύπο {5.2} στον οποίο φαίνεται η εξάρτηση της ψυκτικής ισχύς από τη παροχή μάζας του ψυχόμενου ρεύματος, η οποία εξαρτάται από τη ταχύτητα του αέρα όπως αυτό φαίνεται στον τύπο {5.4}. Ο λόγος που δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο ταχυτήτων είναι ότι έχει μεγαλύτερη επίδραση στη ψυκτική ισχύ η διαφορά των ενθαλπιών εισόδου – εξόδου του ψυχόμενου ρεύματος από ότι έχει η παροχή μάζας του.
- βάσει τύπων {5.2}, {5.3}, και {5.5} συμπεραίνεται ότι ο swc εξαρτάται κυρίως από τη παροχή του αέρα. Εξαιτίας της μεγάλης εξάρτησης του από τη παροχή του ψυχόμενου αέρα παρατηρείται μεγάλη αύξηση του στη περίπτωση χαμηλής ταχύτητας. Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί και ότι η τιμή του swc στη φυσιολογική και πιο συμφέρουσα εφαρμογή της διάταξης, δηλαδή σε λειτουργία χωρίς αντιστάσεις είναι ιδιαίτερα μικρή.

Επόμενο βήμα είναι η μελέτη της συμπεριφοράς του ψύκτη, ως προς το λόγο παροχών μάζας των δύο ρευμάτων. Με τη βοήθεια των dampers αυξομειώσαμε τις παροχές του

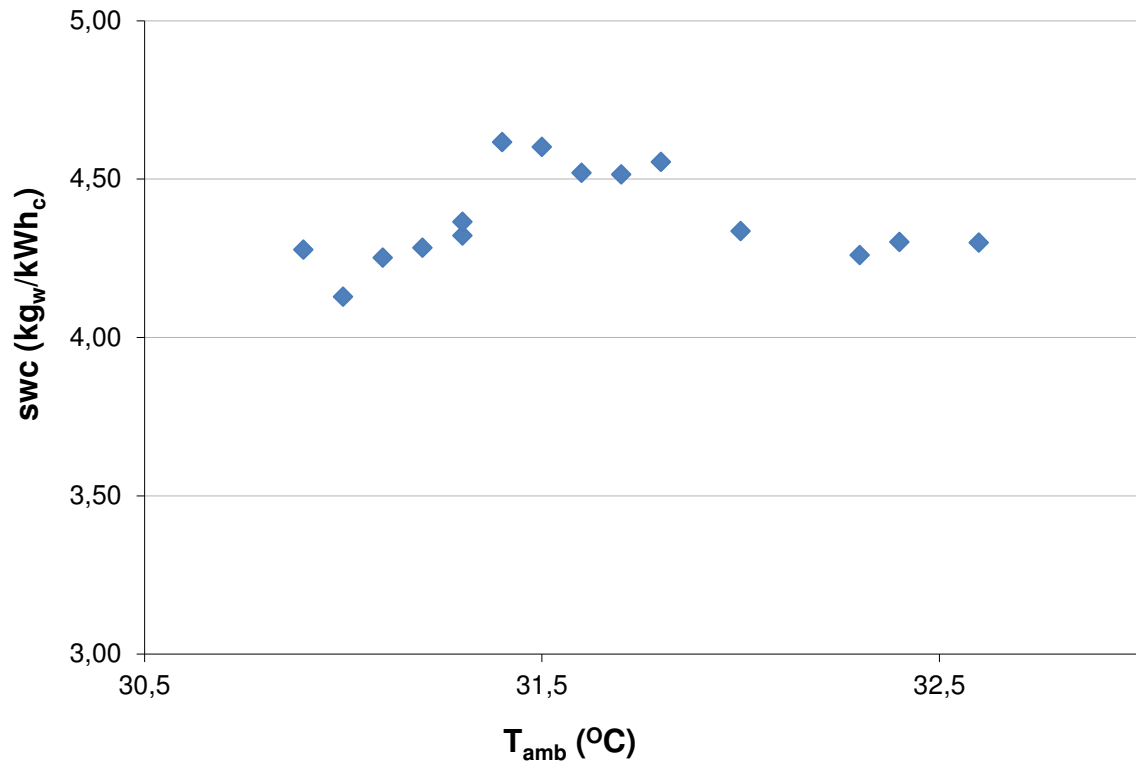
ψυχόμενου και του εργαζόμενου ρεύματος αέρα. Αν θέσουμε ως λ τον λόγο παραχών product προς working ρεύματος με τη παραμετροποίηση που έγινε, επετεύχθησαν πειράματα, στη χαμηλή ταχύτητα του ανεμιστήρα, με λόγους: $\lambda = 1/2$ και $\lambda = 2/3$, των οποίων τα διαγράμματα παρουσιάζονται παρακάτω.



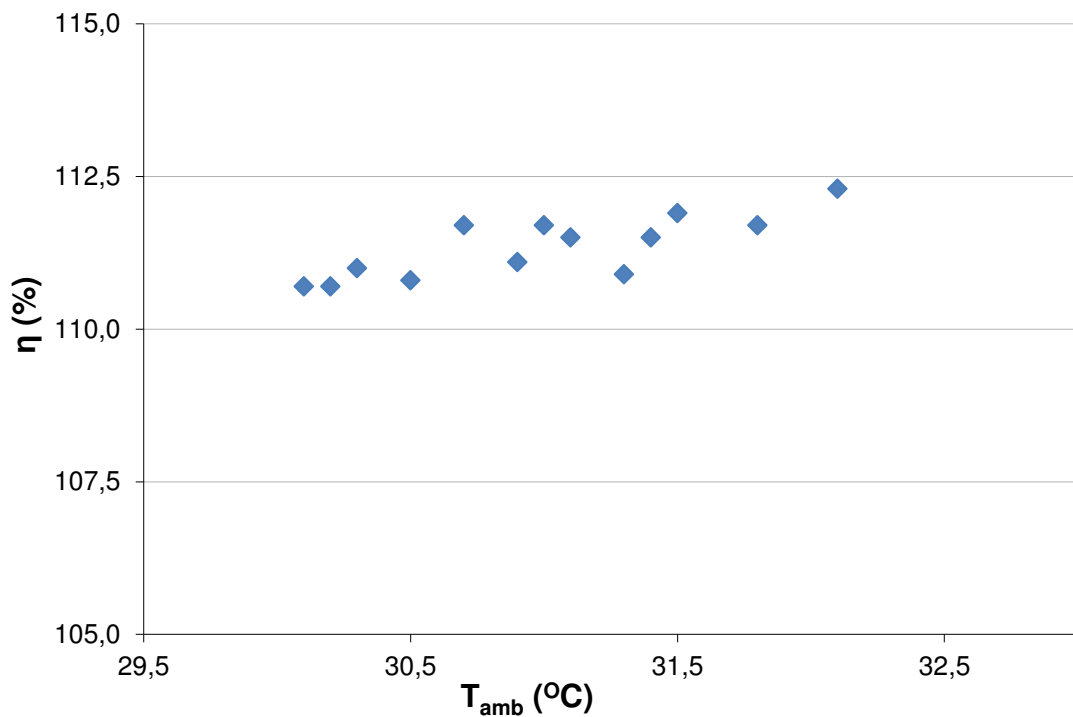
Σχήμα 5.7: Βαθμός απόδοσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($\lambda = 1/2$)



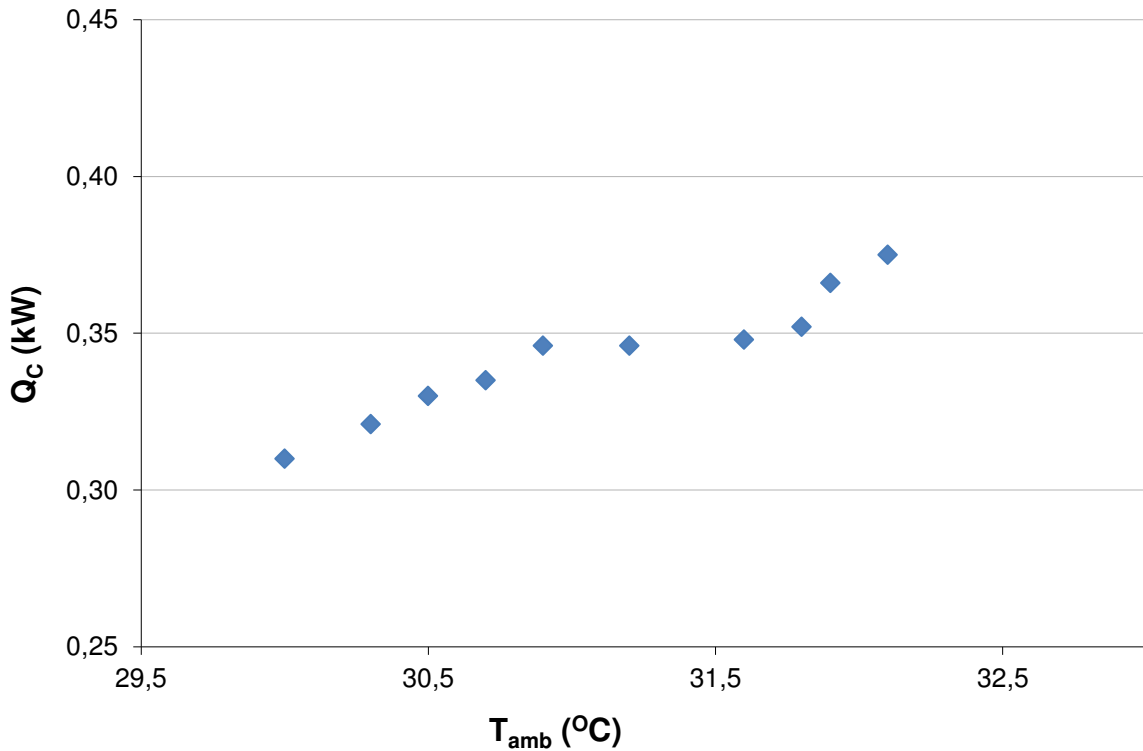
Σχήμα 5.8: Ψυκτική ικανότητα συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($\lambda = 1/2$)



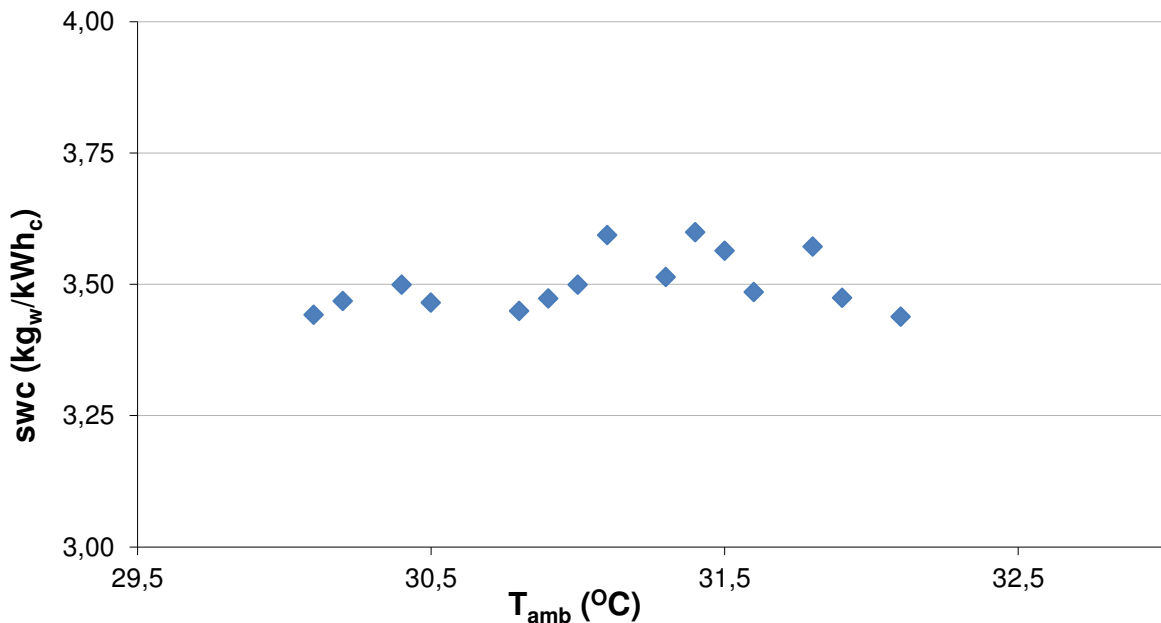
Σχήμα 5.9: Ειδική κατανάλωση νερού συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($\lambda = 1/2$)



Σχήμα 5.10: Βαθμός απόδοσης συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($\lambda = 2/3$)



Σχήμα 5.11: Ψυκτική ικανότητα συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($\lambda = 2/3$)



Σχήμα 5.12: Ειδική κατανάλωση νερού συναρτήσει θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($\lambda = 2/3$)

Σχετικά με τα παραπάνω διαγράμματα, τονίζονται τα εξής:

- στο διάγραμμα του βαθμού απόδοσης παρατηρείται ότι όσο μικρότερη είναι η παροχή του ψυχόμενου (product) ρεύματος τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης, αφού ο λόγος παροχών που είναι ίσος με 1/2 παρουσιάζει τους μεγαλύτερους βαθμούς

απόδοσης. Αυτό συμβαίνει, αφού μικρότερη ποσότητα ψυχόμενου ρεύματος παραλαμβάνει την ίδια (πρακτικά) λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.

- Όσον αφορά στο διάγραμμα της ψυκτικής ισχύος, τη μεγαλύτερη παρουσιάζει η περίπτωση των ίσων παροχών εργαζόμενου – ψυχόμενου ρεύματος αέρα, και αμέσως μετά ακολουθεί η περίπτωση όπου το $\lambda=2/3$ καθώς όπως φαίνεται και από το τύπο υπολογισμού της ψυκτικής ισχύος {5.2}, αφού μειώνεται η παροχή του product ρεύματος θα έπρεπε να αυξανόταν ανάλογα η διαφορά των ενθαλπιών εξόδου – εισόδου του ψυχόμενου ρεύματος, το οποίο δεν συμβαίνει δεδομένου ότι η τελευταία παραμένει σταθερή.
- Τέλος, στο διάγραμμα της ειδικής κατανάλωσης νερού πάλι παρατηρείται ότι ο μεγαλύτερος εμφανίζεται στη περίπτωση $\lambda=1/2$, κάτι που αναμενόταν καθώς από το τύπο υπολογισμού του (3) διαπιστώνεται ότι ο swc είναι ανάλογος του λόγου παροχών working προς product.

Παρακάτω, παρατίθενται πίνακες ληφθέντων μετρήσεων και εξαχθέντων αποτελεσμάτων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την επιβεβαίωση του υπολογιστικού μοντέλου.

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις ($\lambda = 1/1$, χαμηλή ταχύτητα)

α/α	T_{amb} ($^{\circ}C$)	RH_{amb} (%)	$T_{pro\ in}$ ($^{\circ}C$)	$RH_{pro\ in}$ (%)	$T_{pro\ out}$ ($^{\circ}C$)	$RH_{pro\ out}$ (%)	$T_{wor\ in}$ ($^{\circ}C$)	$RH_{wor\ in}$ (%)	$T_{wor\ out}$ ($^{\circ}C$)	$RH_{wor\ out}$ (%)
1	31.8	32.6	32.6	30.1	20.1	57.9	32.6	30.5	28.9	80.9
2	32	32.2	32.7	29.9	20.1	58	32.7	30.3	29.1	80.6
3	32.1	32.1	32.8	29.7	20.1	57.7	32.8	30.2	29.1	80
4	32.4	32.6	33.3	30.1	20.5	60	33.3	30.5	29.8	79.9
5	32.6	33.7	33.4	31.2	20.8	61.9	33.4	31.7	29.9	81.4
6	33	33.5	33.6	31.1	20.8	61.5	33.6	31.6	29.8	81.5
7	33.2	37	34	34.4	22.1	65.2	34	34.9	30.6	82.7
8	34.1	36.6	34.6	34.3	22.1	65.5	34.5	34.9	30.6	83
9	34.2	36	34.7	33.8	22.2	65.3	34.7	34.5	30.7	83.1
10	33.9	36.5	34.5	34.1	22.3	65.6	34.5	34.7	30.8	83.3
11	34.4	35.6	34.9	33.4	22.2	65.3	34.9	34	31	82.9
12	34.5	35.4	35	33.2	22.2	65.2	35	33.8	31	83
13	34.6	35	35.1	32.7	22.2	64.7	35.1	33.4	31	83.8
14	34.7	34	35.2	31.8	22.1	63.4	35.2	32.4	31.1	82.5
15	35	34.4	35.4	32.2	22.1	64.6	35.4	32.8	31.1	82.9
16	35.1	34.3	35.5	32.1	22.3	64.9	35.5	32.8	31.4	83.1
17	34.9	34.1	35.5	31.8	22.3	63.9	35.5	32.4	31.4	83.7
18	35.3	33.5	35.7	31.3	22.3	62.8	35.7	31.8	31.5	82.8
19	35.4	33.3	35.8	31.2	22.3	63.3	35.8	31.8	31.4	82.8

Πίνακας 5.2: Ψυχομετρικά μεγέθη I ($\lambda = 1/1$, χαμηλή ταχύτητα)

α/α	$T_{wb \text{ pro in}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$h_{\text{pro in}}$ (kJ/kg)	$V_{\text{pro out}}$ (m^3/kg_a)	$T_{wb \text{ pro out}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$h_{\text{pro out}}$ (kJ/kg)	$T_{wb \text{ wor in}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$W_{\text{wor in}}$ (kg_w/kg_a)	$V_{\text{wor out}}$ (m^3/kg_a)	$T_{wb \text{ wor out}}$ ($^{\circ}\text{C}$)
1	19.8	56.4	0.842	14.9	41.7	19.9	0.009	0.884	26.2
2	19.9	56.5	0.842	15.0	41.8	20.0	0.009	0.885	26.3
3	19.9	56.6	0.842	14.9	41.7	20.0	0.009	0.885	26.2
4	20.3	58.1	0.844	15.6	43.5	20.4	0.010	0.888	26.9
5	20.7	59.3	0.846	16.1	45.0	20.8	0.010	0.889	27.2
6	20.8	59.7	0.846	16.0	44.8	20.9	0.010	0.889	27.1
7	21.9	63.5	0.851	17.7	49.8	22.0	0.012	0.893	28.1
8	22.3	65.1	0.851	17.7	49.9	22.4	0.012	0.893	28.1
9	22.2	64.9	0.852	17.8	50.1	22.4	0.012	0.893	28.2
10	22.2	64.6	0.852	17.9	50.5	22.3	0.012	0.894	28.4
11	22.3	65.1	0.852	17.8	50.1	22.4	0.012	0.895	28.5
12	22.3	65.2	0.852	17.8	50.0	22.5	0.012	0.895	28.5
13	22.3	65.0	0.852	17.7	49.8	22.4	0.012	0.895	28.6
14	22.1	64.4	0.851	17.4	49.0	22.3	0.012	0.895	28.5
15	22.4	65.3	0.851	17.6	49.5	22.5	0.012	0.895	28.6
16	22.4	65.5	0.852	17.8	50.2	22.6	0.012	0.897	28.9
17	22.3	65.2	0.852	17.7	49.8	22.5	0.012	0.897	29.0
18	22.4	65.3	0.852	17.5	49.3	22.5	0.012	0.897	28.9
19	22.4	65.5	0.852	17.6	49.5	22.6	0.012	0.897	28.9

Πίνακας 5.3: Ψυχομετρικά μεγέθη II ($\lambda = 1/1$, χαμηλή ταχύτητα)

α/α	$W_{\text{wor out}}$ (kg_w/kg_a)	$W_{\text{pro in}}$ (kg_w/kg_a)	$W_{\text{pro out}}$ (kg_w/kg_a)	m_{pro} (kg/s)	m_{wor} (kg/s)	η (%)	Q_c (kW)	swc (kg/kWh)
1	0.020	0.009	0.009	0.017	0.017	98.0	0.032	2.7
2	0.021	0.009	0.009	0.017	0.017	98.2	0.032	2.7
3	0.021	0.009	0.009	0.017	0.017	98.3	0.033	2.6
4	0.021	0.010	0.009	0.017	0.017	98.7	0.032	2.8
5	0.022	0.010	0.010	0.017	0.017	99.0	0.031	2.9
6	0.022	0.010	0.009	0.017	0.017	99.9	0.032	2.7
7	0.023	0.012	0.011	0.017	0.017	98.1	0.030	2.9
8	0.023	0.012	0.011	0.017	0.017	101.5	0.033	2.6
9	0.023	0.012	0.011	0.017	0.017	100.3	0.032	2.7
10	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	98.9	0.031	2.9
11	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	100.7	0.032	2.8
12	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	100.9	0.033	2.8
13	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	100.5	0.033	2.8
14	0.024	0.011	0.011	0.017	0.017	100.1	0.033	2.8
15	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	102.0	0.034	2.7
16	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	100.8	0.033	2.9
17	0.025	0.012	0.011	0.017	0.017	100.3	0.033	2.9
18	0.024	0.011	0.011	0.017	0.017	100.4	0.035	2.8
19	0.024	0.012	0.011	0.017	0.017	100.7	0.034	2.8

Πίνακας 5.4: Μετρήσεις ($\lambda = 1/1$, υψηλή ταχύτητα)

α/α	T_{amb} ($^{\circ}C$)	RH_{amb} (%)	T_{pro_in} ($^{\circ}C$)	RH_{pro_in} (%)	T_{pro_out} ($^{\circ}C$)	RH_{pro_out} (%)	T_{wor_in} ($^{\circ}C$)	RH_{wor_in} (%)	T_{wor_out} ($^{\circ}C$)	RH_{wor_out} (%)
1	36.3	29.9	36.6	28	22.1	59.8	36.6	28.5	31.7	82.2
2	35.7	30.4	36.3	28.3	22.1	60.7	36.3	28.8	31.8	80.7
3	35.5	30.8	36.2	28.5	22.2	60.8	36.2	29	31.7	80.9
4	35.6	31.3	36.3	29	22.3	61.5	36.3	29.5	31.8	82.4
5	35.4	31.3	36.1	29	22.3	60.8	36.1	29.5	31.7	82.5
6	35.4	31.6	36.1	29.3	22.3	60.2	36.1	29.8	31.7	81.1
7	35.7	31.3	36.3	29	22.3	60	36.3	29.4	31.9	80.1
8	35.9	31.3	36.5	29.1	22.3	60.6	36.5	29.6	31.9	80.3
9	36.2	30.9	36.6	28.9	22.3	60.2	36.6	29.5	31.9	80
10	34.9	30.9	35.5	28.4	21.5	59	35.5	28.9	31.2	77.9
11	34.6	30.5	35.4	28	21.5	57.6	35.4	28.4	31.3	79
12	34	31.2	34.8	28.6	21.3	57.9	34.9	28.9	31.1	79.8
13	34.1	31.2	34.9	28.5	21.3	57.9	34.9	28.9	31.1	79.9

Πίνακας 5.5: Ψυχομετρικά μεγέθη I ($\lambda = 1/1$, υψηλή ταχύτητα)

α/α	$T_{wb_pro_in}$ ($^{\circ}C$)	h_{pro_in} (kJ/kg)	v_{pro_out} (m^3/kg_a)	$T_{wb_pro_out}$ ($^{\circ}C$)	h_{pro_out} (kJ/kg)	$T_{wb_wor_in}$ ($^{\circ}C$)	W_{wor_in} (kg_w/kg_a)	v_{wor_out} (m^3/kg_a)	$T_{wb_wor_out}$ ($^{\circ}C$)
1	22.1	64.4	0.850	16.9	47.5	22.3	0.011	0.898	29.0
2	22.0	63.9	0.850	17.1	47.8	22.1	0.011	0.898	28.9
3	22.0	63.9	0.851	17.2	48.1	22.1	0.011	0.897	28.8
4	22.2	64.6	0.851	17.3	48.7	22.3	0.011	0.899	29.2
5	22.0	64.1	0.851	17.2	48.4	22.2	0.011	0.898	29.1
6	22.1	64.4	0.851	17.2	48.1	22.3	0.011	0.898	28.9
7	22.2	64.6	0.851	17.1	48.1	22.3	0.011	0.898	28.9
8	22.4	65.3	0.851	17.2	48.3	22.5	0.011	0.898	28.9
9	22.4	65.3	0.851	17.2	48.1	22.5	0.011	0.898	28.9
10	21.5	62.0	0.848	16.3	45.6	21.6	0.010	0.894	27.9
11	21.3	61.4	0.847	16.1	45.0	21.4	0.010	0.895	28.2
12	21.0	60.5	0.847	16.0	44.6	21.2	0.010	0.894	28.1
13	21.1	60.6	0.847	16.0	44.6	21.2	0.010	0.894	28.1

Πίνακας 5.6: Ψυχομετρικά μεγέθη II ($\lambda = 1/1$, υψηλή ταχύτητα)

α/α	$W_{\text{wor_out}}$ (kg_w/kg_a)	$W_{\text{pro_in}}$ (kg_w/kg_a)	$W_{\text{pro_out}}$ (kg_w/kg_a)	m_{pro} (kg/s)	m_{wor} (kg/s)	η (%)	Q_c (kW)	swc (kg/kWh)
1	0.025	0.011	0.010	0.02	0.02	100.2	0.602	2.8
2	0.024	0.011	0.010	0.02	0.02	99.3	0.576	2.9
3	0.024	0.011	0.010	0.02	0.02	98.5	0.579	2.9
4	0.025	0.011	0.010	0.02	0.02	99.2	0.569	3.0
5	0.025	0.011	0.010	0.02	0.02	98.2	0.582	3.0
6	0.024	0.011	0.010	0.02	0.02	98.7	0.586	2.8
7	0.024	0.011	0.010	0.02	0.02	99.2	0.601	2.8
8	0.024	0.011	0.010	0.02	0.02	100.4	0.617	2.7
9	0.024	0.011	0.010	0.02	0.02	100.5	0.596	2.6
10	0.023	0.010	0.009	0.02	0.02	99.7	0.610	2.6
11	0.023	0.010	0.009	0.02	0.02	98.5	0.605	2.7
12	0.023	0.010	0.009	0.02	0.02	98.0	0.606	2.8
13	0.023	0.010	0.009	0.02	0.02	98.3	0.580	2.8

Πίνακας 5.7: Μετρήσεις ($\lambda = 1/2$)

α/α	T_{amb} ($^{\circ}\text{C}$)	RH_{amb} (%)	$T_{\text{pro_in}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\text{RH}_{\text{pro_in}}$ (%)	$T_{\text{pro_out}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\text{RH}_{\text{pro_out}}$ (%)	$T_{\text{wor_in}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\text{RH}_{\text{wor_in}}$ (%)	$T_{\text{wor_out}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\text{RH}_{\text{wor_out}}$ (%)
1	30.4	37.3	31	34.3	17.8	75.5	31.3	34.4	25.2	90.3
2	31	36.3	31.3	33.9	18	74.6	31.7	33.6	25.2	89.9
3	31.1	36.5	31.4	33.9	18.1	74.9	31.8	33.7	25.4	90.1
4	31.2	37	31.7	33.9	18.4	75.5	32.1	33.9	26.2	90.5
5	31.4	36.3	31.8	33.7	18.4	75.4	32.3	33.4	26.1	90.5
6	31.3	37	31.8	33.8	18.4	75.7	32.2	33.8	26	90.6
7	31.5	36.9	31.9	34	18.5	75.9	32.3	33.9	26	90.5
8	31.6	35.8	32.1	33	18.4	75	32.5	32.8	25.9	90.2
9	31.7	34.6	32.2	31.6	18.1	74	32.6	31.5	25.9	89.9
10	31.8	34.1	32.3	31.1	18	73.5	32.7	31.1	25.9	89.7
11	31.9	34.3	32.3	31.5	18.1	74.3	32.8	31.3	25.9	90.1
12	32.3	32.4	32.6	30	17.8	73.1	33.1	29.6	25.7	89.7
13	32.1	32.4	32.6	29.5	17.8	72.3	33	29.4	25.7	89.9
14	32.6	31.2	32.8	29	17.7	71.6	33.4	28.6	25.9	89.5
15	32.4	31.4	32.8	29.1	17.7	72	33.3	28.7	25.7	89.4

Πίνακας 5.8: Ψυχομετρικά μεγέθη I ($\lambda = 1/2$)

α/α	$T_{wb\ pro\ in}$ ($^{\circ}C$)	$h_{pro\ in}$ (kJ/kg)	$v_{pro\ out}$ (m^3/kg_a)	$T_{wb\ pro\ out}$ ($^{\circ}C$)	$h_{pro\ out}$ (kJ/kg)	$T_{wb\ wor\ in}$ ($^{\circ}C$)	$W_{wor\ in}$ (kg_w/kg_a)	$v_{wor\ out}$ (m^3/kg_a)	$T_{wb\ wor\ out}$ ($^{\circ}C$)
1	19.6	55.8	0.837	15.1	42.2	19.9	0.010	0.870	24.0
2	19.8	56.2	0.838	15.2	42.4	20.0	0.010	0.870	23.9
3	19.8	56.5	0.838	15.3	42.8	20.1	0.010	0.871	24.1
4	20.1	57.2	0.839	15.7	43.8	20.4	0.010	0.875	25.0
5	20.1	57.3	0.839	15.6	43.7	20.4	0.010	0.874	24.9
6	20.1	57.4	0.840	15.7	43.8	20.4	0.010	0.874	24.8
7	20.2	57.8	0.840	15.8	44.2	20.5	0.010	0.874	24.8
8	20.1	57.5	0.839	15.6	43.6	20.4	0.010	0.873	24.6
9	19.9	56.7	0.838	15.2	42.5	20.2	0.010	0.873	24.6
10	19.9	56.5	0.838	15.0	42.1	20.1	0.010	0.873	24.6
11	20.0	56.8	0.838	15.2	42.6	20.3	0.010	0.873	24.6
12	19.8	56.3	0.837	14.8	41.4	20.1	0.009	0.872	24.4
13	19.7	56.0	0.837	14.7	41.2	20.0	0.009	0.873	24.4
14	19.7	56.0	0.836	14.5	40.7	20.0	0.009	0.873	24.5
15	19.7	56.1	0.836	14.6	40.8	20.0	0.009	0.872	24.3

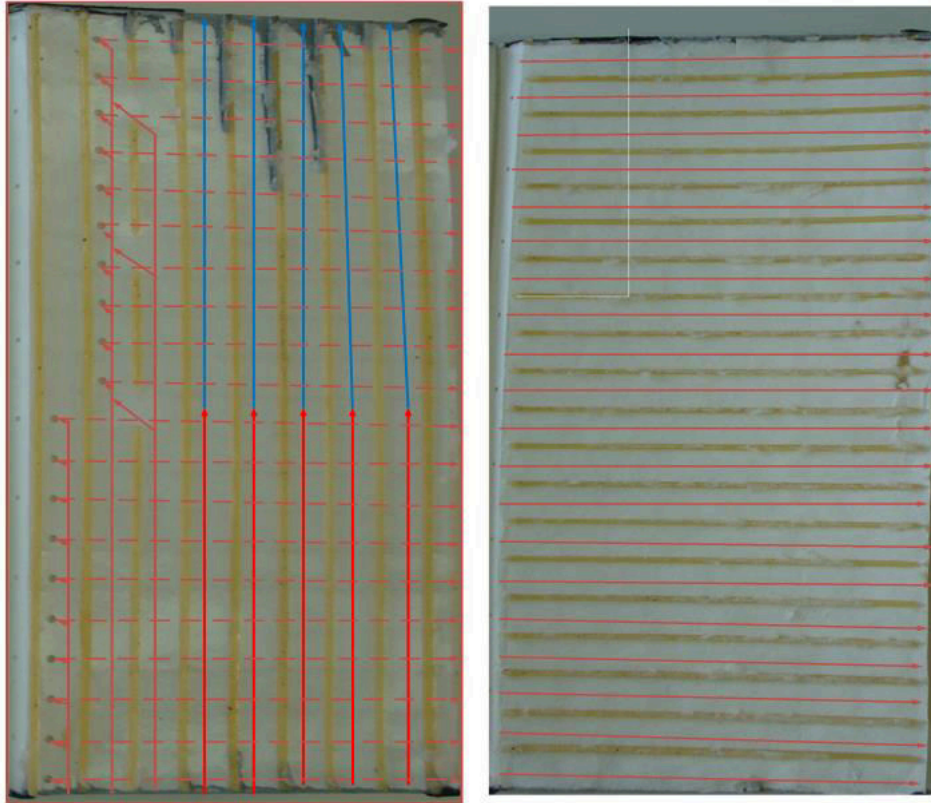
Πίνακας 5.9: Ψυχομετρικά μεγέθη II ($\lambda = 1/2$)

α/α	$W_{wor\ out}$ (kg_w/kg_a)	$W_{pro\ in}$ (kg_w/kg_a)	$W_{pro\ out}$ (kg_w/kg_a)	m_{pro} (kg/s)	m_{wor} (kg/s)	η (%)	Q_c (kW)	swc (kg/kWh)
1	0.018	0.010	0.010	0.01	0.02	116.1	0.249	4.0
2	0.018	0.010	0.010	0.01	0.02	115.3	0.248	3.9
3	0.018	0.010	0.010	0.01	0.02	115.0	0.248	4.0
4	0.020	0.010	0.010	0.01	0.02	114.2	0.254	4.4
5	0.019	0.010	0.010	0.01	0.02	114.4	0.253	4.4
6	0.019	0.010	0.010	0.01	0.02	114.6	0.253	4.3
7	0.019	0.010	0.010	0.01	0.02	114.8	0.255	4.2
8	0.019	0.010	0.010	0.01	0.02	114.6	0.255	4.2
9	0.019	0.009	0.010	0.01	0.02	114.6	0.260	4.2
10	0.019	0.009	0.009	0.01	0.02	114.9	0.258	4.1
11	0.019	0.010	0.010	0.01	0.02	115.0	0.255	4.2
12	0.019	0.009	0.009	0.01	0.02	115.8	0.257	4.0
13	0.019	0.009	0.009	0.01	0.02	114.7	0.257	4.1
14	0.019	0.009	0.009	0.01	0.02	115.4	0.254	4.0
15	0.019	0.009	0.009	0.01	0.02	115.7	0.253	4.0

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΞΑΜΙΣΤΙΚΟΥ ΨΥΚΤΗ

Η προσομοίωση του εναλλάκτη της πειραματικής διάταξης έγινε για να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της με αυτά που προέκυψαν από τις μετρήσεις ώστε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα από τη σύγκριση αυτή. Ο θεωρητικός αυτός υπολογισμός έγινε με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών με τη χρήση του λογισμικού Mathcad.



Σχήμα 6.1: Ροές αέρα

Στο Σχήμα 6.1 απεικονίζεται η ροή του αέρα σε όλο τον εναλλάκτη. Τα πέντε (5) κανάλια που διακρίνονται με κόκκινο χρώμα, το οποίο μετατρέπεται σε γαλάζιο είναι τα κανάλια του product ρεύματος. Αντίθετα, τα τρία (3) κανάλια, παράπλευρα των product καναλιών, και σημειώνονται με ροζ χρώμα είναι τα κανάλια του working ρεύματος. Μέσω αυτών το working ρεύμα αέρα εισάγεται στις οπές και οδηγείται κάθετα στη κάτω βαθμίδα, η οποία διαθέτει είκοσι (20) κανάλια, όπως απεικονίζεται με διακεκομμένες γραμμές αριστερά ή με τις γραμμές δεξιά και εξέρχεται στο περιβάλλον. Στα σημεία που διασταυρώνονται οι οριζόντιες και κάθετες ροές συντελείται μεταφορά θερμότητας μεταξύ των ρευμάτων του αέρα. Αυτή η μεταφορά θερμότητας θα μοντελοποιηθεί με τις κατάλληλες εξισώσεις και μέσω του προγράμματος θα προκύψουν οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε κάθε σημείο της υγρής και ξηρής πλευράς.

Οι κύριες εξισώσεις που θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα, αλλά και οι αρχικές συνθήκες που εισάγονται αναφέρονται παρακάτω:

- ❖ *Αρχικές συνθήκες*: οι αρχικές συνθήκες που τίθενται στο πρόγραμμα είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία που εισάγονται στον εναλλάκτη, οι ταχύτητες των product και working ρευμάτων και ένα μητρώο παροχών υποθέτοντας ότι ο αέρας ισοκατανέμεται σε κάθε θέση μελέτης. Ο υπολογισμός των υπόλοιπων θερμοδυναμικών μεγεθών που απαιτούνται στις παραπάνω εξισώσεις υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο.
- ❖ *Υπολογισμός συναλλασσόμενου ποσού θερμότητας*: τα ρεύματα θερμότητας με αγωγή και συναγωγή δίνονται από την παρακάτω σχέση ^[1]:

$$DQ = k \cdot A_1 \cdot \frac{T_{pro} - T_{wor}}{L_1} + h_m \cdot A_1 \cdot (T_{pro} - T_{wor}) \quad \{6.1\}$$

όπου:

- k : συντελεστής αγωγής του χαρτιού του εναλλάκτη ($=0.05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)
- A_1 : επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας ($=4.84 \text{ cm}^2$)
- L_1 : πάχος χαρτιού ($=1 \text{ mm}$)
- T_{pro} : θερμοκρασία οριζόντιου ψυχόμενου (product) ρεύματος αέρα σε κάθε σημείο
- T_{wor} : θερμοκρασία κάθετου εργαζόμενου (working) ρεύματος αέρα σε κάθε σημείο
- h_m : μέση ειδική συναγωγιμότητα^[1], η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$h_m = \frac{C \cdot \frac{k_a}{D_e} \left(\frac{v_{pro} \cdot D_e}{v_a} \right)^n + C \cdot \frac{k_a}{D_e} \left(\frac{v_{wor} \cdot D_e}{v_a} \right)^n}{2} \quad \{6.2\}$$

όπου:

- $C=0.205$ και $n=0.731$: σταθεροί συντελεστές, που δίνονται από τη βιβλιογραφία^[1]
 - $k_a=0.0262 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, $v_a=15.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$: οι ιδιότητες του αέρα
 - D_e : το ύψος κάθε οπής ($=22 \text{ mm}$)
 - u_{pro}, u_{wor} : οι ταχύτητες των product και working καναλιών αντίστοιχα
- ❖ *υπολογισμός ειδικών ενθαλπιών*: γνωρίζοντας το ποσό της συναλλασσόμενης θερμότητας (DQ) θα υπολογίσουμε μέσω των εξισώσεων των θερμικών ισοζυγίων για κάθε ρεύμα αέρα τις ειδικές ενθαλπίες του σε κάθε σημείο:

$$H_{pro}^{i+1} = H_{pro}^i - \frac{DQ}{\dot{m}_{pro}} \quad \{6.3\}$$

$$H_{wor}^{i+1} = H_{wor}^i + \frac{DQ}{\dot{m}_{wor}} \quad \{6.4\}$$

όπου \dot{m}_{pro} και \dot{m}_{wor} οι παροχές μάζας των ρευμάτων αέρα product και working αντίστοιχα και υπολογίζονται:

$$\begin{cases} \dot{m}_{pro} = \rho_{pro} \cdot A \cdot u_{pro} \\ \dot{m}_{wor} = \rho_{wor} \cdot A \cdot u_{wor} \end{cases} \quad \{6.4\}$$

όπου ρ_{pro} και ρ_{wor} είναι οι πυκνότητες των ρευμάτων αέρα, A η διατομή κάθε καναλιού ($=0.44 \text{ cm}^2$) και u_{pro} και u_{wor} οι ταχύτητες των δυο ρευμάτων αέρα.

6.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν μερικές αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις που αντιστοιχούν σε αυτές των πειραματικών με τελικό στόχο τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του πειράματος και της υπολογιστικής επίλυσης της μονάδας.

- χαμηλή ταχύτητα, $\varnothing 200$ ανοιχτή:

οι αρχικές συνθήκες που τέθηκαν στο πρόβλημα και είναι οι αντίστοιχες του πειράματος είναι: $T_{in}=48.7^{\circ}C$, $RH_{in}=18.4\%$, $u_{pro}=3.68m/s$, $u_{work}=3.69m/s$. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

Πίνακας 6.1: Θερμοκρασία ψυχόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	48.7	43.1	38.6	35.0	32.1	30.0	28.4	27.5	27.0	26.8	26.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	48.7	46.1	43.8	41.6	39.5	37.6	35.8	34.3	33.0	32.0	31.2	30.4	29.6	28.9	28.2	27.8	27.5	27.2	26.9	26.9	26.9
3	48.7	46.9	45.3	43.6	42.0	40.3	38.8	37.3	36.0	34.8	33.8	32.4	31.4	30.7	30.2	29.4	29.2	29.0	28.9	0.0	0.0
4	48.7	46.6	44.9	43.3	41.7	40.3	38.8	37.5	36.3	35.2	34.2	29.3	26.4	24.6	23.5	22.8	22.4	22.1	22.0	21.8	21.8
5	48.7	47.2	45.8	44.3	42.9	41.5	40.1	38.8	37.6	36.5	35.4	31.8	28.9	26.7	25.2	24.1	23.3	22.8	22.4	22.1	22.0
6	48.7	47.5	46.4	45.1	43.9	42.6	41.3	40.0	38.8	37.7	36.6	33.6	30.9	28.7	26.9	25.5	24.4	23.6	23.1	22.6	22.3
7	48.7	47.8	46.8	45.8	44.6	43.5	42.3	41.1	39.9	38.8	37.8	35.1	32.6	30.4	28.5	27.0	25.7	24.7	23.9	23.3	22.8
8	48.7	47.9	47.2	46.3	45.3	44.2	43.1	42.0	40.9	39.8	38.8	36.4	34.1	31.9	30.0	28.4	27.0	25.8	24.8	24.1	23.5

Πίνακας 6.2: Σχετική υγρασία παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	18.4	24.5	31.0	37.8	44.4	50.2	54.9	58.1	59.8	60.2	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	18.4	21.0	23.7	26.6	29.7	32.9	36.2	39.3	42.2	44.8	46.8	49.0	51.2	53.4	55.6	56.8	58.0	59.1	60.1	60.1	60.2
3	18.4	20.2	21.9	23.9	26.0	28.3	30.8	33.3	35.8	38.2	40.5	43.8	46.2	48.1	49.5	51.8	52.7	53.1	53.5	0.0	0.0
4	18.4	20.4	22.3	24.2	26.3	28.5	30.7	33.0	35.2	37.4	39.5	52.2	61.9	68.8	73.5	76.5	78.6	79.9	80.8	81.3	81.7
5	18.4	19.9	21.3	23.0	24.7	26.6	28.6	30.7	32.8	34.9	36.9	45.3	53.5	60.6	66.4	71.0	74.4	76.9	78.6	79.8	80.6
6	18.4	19.5	20.7	22.0	23.5	25.2	26.9	28.8	30.7	32.6	34.6	40.9	47.6	54.1	60.0	65.2	69.5	72.9	75.5	77.5	78.9
7	18.4	19.3	20.2	21.3	22.6	24.0	25.6	27.2	28.9	30.7	32.5	37.6	43.2	49.0	54.6	59.8	64.5	68.5	71.8	74.5	76.6
8	18.4	19.1	19.8	20.8	21.9	23.1	24.5	25.9	27.5	29.1	30.8	35.1	39.9	44.9	50.1	55.1	59.8	64.1	67.8	71.0	73.7

Πίνακας 6.3: Θερμοκρασία ξηρού βολβού εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39.0	36.7	34.8	33.1	31.7	30.5	29.7	29.1	28.8	28.8	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9
2	42.3	40.3	38.5	36.9	35.4	34.1	32.9	31.9	31.2	30.6	30.0	29.8	29.6	29.4	29.2	29.1	28.9	28.9	28.8	28.8
3	44.3	42.5	41.0	39.5	38.1	36.8	35.6	34.6	33.6	32.8	31.0	30.5	30.1	29.8	29.5	29.2	29.0	28.9	28.8	28.8
4	45.5	43.8	42.3	40.9	39.5	38.2	37.0	35.9	34.9	33.9	26.5	24.8	23.7	23.0	22.5	22.2	22.0	21.9	21.8	21.7
5	46.4	44.8	43.4	42.0	40.7	39.4	38.2	37.1	36.1	35.1	29.2	27.1	25.5	24.3	23.5	22.9	22.5	22.2	22.0	21.9
6	47.0	45.5	44.3	43.0	41.8	40.6	39.4	38.3	37.2	36.2	31.3	29.1	27.3	25.8	24.7	23.9	23.2	22.8	22.4	22.2
7	47.4	46.1	45.0	43.9	42.7	41.5	40.4	39.3	38.3	37.3	32.9	30.7	28.9	27.3	26.0	25.0	24.1	23.5	23.0	22.6
8	47.7	46.6	45.6	44.6	43.5	42.4	41.4	40.3	39.3	38.3	34.3	32.2	30.4	28.7	27.3	26.1	25.1	24.3	23.7	23.2

Πίνακας 6.4: Λόγος υγρασίας εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0386	0.0340	0.0304	0.0276	0.0253	0.0237	0.0225	0.0218	0.0214	0.0213	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221
2	0.0468	0.0417	0.0377	0.0343	0.0315	0.0291	0.0272	0.0257	0.0246	0.0237	0.0229	0.0226	0.0223	0.0221	0.0218	0.0217	0.0215	0.0214	0.0213	0.0213
3	0.0522	0.0473	0.0433	0.0399	0.0368	0.0342	0.0319	0.0300	0.0284	0.0270	0.0244	0.0236	0.0230	0.0226	0.0222	0.0218	0.0216	0.0215	0.0213	0.0213
4	0.0560	0.0508	0.0467	0.0430	0.0398	0.0370	0.0345	0.0324	0.0305	0.0289	0.0186	0.0167	0.0156	0.0149	0.0145	0.0142	0.0141	0.0140	0.0139	0.0138
5	0.0587	0.0537	0.0496	0.0460	0.0427	0.0397	0.0371	0.0348	0.0327	0.0310	0.0219	0.0192	0.0175	0.0163	0.0155	0.0149	0.0145	0.0143	0.0141	0.0140
6	0.0607	0.0560	0.0522	0.0486	0.0453	0.0423	0.0396	0.0372	0.0350	0.0330	0.0247	0.0217	0.0194	0.0178	0.0166	0.0158	0.0152	0.0148	0.0144	0.0142
7	0.0622	0.0579	0.0544	0.0510	0.0478	0.0448	0.0420	0.0395	0.0372	0.0351	0.0272	0.0240	0.0214	0.0195	0.0180	0.0169	0.0160	0.0154	0.0150	0.0146
8	0.0633	0.0595	0.0563	0.0531	0.0500	0.0470	0.0443	0.0417	0.0394	0.0372	0.0296	0.0261	0.0234	0.0212	0.0195	0.0181	0.0171	0.0162	0.0156	0.0151

Τέλος από τα παραπάνω υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης ϵ_{wb} και η παροχή του νερού Q_w σε kg/h : $\epsilon_{wb}=120.15\%$ $Q_w=8.699 kg/h$

- *υψηλή ταχύτητα, $\varnothing 200$ ανοιχτή:*
 οι αρχικές συνθήκες που τέθηκαν στο πρόβλημα και είναι οι αντίστοιχες του πειράματος είναι: $T_{in}=48.9^\circ C$, $RH_{in}=18.1\%$, $u_{pro}=3.97m/s$, $u_{work}=4.07m/s$. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

Πίνακας 6.5: Θερμοκρασία ξηρού βολβού παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	48.7	43.1	38.6	35.0	32.1	30.0	28.4	27.5	27.0	26.8	26.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	48.7	46.1	43.8	41.6	39.5	37.6	35.8	34.3	33.0	32.0	31.2	30.4	29.6	28.9	28.2	27.8	27.5	27.2	26.9	26.9	26.9
3	48.7	46.9	45.3	43.6	42.0	40.3	38.8	37.3	36.0	34.8	33.8	32.4	31.4	30.7	30.2	29.4	29.2	29.0	28.9	0.0	0.0
4	48.7	46.6	44.9	43.3	41.7	40.3	38.8	37.5	36.3	35.2	34.2	29.3	26.4	24.6	23.5	22.8	22.4	22.1	22.0	21.8	21.8
5	48.7	47.2	45.8	44.3	42.9	41.5	40.1	38.8	37.6	36.5	35.4	31.8	28.9	26.7	25.2	24.1	23.3	22.8	22.4	22.1	22.0
6	48.7	47.5	46.4	45.1	43.9	42.6	41.3	40.0	38.8	37.7	36.6	33.6	30.9	28.7	26.9	25.5	24.4	23.6	23.1	22.6	22.3
7	48.7	47.8	46.8	45.8	44.6	43.5	42.3	41.1	39.9	38.8	37.8	35.1	32.6	30.4	28.5	27.0	25.7	24.7	23.9	23.3	22.8
8	48.7	47.9	47.2	46.3	45.3	44.2	43.1	42.0	40.9	39.8	38.8	36.4	34.1	31.9	30.0	28.4	27.0	25.8	24.8	24.1	23.5

Πίνακας 6.6: Σχετική υγρασία παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	18.1	24.0	30.2	36.8	43.3	49.2	54.0	57.4	59.3	59.9	59.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	18.1	20.7	23.4	26.2	29.2	32.4	35.6	38.6	41.5	44.0	46.1	48.3	50.5	52.7	54.9	56.2	57.5	58.6	59.7	59.7	59.8
3	18.1	19.9	21.7	23.6	25.8	28.0	30.4	32.9	35.4	37.7	40.0	43.3	45.7	47.6	49.0	51.3	52.3	52.7	53.1	0.0	0.0
4	18.1	20.2	22.1	24.1	26.2	28.3	30.6	32.8	35.0	37.2	39.3	51.5	61.1	68.0	72.7	75.9	78.0	79.4	80.4	81.0	81.4
5	18.1	19.7	21.2	22.8	24.6	26.5	28.5	30.6	32.6	34.7	36.7	45.1	53.0	60.0	65.8	70.3	73.8	76.3	78.1	79.4	80.2
6	18.1	19.3	20.5	21.9	23.4	25.1	26.9	28.7	30.6	32.5	34.5	40.8	47.4	53.8	59.6	64.7	68.9	72.3	75.0	77.0	78.5
7	18.1	19.1	20.0	21.2	22.5	24.0	25.5	27.2	28.9	30.7	32.5	37.6	43.1	48.8	54.3	59.5	64.1	68.0	71.3	74.0	76.1
8	18.1	18.9	19.6	20.6	21.7	23.0	24.4	25.9	27.4	29.1	30.7	35.1	39.8	44.9	49.9	54.9	59.5	63.7	67.4	70.6	73.2

Πίνακας 6.7: θερμοκρασία ξηρού βολβού εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	30.9	29.3	27.9	26.7	25.6	24.8	24.1	23.6	23.4	23.3	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
2	32.9	31.6	30.5	29.5	28.5	27.5	26.7	26.0	25.4	24.9	24.5	24.3	24.1	23.9	23.7	23.6	23.5	23.4	23.3	23.3
3	33.9	33.0	32.1	31.3	30.4	29.6	28.8	28.0	27.4	26.7	25.3	24.9	24.6	24.3	24.0	23.7	23.6	23.4	23.3	23.3
4	34.5	33.7	32.9	32.2	31.4	30.6	29.9	29.1	28.4	27.8	21.9	20.6	19.7	19.1	18.7	18.4	18.2	18.0	17.9	17.9
5	34.8	34.1	33.6	32.9	32.2	31.5	30.8	30.1	29.4	28.7	24.2	22.6	21.3	20.3	19.6	19.1	18.7	18.4	18.2	18.1
6	35.0	34.5	34.0	33.5	32.9	32.3	31.6	31.0	30.3	29.6	25.9	24.2	22.8	21.7	20.7	20.0	19.4	19.0	18.6	18.4
7	35.1	34.7	34.3	33.9	33.4	32.9	32.3	31.7	31.1	30.5	27.3	25.6	24.2	23.0	21.9	21.0	20.3	19.7	19.2	18.8
8	35.2	34.8	34.6	34.2	33.8	33.4	32.9	32.3	31.8	31.2	28.4	26.9	25.4	24.2	23.0	22.0	21.2	20.5	19.9	19.4

Πίνακας 6.8: Λόγος υγρασίας εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0242	0.0220	0.0202	0.0188	0.0176	0.0167	0.0160	0.0156	0.0153	0.0152	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159
2	0.0272	0.0253	0.0237	0.0222	0.0209	0.0198	0.0188	0.0180	0.0173	0.0168	0.0164	0.0162	0.0160	0.0158	0.0156	0.0155	0.0154	0.0153	0.0153	0.0152
3	0.0289	0.0273	0.0260	0.0247	0.0235	0.0223	0.0213	0.0204	0.0196	0.0188	0.0173	0.0168	0.0165	0.0162	0.0159	0.0157	0.0155	0.0154	0.0153	0.0152
4	0.0299	0.0285	0.0273	0.0261	0.0249	0.0238	0.0227	0.0217	0.0208	0.0200	0.0140	0.0129	0.0122	0.0117	0.0114	0.0112	0.0110	0.0109	0.0109	0.0108
5	0.0304	0.0293	0.0283	0.0272	0.0262	0.0251	0.0240	0.0230	0.0221	0.0213	0.0162	0.0146	0.0135	0.0127	0.0121	0.0117	0.0114	0.0112	0.0111	0.0110
6	0.0308	0.0298	0.0290	0.0281	0.0272	0.0262	0.0252	0.0243	0.0233	0.0224	0.0179	0.0162	0.0148	0.0138	0.0130	0.0124	0.0120	0.0116	0.0114	0.0112
7	0.0310	0.0302	0.0296	0.0289	0.0281	0.0272	0.0263	0.0254	0.0244	0.0236	0.0195	0.0176	0.0161	0.0149	0.0140	0.0132	0.0126	0.0122	0.0118	0.0115
8	0.0311	0.0305	0.0300	0.0294	0.0287	0.0280	0.0272	0.0263	0.0255	0.0246	0.0208	0.0190	0.0174	0.0161	0.0150	0.0141	0.0134	0.0128	0.0123	0.0120

Τέλος από τα παραπάνω υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης ε_{wb} και η παροχή του νερού Q_w σε kg/h : $\varepsilon_{wb}=120\%$, $Q_w=9.506\text{ Kg/h}$

- *χαμηλή ταχύτητα, καμία αντίσταση σε λειτουργία:*

οι αρχικές συνθήκες που τέθηκαν στο πρόβλημα και είναι οι αντίστοιχες του πειράματος είναι: $T_{in}=34.1^\circ C$, $RH_{in}=31.4\%$, $u_{pro}=3.75\text{ m/s}$, $u_{work}=3.93\text{ m/s}$. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

Πίνακας 6.9: Θερμοκρασία ξηρού βολβού παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	34.1	30.9	28.4	26.3	24.6	23.3	22.4	21.8	21.4	21.3	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	34.1	33.1	32.1	31.0	29.9	28.8	27.7	26.8	26.0	25.3	24.8	24.2	23.6	23.0	22.5	22.1	21.9	21.6	21.4	21.3	21.3
3	34.1	33.5	32.9	32.2	31.4	30.6	29.8	28.9	28.1	27.4	26.7	25.8	25.2	24.7	24.3	23.7	23.5	23.3	23.2	0.0	0.0
4	34.1	33.5	33.0	32.4	31.7	30.9	30.2	29.4	28.7	28.0	27.3	23.8	21.7	20.3	19.5	18.9	18.6	18.3	18.2	18.0	18.0
5	34.1	33.7	33.4	32.9	32.3	31.7	31.0	30.4	29.7	29.0	28.3	25.8	23.7	22.1	20.9	20.0	19.4	18.9	18.6	18.3	18.2
6	34.1	33.8	33.6	33.2	32.8	32.3	31.7	31.1	30.5	29.8	29.2	27.2	25.3	23.7	22.3	21.2	20.4	19.7	19.2	18.8	18.5
7	34.1	33.9	33.7	33.5	33.1	32.7	32.3	31.8	31.2	30.6	30.0	28.3	26.6	25.0	23.6	22.4	21.4	20.6	19.9	19.4	19.0
8	34.1	33.9	33.8	33.6	33.4	33.1	32.7	32.3	31.8	31.3	30.7	29.2	27.7	26.2	24.9	23.6	22.5	21.6	20.8	20.1	19.6

Πίνακας 6.10: Σχετική υγρασία παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	31.4	37.5	43.4	49.1	54.2	58.6	62.1	64.5	65.8	66.2	66.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	31.4	33.2	35.1	37.4	39.9	42.5	45.1	47.7	50.0	52.0	53.7	55.7	57.7	59.7	61.7	62.9	64.0	65.1	66.0	66.1	66.2
3	31.4	32.4	33.5	34.9	36.5	38.2	40.1	42.1	44.0	46.0	47.9	50.4	52.4	53.9	55.2	57.3	58.1	58.6	59.0	0.0	0.0
4	31.4	32.4	33.3	34.5	35.9	37.5	39.1	40.9	42.7	44.5	46.2	56.8	64.7	70.3	74.2	76.7	78.5	79.7	80.5	81.1	81.5
5	31.4	32.1	32.7	33.6	34.6	35.9	37.3	38.8	40.3	42.0	43.6	50.6	57.3	63.2	68.0	71.8	74.7	76.9	78.4	79.6	80.4
6	31.4	31.9	32.3	32.9	33.7	34.7	35.8	37.1	38.4	39.9	41.4	46.6	52.1	57.4	62.3	66.6	70.2	73.2	75.5	77.3	78.7
7	31.4	31.8	32.1	32.5	33.1	33.8	34.7	35.8	36.9	38.2	39.5	43.6	48.1	52.8	57.5	61.8	65.7	69.1	72.0	74.4	76.3
8	31.4	31.7	31.9	32.2	32.6	33.2	33.9	34.8	35.7	36.8	37.9	41.3	45.1	49.2	53.4	57.5	61.5	65.1	68.3	71.1	73.5

Πίνακας 11: Θερμοκρασία ξηρού βολβού εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	30.5	28.8	27.5	26.2	25.2	24.4	23.8	23.4	23.1	23.1	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3
2	32.2	31.0	29.9	28.9	27.9	27.1	26.3	25.6	25.0	24.5	24.2	24.0	23.8	23.6	23.5	23.3	23.2	23.2	23.1	23.1
3	33.1	32.2	31.4	30.6	29.8	29.0	28.3	27.5	26.9	26.3	25.0	24.6	24.3	24.0	23.7	23.5	23.3	23.2	23.1	23.1
4	33.5	32.8	32.2	31.5	30.7	30.0	29.3	28.6	27.9	27.3	21.9	20.5	19.6	19.0	18.7	18.4	18.2	18.1	18.0	17.9
5	33.8	33.2	32.7	32.1	31.5	30.9	30.2	29.5	28.9	28.2	24.1	22.4	21.2	20.2	19.5	19.0	18.7	18.4	18.2	18.1
6	33.9	33.5	33.1	32.6	32.1	31.6	31.0	30.3	29.7	29.1	25.7	24.0	22.6	21.5	20.6	19.9	19.3	18.9	18.6	18.4
7	34.0	33.6	33.4	33.0	32.6	32.1	31.6	31.0	30.5	29.9	27.0	25.4	24.0	22.7	21.7	20.9	20.2	19.6	19.2	18.8
8	34.0	33.8	33.6	33.3	32.9	32.6	32.1	31.6	31.1	30.6	28.0	26.5	25.2	23.9	22.8	21.9	21.0	20.4	19.8	19.3

Πίνακας 6.12: Λόγος υγρασίας εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0236	0.0214	0.0197	0.0183	0.0172	0.0163	0.0157	0.0153	0.0151	0.0150	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158	0.0158
2	0.0262	0.0243	0.0228	0.0215	0.0203	0.0192	0.0183	0.0175	0.0169	0.0165	0.0161	0.0159	0.0158	0.0156	0.0154	0.0153	0.0152	0.0151	0.0151	0.0150
3	0.0275	0.0261	0.0249	0.0238	0.0227	0.0216	0.0207	0.0198	0.0190	0.0183	0.0170	0.0165	0.0162	0.0159	0.0157	0.0154	0.0153	0.0152	0.0151	0.0150
4	0.0282	0.0271	0.0261	0.0250	0.0240	0.0229	0.0220	0.0211	0.0202	0.0195	0.0139	0.0128	0.0121	0.0117	0.0114	0.0112	0.0111	0.0110	0.0109	0.0109
5	0.0286	0.0277	0.0269	0.0260	0.0251	0.0241	0.0232	0.0223	0.0214	0.0206	0.0160	0.0144	0.0134	0.0126	0.0121	0.0117	0.0114	0.0112	0.0111	0.0110
6	0.0289	0.0281	0.0275	0.0268	0.0260	0.0251	0.0243	0.0234	0.0225	0.0217	0.0177	0.0160	0.0146	0.0136	0.0129	0.0123	0.0119	0.0116	0.0114	0.0112
7	0.0290	0.0284	0.0280	0.0274	0.0267	0.0260	0.0252	0.0244	0.0236	0.0228	0.0191	0.0173	0.0159	0.0147	0.0138	0.0131	0.0125	0.0121	0.0118	0.0115
8	0.0291	0.0286	0.0283	0.0278	0.0273	0.0267	0.0260	0.0252	0.0245	0.0237	0.0204	0.0186	0.0171	0.0159	0.0148	0.0139	0.0133	0.0127	0.0123	0.0119

Τέλος από τα παραπάνω υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης ϵ_{wb} και η παροχή του νερού Q_w σε kg/h : $\epsilon_{wb}=119.56\%$, $Q_w=4.659 kg/h$.

- *υψηλή ταχύτητα, καμία αντίσταση σε λειτουργία:*
 οι αρχικές συνθήκες που τέθηκαν στο πρόβλημα και είναι οι αντίστοιχες του πειράματος είναι: $T_{in}=35.3^{\circ}C$, $RH_{in}=29\%$, $u_{pro}=4.07m/s$, $u_{work}=4.24m/s$. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

Πίνακας 6.13: Θερμοκρασία ξηρού βολβού παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	35.3	32.0	29.3	27.1	25.3	23.9	22.8	22.1	21.7	21.5	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	35.3	34.1	33.0	31.9	30.7	29.5	28.4	27.4	26.6	25.8	25.3	24.6	24.0	23.4	22.8	22.5	22.2	21.8	21.6	21.6	21.5
3	35.3	34.6	33.9	33.1	32.3	31.4	30.5	29.7	28.8	28.0	27.3	26.3	25.6	25.1	24.7	24.0	23.7	23.6	23.4	0.0	0.0
4	35.3	34.6	34.0	33.3	32.5	31.7	30.9	30.1	29.3	28.6	27.9	24.3	22.0	20.6	19.6	19.0	18.6	18.3	18.1	18.0	17.9
5	35.3	34.8	34.4	33.8	33.2	32.5	31.8	31.1	30.3	29.6	28.9	26.2	24.1	22.4	21.1	20.2	19.5	19.0	18.6	18.4	18.2
6	35.3	34.9	34.6	34.2	33.7	33.2	32.5	31.9	31.2	30.5	29.8	27.7	25.7	24.0	22.6	21.5	20.6	19.8	19.3	18.9	18.6
7	35.3	35.0	34.8	34.5	34.1	33.6	33.1	32.5	31.9	31.3	30.7	28.9	27.1	25.5	24.0	22.8	21.7	20.8	20.1	19.6	19.1
8	35.3	35.1	34.9	34.7	34.4	34.0	33.6	33.1	32.6	32.0	31.4	29.8	28.2	26.7	25.3	24.0	22.8	21.9	21.0	20.3	19.8

Πίνακας 6.14: Σχετική υγρασία παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	28.9	34.8	40.5	46.1	51.3	55.9	59.6	62.2	63.8	64.4	64.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	28.9	30.8	32.8	35.0	37.5	40.0	42.6	45.2	47.5	49.6	51.4	53.4	55.4	57.5	59.5	60.7	61.9	63.1	64.2	64.3	64.3
3	28.9	30.1	31.2	32.6	34.2	35.9	37.8	39.7	41.7	43.7	45.5	48.2	50.3	51.9	53.2	55.4	56.3	56.9	57.3	0.0	0.0
4	28.9	30.0	31.1	32.4	33.8	35.3	37.0	38.7	40.5	42.3	44.1	54.5	62.5	68.3	72.4	75.2	77.2	78.5	79.5	80.1	80.5
5	28.9	29.7	30.4	31.4	32.5	33.8	35.2	36.7	38.2	39.9	41.5	48.5	55.1	61.0	65.9	69.9	73.0	75.3	77.1	78.3	79.3
6	28.9	29.5	30.0	30.7	31.5	32.6	33.7	35.0	36.4	37.8	39.3	44.5	49.9	55.2	60.2	64.6	68.3	71.4	73.9	75.8	77.3
7	28.9	29.4	29.7	30.2	30.9	31.7	32.6	33.7	34.9	36.1	37.5	41.6	46.1	50.7	55.3	59.7	63.7	67.2	70.2	72.7	74.7
8	28.9	29.3	29.5	29.9	30.4	31.0	31.8	32.7	33.7	34.7	35.9	39.3	43.1	47.2	51.3	55.4	59.4	63.0	66.3	69.2	71.7

Πίνακας 6.15: Θερμοκρασία ξηρού βολβού εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	30.9	29.3	27.9	26.7	25.6	24.8	24.1	23.6	23.4	23.3	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
2	32.9	31.6	30.5	29.5	28.5	27.5	26.7	26.0	25.4	24.9	24.5	24.3	24.1	23.9	23.7	23.6	23.5	23.4	23.3	23.3
3	33.9	33.0	32.1	31.3	30.4	29.6	28.8	28.0	27.4	26.7	25.3	24.9	24.6	24.3	24.0	23.7	23.6	23.4	23.3	23.3
4	34.5	33.7	32.9	32.2	31.4	30.6	29.9	29.1	28.4	27.8	21.9	20.6	19.7	19.1	18.7	18.4	18.2	18.0	17.9	17.9
5	34.8	34.1	33.6	32.9	32.2	31.5	30.8	30.1	29.4	28.7	24.2	22.6	21.3	20.3	19.6	19.1	18.7	18.4	18.2	18.1
6	35.0	34.5	34.0	33.5	32.9	32.3	31.6	31.0	30.3	29.6	25.9	24.2	22.8	21.7	20.7	20.0	19.4	19.0	18.6	18.4
7	35.1	34.7	34.3	33.9	33.4	32.9	32.3	31.7	31.1	30.5	27.3	25.6	24.2	23.0	21.9	21.0	20.3	19.7	19.2	18.8
8	35.2	34.8	34.6	34.2	33.8	33.4	32.9	32.3	31.8	31.2	28.4	26.9	25.4	24.2	23.0	22.0	21.2	20.5	19.9	19.4

Πίνακας 6.16: Λόγος υγρασίας εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0242	0.0220	0.0202	0.0188	0.0176	0.0167	0.0160	0.0156	0.0153	0.0152	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159
2	0.0272	0.0253	0.0237	0.0222	0.0209	0.0198	0.0188	0.0180	0.0173	0.0168	0.0164	0.0162	0.0160	0.0158	0.0156	0.0155	0.0154	0.0153	0.0153	0.0152
3	0.0289	0.0273	0.0260	0.0247	0.0235	0.0223	0.0213	0.0204	0.0196	0.0188	0.0173	0.0168	0.0165	0.0162	0.0159	0.0157	0.0155	0.0154	0.0153	0.0152
4	0.0299	0.0285	0.0273	0.0261	0.0249	0.0238	0.0227	0.0217	0.0208	0.0200	0.0140	0.0129	0.0122	0.0117	0.0114	0.0112	0.0110	0.0109	0.0109	0.0108
5	0.0304	0.0293	0.0283	0.0272	0.0262	0.0251	0.0240	0.0230	0.0221	0.0213	0.0162	0.0146	0.0135	0.0127	0.0121	0.0117	0.0114	0.0112	0.0111	0.0110
6	0.0308	0.0298	0.0290	0.0281	0.0272	0.0262	0.0252	0.0243	0.0233	0.0224	0.0179	0.0162	0.0148	0.0138	0.0130	0.0124	0.0120	0.0116	0.0114	0.0112
7	0.0310	0.0302	0.0296	0.0289	0.0281	0.0272	0.0263	0.0254	0.0244	0.0236	0.0195	0.0176	0.0161	0.0149	0.0140	0.0132	0.0126	0.0122	0.0118	0.0115
8	0.0311	0.0305	0.0300	0.0294	0.0287	0.0280	0.0272	0.0263	0.0255	0.0246	0.0208	0.0190	0.0174	0.0161	0.0150	0.0141	0.0134	0.0128	0.0123	0.0120

Τέλος από τα παραπάνω υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης ϵ_{wb} και η παροχή του νερού Q_w σε kg/h : $\epsilon_{wb}=119.63\%$, $Q_w=5.503 Kg/h$

- χαμηλή ταχύτητα, λόγος παροχών $\lambda=0.5$:

οι αρχικές συνθήκες που τέθηκαν στο πρόβλημα και είναι οι αντίστοιχες του πειράματος είναι: $T_{in}=32^{\circ}C$, $RH_{in}=32.5\%$, $u_{pro}=1.9m/s$, $u_{work}=3.57m/s$. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

Πίνακας 6.17: : Θερμοκρασία ξηρού βολβού παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	31.9	27.2	24.2	22.2	21.1	20.5	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	31.9	30.4	28.7	27.0	25.5	24.3	23.5	22.9	22.5	22.2	22.1	21.5	21.1	20.7	20.4	20.3	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
3	31.9	31.1	30.0	28.8	27.5	26.3	25.2	24.3	23.6	23.1	22.7	22.6	22.4	22.3	22.1	21.9	21.9	21.9	21.9	0.0	0.0
4	31.9	31.1	30.2	29.1	27.9	26.8	25.7	24.8	24.0	23.4	23.0	19.1	17.7	17.2	16.9	16.8	16.8	16.8	16.7	16.7	16.7
5	31.9	31.4	30.7	29.8	28.8	27.7	26.6	25.6	24.8	24.1	23.5	20.7	18.8	17.8	17.2	17.0	16.9	16.8	16.8	16.8	16.7
6	31.9	31.6	31.1	30.4	29.5	28.5	27.5	26.5	25.6	24.8	24.1	21.9	19.9	18.6	17.7	17.3	17.0	16.9	16.8	16.8	16.8
7	31.9	31.6	31.3	30.8	30.0	29.2	28.2	27.3	26.4	25.5	24.8	22.9	21.0	19.5	18.4	17.7	17.2	17.0	16.9	16.8	16.8
8	31.9	31.7	31.5	31.1	30.5	29.8	28.9	28.0	27.1	26.3	25.5	23.7	21.9	20.3	19.1	18.2	17.6	17.2	17.0	16.9	16.8

Πίνακας 6.18: : Σχετική υγρασία παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	32.6	42.8	51.2	57.6	61.7	64.0	65.0	65.3	65.3	65.3	65.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	32.6	35.4	39.1	43.2	47.2	50.7	53.4	55.4	56.7	57.5	58.0	60.0	61.8	63.2	64.3	64.8	65.1	65.3	65.3	65.3	65.3
3	32.6	34.2	36.3	39.0	42.0	45.2	48.1	50.8	52.9	54.6	55.9	56.3	56.9	57.4	57.9	58.7	58.7	58.8	58.8	0.0	0.0
4	32.6	34.1	35.9	38.3	41.0	43.9	46.7	49.3	51.6	53.5	55.0	69.8	76.2	78.8	79.9	80.4	80.7	80.8	80.9	80.9	80.9
5	32.6	33.5	34.9	36.7	39.0	41.6	44.2	46.9	49.3	51.5	53.3	63.0	71.0	75.9	78.4	79.7	80.3	80.6	80.8	80.9	80.9
6	32.6	33.3	34.1	35.6	37.4	39.6	42.1	44.6	47.0	49.3	51.4	58.6	66.2	72.1	76.0	78.3	79.6	80.2	80.6	80.8	80.9
7	32.6	33.1	33.7	34.7	36.2	38.1	40.2	42.5	44.9	47.2	49.4	55.3	62.0	68.2	73.0	76.3	78.4	79.5	80.2	80.6	80.7
8	32.6	33.0	33.4	34.2	35.3	36.8	38.7	40.7	42.9	45.1	47.3	52.5	58.5	64.6	69.8	73.8	76.7	78.5	79.6	80.2	80.5

Πίνακας 6.19: Θερμοκρασία ξηρού βολβού εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	28.5	26.1	24.3	23.2	22.4	22.1	21.9	21.9	21.9	21.9	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
2	30.1	28.4	26.8	25.4	24.3	23.5	22.9	22.5	22.3	22.1	22.5	22.3	22.2	22.0	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9
3	30.9	29.7	28.5	27.3	26.1	25.1	24.3	23.6	23.1	22.7	22.5	22.4	22.2	22.1	22.0	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9
4	31.4	30.4	29.3	28.2	27.1	26.0	25.1	24.3	23.7	23.2	19.2	17.8	17.2	17.0	16.8	16.8	16.8	16.7	16.7	16.7
5	31.6	30.8	30.0	29.0	27.9	26.9	26.0	25.1	24.3	23.7	20.7	18.9	17.8	17.3	17.0	16.9	16.8	16.8	16.8	16.8
6	31.7	31.2	30.5	29.6	28.7	27.7	26.8	25.9	25.1	24.3	21.8	20.0	18.6	17.8	17.3	17.0	16.9	16.8	16.8	16.8
7	31.8	31.4	30.9	30.2	29.4	28.5	27.6	26.7	25.8	25.0	22.8	21.0	19.5	18.4	17.7	17.3	17.0	16.9	16.8	16.8
8	31.8	31.5	31.1	30.6	29.9	29.1	28.3	27.4	26.5	25.7	23.6	21.9	20.3	19.1	18.2	17.6	17.2	17.0	16.9	16.8

Πίνακας 6.20: Λόγος υγρασίας εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0210	0.0181	0.0163	0.0151	0.0145	0.0141	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146	0.0146
2	0.0231	0.0208	0.0189	0.0174	0.0163	0.0154	0.0149	0.0145	0.0143	0.0142	0.0145	0.0143	0.0142	0.0141	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140
3	0.0242	0.0225	0.0209	0.0194	0.0182	0.0171	0.0162	0.0156	0.0151	0.0147	0.0146	0.0144	0.0143	0.0142	0.0141	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140	0.0140
4	0.0249	0.0234	0.0220	0.0206	0.0192	0.0181	0.0171	0.0162	0.0156	0.0151	0.0118	0.0108	0.0104	0.0102	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
5	0.0252	0.0241	0.0229	0.0216	0.0203	0.0190	0.0180	0.0170	0.0163	0.0157	0.0130	0.0116	0.0108	0.0104	0.0102	0.0102	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101
6	0.0254	0.0245	0.0236	0.0224	0.0212	0.0200	0.0189	0.0179	0.0170	0.0163	0.0139	0.0124	0.0114	0.0108	0.0104	0.0103	0.0102	0.0101	0.0101	0.0101
7	0.0255	0.0249	0.0241	0.0232	0.0221	0.0209	0.0198	0.0187	0.0178	0.0170	0.0148	0.0132	0.0120	0.0112	0.0107	0.0104	0.0103	0.0102	0.0101	0.0101
8	0.0256	0.0251	0.0245	0.0237	0.0228	0.0217	0.0206	0.0196	0.0186	0.0177	0.0156	0.0140	0.0127	0.0117	0.0111	0.0107	0.0104	0.0103	0.0102	0.0101

Τέλος από τα παραπάνω υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης ϵ_{wb} και η παροχή του νερού Q_w σε kg/h : $\epsilon_{wb}=126\%$, $Q_w=2.93 kg/h$

- χαμηλή ταχύτητα, λόγος παροχών $\lambda=2/3$:

οι αρχικές συνθήκες που τέθηκαν στο πρόβλημα και είναι οι αντίστοιχες του πειράματος είναι: $T_{in}=32^\circ C$, $RH_{in}=32.5\%$, $u_{pro}=1.9m/s$, $u_{work}=3.57m/s$. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται παρακάτω σε πίνακες:

Πίνακας 6.21: Θερμοκρασία ξηρού βολβού παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	31.2	27.5	24.8	22.8	21.4	20.5	20.0	19.7	19.7	19.7	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	31.2	30.1	28.9	27.6	26.3	25.1	24.2	23.4	22.8	22.3	22.0	21.5	21.0	20.5	20.2	20.0	19.8	19.7	19.6	19.6	19.6
3	31.2	30.6	29.9	29.0	28.1	27.1	26.1	25.2	24.5	23.8	23.2	22.7	22.4	22.1	21.9	21.5	21.5	21.4	21.4	0.0	0.0
4	31.2	30.6	30.0	29.3	28.4	27.5	26.6	25.8	25.0	24.3	23.7	20.2	18.4	17.4	17.0	16.7	16.5	16.4	16.4	16.4	16.3
5	31.2	30.8	30.4	29.8	29.1	28.3	27.5	26.7	25.9	25.2	24.5	21.9	19.9	18.6	17.7	17.2	16.8	16.6	16.5	16.4	16.4
6	31.2	30.9	30.7	30.2	29.7	29.0	28.3	27.5	26.8	26.0	25.3	23.2	21.3	19.8	18.6	17.8	17.3	16.9	16.7	16.6	16.5
7	31.2	31.0	30.8	30.5	30.1	29.5	28.9	28.3	27.6	26.8	26.1	24.3	22.5	20.9	19.6	18.6	17.9	17.4	17.0	16.8	16.6
8	31.2	31.0	30.9	30.7	30.4	30.0	29.4	28.9	28.2	27.6	26.9	25.3	23.6	22.0	20.7	19.5	18.6	17.9	17.4	17.1	16.8

Πίνακας 6.22: : Σχετική υγρασία παραγόμενου ρεύματος

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	33.3	41.2	48.3	54.4	59.2	62.7	64.8	65.8	66.2	66.2	66.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	33.3	35.4	38.0	41.0	44.2	47.4	50.3	52.7	54.7	56.2	57.2	59.1	60.9	62.6	64.1	64.8	65.4	65.9	66.2	66.2	66.2
3	33.3	34.5	35.9	37.8	39.9	42.3	44.7	47.1	49.4	51.4	53.1	54.8	56.0	56.9	57.7	58.9	59.2	59.4	59.5	0.0	0.0
4	33.3	34.4	35.6	37.2	39.1	41.2	43.4	45.6	47.7	49.7	51.6	64.1	71.7	76.0	78.4	79.7	80.5	80.9	81.2	81.4	81.4
5	33.3	34.0	34.8	36.0	37.5	39.2	41.1	43.2	45.2	47.2	49.2	57.6	65.0	70.8	74.7	77.3	79.0	80.0	80.6	81.0	81.2
6	33.3	33.8	34.4	35.2	36.3	37.7	39.4	41.1	43.0	44.9	46.8	53.1	59.7	65.6	70.5	74.1	76.7	78.5	79.6	80.4	80.8
7	33.3	33.7	34.1	34.6	35.5	36.6	37.9	39.4	41.1	42.9	44.7	49.7	55.4	61.1	66.2	70.4	73.8	76.3	78.1	79.3	80.1
8	33.3	33.7	33.9	34.3	34.9	35.8	36.8	38.1	39.5	41.1	42.7	47.0	52.0	57.1	62.1	66.7	70.5	73.6	76.0	77.8	79.0

Πίνακας 6.23: Θερμοκρασία ξηρού βολβού εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	28.2	26.2	24.6	23.4	22.5	21.9	21.6	21.4	21.3	21.3	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
2	29.7	28.3	27.0	25.9	24.9	24.0	23.3	22.7	22.3	22.0	22.1	21.9	21.8	21.6	21.5	21.4	21.4	21.4	21.3	21.3
3	30.4	29.4	28.5	27.6	26.7	25.8	25.0	24.3	23.7	23.2	22.5	22.2	22.0	21.8	21.6	21.5	21.4	21.4	21.3	21.3
4	30.8	30.0	29.3	28.5	27.6	26.8	25.9	25.2	24.5	23.9	19.4	18.0	17.3	16.9	16.6	16.5	16.4	16.4	16.4	16.3
5	31.0	30.4	29.8	29.1	28.4	27.6	26.8	26.1	25.3	24.7	21.2	19.5	18.3	17.6	17.1	16.8	16.6	16.5	16.4	16.4
6	31.1	30.6	30.2	29.7	29.0	28.3	27.6	26.9	26.2	25.5	22.6	20.8	19.4	18.4	17.7	17.2	16.9	16.7	16.5	16.5
7	31.1	30.8	30.5	30.1	29.5	28.9	28.3	27.6	26.9	26.2	23.7	22.0	20.5	19.4	18.4	17.8	17.3	17.0	16.7	16.6
8	31.2	30.9	30.7	30.4	29.9	29.4	28.9	28.3	27.6	27.0	24.7	23.1	21.6	20.3	19.3	18.4	17.8	17.3	17.0	16.8

Πίνακας 6.24: Λόγος υγρασίας εργαζόμενου ρεύματος

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.0205	0.0182	0.0166	0.0154	0.0145	0.0140	0.0137	0.0135	0.0135	0.0135	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142
2	0.0225	0.0207	0.0192	0.0179	0.0168	0.0159	0.0152	0.0147	0.0143	0.0141	0.0142	0.0140	0.0139	0.0138	0.0136	0.0136	0.0136	0.0135	0.0135	0.0135
3	0.0235	0.0222	0.0210	0.0198	0.0188	0.0178	0.0169	0.0162	0.0156	0.0151	0.0145	0.0143	0.0141	0.0139	0.0138	0.0136	0.0136	0.0135	0.0135	0.0135
4	0.0240	0.0229	0.0219	0.0209	0.0199	0.0189	0.0179	0.0171	0.0164	0.0158	0.0120	0.0109	0.0104	0.0102	0.0100	0.0099	0.0099	0.0099	0.0098	0.0098
5	0.0243	0.0235	0.0227	0.0218	0.0208	0.0199	0.0189	0.0181	0.0173	0.0166	0.0134	0.0120	0.0111	0.0106	0.0103	0.0101	0.0100	0.0099	0.0099	0.0098
6	0.0244	0.0238	0.0232	0.0225	0.0216	0.0208	0.0199	0.0190	0.0182	0.0174	0.0146	0.0131	0.0120	0.0112	0.0107	0.0104	0.0102	0.0100	0.0099	0.0099
7	0.0245	0.0240	0.0236	0.0230	0.0223	0.0215	0.0207	0.0199	0.0191	0.0183	0.0157	0.0141	0.0128	0.0119	0.0112	0.0108	0.0104	0.0102	0.0101	0.0100
8	0.0246	0.0242	0.0239	0.0234	0.0228	0.0222	0.0214	0.0207	0.0199	0.0191	0.0166	0.0150	0.0137	0.0127	0.0119	0.0112	0.0108	0.0105	0.0103	0.0101

Τέλος από τα παραπάνω υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης ϵ_{wb} και η παροχή του νερού Q_w σε kg/h : $\epsilon_{wb}=125.8\%$, $Q_w=3.404 kg/h$.

6.2 Σύγκριση πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση των πειραματικών με τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα προσομοίωσης έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν η θεωρία ανταποκρίνεται στη πραγματικότητα. Παρακάτω θα συγκριθούν οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν στην περασμένη ενότητα με τις αντίστοιχες περιπτώσεις του Κεφαλαίου 5.

- ❖ *Χαμηλή ταχύτητα, Ø200 ανοιχτή* : η μέση τιμή της θερμοκρασίας που προκύπτει από τις πέντε εξόδους του product ρεύματος είναι $T_{\text{proout}}=22.5^{\circ}\text{C}$ ενώ από τα πειράματα προκύπτει ότι $T_{\text{proout}}=25.1^{\circ}\text{C}$ δηλαδή μια απόκλιση ίση με 10.3%. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία από τα πειράματα μετρήθηκε ίση με 78.8% ενώ από το πρόγραμμα υπολογίστηκε 78.3% άρα απόκλιση ίση με 0.7%. Τέλος ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε πειραματικά ίσος με 109% ενώ από το πρόγραμμα προέκυψε ίσος με 120% δηλαδή απόκλιση 9.2%.
- ❖ *Υψηλή ταχύτητα, Ø200 ανοιχτή*: Η μέση τιμή της θερμοκρασίας που προκύπτει από τις πέντε εξόδους του product ρεύματος είναι $T_{\text{proout}}=22.5^{\circ}\text{C}$ ενώ από τα πειράματα προκύπτει ότι $T_{\text{proout}}=26.2^{\circ}\text{C}$ δηλαδή μια απόκλιση ίση με 14%. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία από τα πειράματα μετρήθηκε ίση με 83.3% ενώ από το πρόγραμμα υπολογίστηκε 78% άρα απόκλιση ίση με 6.3%. Τέλος ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε πειραματικά ίσος με 103% ενώ από το πρόγραμμα προέκυψε ίσος με 120% δηλαδή απόκλιση 14.2%.
- ❖ *Χαμηλή ταχύτητα, καμία αντίσταση σε λειτουργία*: Η μέση τιμή της θερμοκρασίας που προκύπτει από τις πέντε εξόδους του product ρεύματος είναι $T_{\text{proout}}=18.7^{\circ}\text{C}$ ενώ από τα πειράματα προκύπτει ότι $T_{\text{proout}}=20.9^{\circ}\text{C}$ δηλαδή μια απόκλιση ίση με 10.5%. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία από τα πειράματα μετρήθηκε ίση με 82.2% ενώ από το πρόγραμμα υπολογίστηκε 78% άρα απόκλιση ίση με 5.1%. Τέλος ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε πειραματικά ίσος με 107% ενώ από το πρόγραμμα προέκυψε ίσος με 119% δηλαδή απόκλιση 10%.
- ❖ *Υψηλή ταχύτητα, καμία αντίσταση σε λειτουργία*: Η μέση τιμή της θερμοκρασίας που προκύπτει από τις πέντε εξόδους του product ρεύματος είναι $T_{\text{proout}}=18.7^{\circ}\text{C}$ ενώ από τα πειράματα προκύπτει ότι $T_{\text{proout}}=21.5^{\circ}\text{C}$ δηλαδή μια απόκλιση ίση με 13%. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία από τα πειράματα μετρήθηκε ίση με 78.8% ενώ από το πρόγραμμα υπολογίστηκε 76.7% άρα απόκλιση ίση με 2.6%. Τέλος ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε πειραματικά ίσος με 99.2% ενώ από το πρόγραμμα προέκυψε ίσος με 119.6% δηλαδή απόκλιση 17%.
- ❖ *Χαμηλή ταχύτητα, λόγος παροχών $\lambda=1:2$* : Η μέση τιμή της θερμοκρασίας που προκύπτει από τις πέντε εξόδους του product ρεύματος είναι $T_{\text{proout}}=16.8^{\circ}\text{C}$ ενώ από τα πειράματα προκύπτει ότι $T_{\text{proout}}=18.4^{\circ}\text{C}$ δηλαδή μια απόκλιση ίση με 8.7%. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία από τα πειράματα μετρήθηκε ίση με 90% ενώ από το πρόγραμμα υπολογίστηκε 81% άρα απόκλιση ίση με 10%. Τέλος ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε πειραματικά ίσος με 114% ενώ από το πρόγραμμα προέκυψε ίσος με 126% δηλαδή απόκλιση 9.5%.
- ❖ *Χαμηλή ταχύτητα, λόγος παροχών $\lambda=2:3$* : Η μέση τιμή της θερμοκρασίας που προκύπτει από τις πέντε εξόδους του product ρεύματος είναι $T_{\text{proout}}=16.5^{\circ}\text{C}$ ενώ από τα πειράματα προκύπτει ότι $T_{\text{proout}}=18.3^{\circ}\text{C}$ δηλαδή μια απόκλιση ίση με 9.8%. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία από τα πειράματα μετρήθηκε ίση με 88.7% ενώ από το πρόγραμμα υπολογίστηκε 80.5% άρα απόκλιση ίση με 9.2%. Τέλος ο βαθμός απόδοσης υπολογίστηκε πειραματικά ίσος με 111% ενώ από το πρόγραμμα προέκυψε ίσος με 125.8% δηλαδή απόκλιση 11.8%.

6.3 Συμπεράσματα

Στις περιπτώσεις των αντιστάσεων παρατηρείται για τη θερμοκρασία εξόδου ένα εύρος απόκλισης 10 – 14% ενώ για τις περιπτώσεις των παροχών είναι περίπου 9.3%. Το εύρος της απόκλισης για την σχετική υγρασία είναι περίπου 1 – 6.3% για την περίπτωση των αντιστάσεων ενώ για τη περίπτωση των παροχών περίπου 9.6%. Αυτές οι αποκλίσεις μπορεί να αποδοθούν σε μεγάλο βαθμό στα σφάλματα των αντίστοιχων μετρητικών οργάνων.

Όσο αφορά το βαθμό απόδοσης για τη περίπτωση των αντιστάσεων το εύρος της απόκλισης είναι 9.2 – 17% ενώ για τη περίπτωση των παροχών είναι 10.6%, οι οποίες επίσης μπορούν να αποδοθούν στη διάδοση των σφαλμάτων των μετρητικών οργάνων των θερμοκρασιών και σχετικών υγρασιών στις διάφορες θέσεις της διάταξης. Εκτός όμως τα σφάλματα των μετρητικών οργάνων και τη διάδοσή τους, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 του παρόντος κατά τη κατασκευή της διάταξης έγινε το καλύτερο δυνατό για τον περιορισμό τυχών απωλειών, όπως απώλειες θερμικές και απώλειες της παροχής, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι εκμηδενίστηκαν.

Επίσης, θα πρέπει να αναφερθούν και οι παραδοχές που πάρθηκαν κατά τη κατασκευή του προγράμματος προσομοίωσης της διάταξης, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν λογικές αλλά σίγουρα εισάγουν κι αυτές σφάλματα. Αυτές είναι ότι οι ταχύτητες των δυο ρευμάτων βάσει των οποίων υπολογίστηκαν και οι παροχές θεωρήθηκαν σε όλη τη διάταξη σταθερές. Βάσει αυτών θεωρήθηκε σταθερή και η μέση ειδική συναγωγιμότητα h_m . Θεωρήθηκε επίσης ότι οι παροχές στην ξηρή και την υγρή πλευρά ισοκατανέμονται στις θέσεις μελέτης.

Επιπροσθέτως, η εξίσωση^[1] που βασίστηκε όλο το πρόγραμμα (όπως και οι σταθεροί συντελεστές που την συνοδεύουν) και υπολογίζει το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας σε κάθε θέση μελέτης είναι ένα προσεγγιστικό μοντέλο.

Τέλος, οι τελικές θερμοκρασίες στη ξηρή πλευρά της μονάδας υπολογίστηκαν από το ψυχομετρικό χάρτη με τη προϋπόθεση ότι ο λόγος υγρασίας σε όλο το μήκος της πλευράς παραμένει σταθερός, στο οποίο βασίζεται και η αρχή λειτουργίας του κύκλου του Maisotsenko, αλλά όπως παρατηρήθηκε και στο κεφάλαιο 5 στη παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων υπήρξε μια ελαφριά απόκλιση λόγω και των απωλειών που αναφέρθηκαν παραπάνω και αφορούν στη κατασκευή της μονάδας.

Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι παραπάνω αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων είναι λογικές αν όχι μικρές.

7^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΡΟΧΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και στα κεφάλαια 2 και 3 το σημαντικότερο μειονέκτημα των διατάξεων που ακολουθούν το κύκλο του Maisotsenko αλλά και των εξατμιστικών ψυκτών γενικά είναι ότι η λειτουργία τους βασίζεται στο φαινόμενο της εξάτμισης, το οποίο απαιτεί νερό. Για την οικολογικότερη αλλά και χαμηλότερη σε κόστος λειτουργία τους μια λύση θα ήταν η συλλογή βρόχινου νερού. Αυτή θα μπορούσε να εφαρμοστεί πολύ εύκολα σε οποιοδήποτε κτίριο μέσω μιας υδρορροής, η οποία θα καταλήγει σε μια δεξαμενή η οποία μπορεί να εγκατασταθεί στο υπόγειο χώρο του κτίσματος.

7.1 Διαδικασία υπολογισμού

Για τον υπολογισμό της αναγκαίας ποσότητας νερού που μπορούμε να συλλέξουμε χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$V = A \cdot h \cdot 10^{-3} \quad \{7.1\}$$

όπου h είναι το ύψος υετού (mm) και A το εμβαδόν της επιφάνειας συλλογής (m^2).

Η ειδική κατανάλωση του νερού swc υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 6 μέσω του προγράμματος προσομοίωσης σε $kg/hr \cdot kW$. Αν υποθέσουμε ότι μια ικανοποιητική ψυκτική ικανότητα είναι $Q_c = 17.5 kW$, τότε η κατανάλωση του νερού του συστήματος θα υπολογιστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$Q_w = swc \cdot Q_c \quad \{7.2\}$$

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει η κατανάλωση νερού σε kg/hr . Για την άμεση σύγκριση των δυο μεγεθών V και Q_w θα μετατραπεί το Q_w σε $kg/year$ και το V σε $kg/year$ με τις παρακάτω δυο εξισώσεις:

$$Q_w \left(\frac{kg}{year} \right) = Q_w \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot hours(h) \cdot days \left(\frac{d}{m} \right) \cdot months \left(\frac{m}{y} \right) \quad \{7.3\}$$

$$V \left(\frac{kg}{year} \right) = V \left(\frac{m^3}{year} \right) \cdot 10^3 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \{7.4\}$$

Η μετατροπή των kg σε m^3 είναι δυνατή καθώς η πυκνότητα του νερού είναι περίπου $1 kg/L$ οπότε από τον τύπο της πυκνότητας:

$$d \left(\frac{kg}{L} \right) = \frac{m}{V} \Rightarrow m = V(L) \cdot d \left(\frac{kg}{L} \right) = 1 kg \quad \{7.5\}$$

$$1 \left(\frac{kg}{lt} \right) = 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad \{7.6\}$$

Τέλος, για να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα νερού θεωρήθηκε ότι η μονάδα θα λειτουργεί για τέσσερις μήνες το χρόνο και για οχτώ ώρες την ημέρα.

7.2 Δεδομένα και αποτελέσματα της μελέτης

Τα δεδομένα^[12], τα οποία συλλέχτηκαν από την ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) αφορούσαν το μηνιαίο ύψος υετού για τους 12 μήνες του χρόνου και για 26 πόλεις της Ελλάδας. Κατά το σύστημα της Ε.Μ.Υ. τα δεδομένα αυτά συλλέγονται εδώ και 40 περίπου χρόνια (1955-1997), οπότε μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα. Τα δεδομένα αυτά ανά πόλη και μήνα αθροίστηκαν ώστε να προκύψουν τα ετήσια ύψη υετού ανά πόλη. Έτσι βάσει της εξίσωσης {7.1} υπολογίστηκε το βρόχινο νερό, που θα μπορούσε να συλλεχτεί ανά έτος ώστε να διαπιστώσουμε αν είναι επαρκές για τη λειτουργία της μονάδας. Παρακάτω παρατίθενται ο πίνακας των μετεωρολογικών δεδομένων για το ύψος του υετού (Πίνακας 7.1), ο πίνακας με τις τιμές των θερμοκρασιών ξηρού και υγρού βολβού σε συνθήκες σχεδιασμού θέρους για κάθε πόλη και οι τιμές της θερμοκρασίας ξηρού βολβού, ειδικής κατανάλωσης θερμότητας και βαθμού απόδοσης, όπως αυτές προέκυψαν για λόγο παροχής λ=1:1 στη χαμηλή ταχύτητα από το πρόγραμμα προσομοίωσης, το οποίο παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 6 (Πίνακας 7.2).

Πίνακας 7.1: Μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος υετού (mm) ανά πόλη

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Σ
ΑΘ._Ν.ΦΙΛ.	56.9	46.7	40.7	30.8	22.7	10.6	5.8	6	13.9	52.6	58.3	69.1	414.1
ΑΘ._ΕΛΛ.	48.3	40.9	39.7	26	15.2	5.6	5.2	7	9.6	47.8	55.4	64.1	364.8
ΗΡΑΚΛ.	90.1	67.6	58.2	28.5	14.2	3.5	1	0.6	17.7	64.9	59	77.9	483.2
ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	36.8	38	40.6	37.5	44.4	29.6	23.9	20.4	27.4	40.8	54.4	54.9	448.7
ΒΟΛΟΣ	49	46.9	53.3	35.8	36.8	22.1	17.4	15.9	35.6	63.1	63.6	60.5	500
ΡΟΔΟΣ	99.9	99.9	75.6	27.8	18.6	2.3	0.4	0.2	5.8	65.5	94.1	99.9	590
ΠΑΤΡΑ	89.1	81.7	63.3	47.8	28.9	7.5	4.6	5.2	28.3	72.2	99.9	99.9	628.4
ΚΑΛΑΜ.	99.9	94.1	73	48.5	25.6	7.5	4.2	11.3	29.1	85.3	99.9	99.9	678.3
ΧΑΝΙΑ	99.9	99.9	71.9	31.9	13.9	6.6	0.5	2.7	18.2	82.1	70.9	91.3	589.8
ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗ	61.6	56.5	48.6	39.6	34.7	29.5	19.3	13	26.9	50.5	88	85	553.2
ΑΓΡΙΝΙΟ	99.9	99.9	82.8	60.6	42.9	22.1	14.2	15.3	46.8	99.9	99.9	99.9	784.2
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	99.9	99.9	95.4	78	69.3	43.5	32	31.2	54	99.5	99.9	99.9	902.5
ΚΑΒΑΛΑ	17.9	28.6	37.9	57.1	32.8	27	28	17.5	10.4	25.9	67.4	52.7	403.2
ΚΟΖΑΝΗ	36.2	30.2	39.2	43.3	56.7	37.1	38.1	30	31.7	52.8	60.3	52	507.6
ΤΡΙΠΟΛΗ	99.9	89.5	74.8	58.5	38.6	23.3	19.9	22.1	28.1	69.3	99.9	99.9	723.8
ΦΛΩΡΙΝΑ	57.6	52.3	57.9	57.9	58.9	37.3	34	31	41.1	62.1	69.4	86.2	645.7
ΛΑΡΙΣΑ	32.5	31.7	36.7	33	38.2	25.6	19	16.4	30.2	52.2	56.9	50.8	423.2
ΣΕΡΡΕΣ	32.1	40.6	33.2	37.6	47.7	40.7	29.1	30.2	20.7	38.3	50.7	47.6	448.5
ΛΑΜΙΑ	64.4	65.2	60.9	46	34.1	22.4	18.8	27	17.4	71.4	72.9	73.3	573.8
ΑΡΓΟΣΤ.	99.9	99.9	75.7	60.4	17.9	10.8	5.3	9.8	38.5	99.9	99.9	99.9	717.9
ΑΡΤΑ	99.9	99.9	93.8	81.5	58.5	21.8	12.6	17.2	43.5	99.9	99.9	99.9	828.4
ΣΚΥΡΟΣ	72.6	53.5	49.1	25	14.6	5.6	6	9.1	17.7	36.2	56	80.5	425.9
ΡΕΘΥΜΝΟ	133.	94.9	80.1	35	14.2	5.6	0.5	2	20.4	90.5	75.9	108.	661.8
ΣΗΤΕΙΑ	90.5	69.6	54.6	25.1	12.6	2.7	0.3	1	17.9	53.9	61.9	88.5	478.6
ΙΕΡΑΠ.	99.9	94.9	80.1	35	14.2	5.6	0.5	2	20.4	90.5	75.9	99.9	618.9
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	99.9	89.3	71.5	46.2	21.5	5.7	2.2	3.2	10.5	38.9	96.6	99.9	585.4
ΛΗΜΝΟΣ	65.5	47.8	51.4	38.6	23.3	15.1	8.9	6.8	24.9	43.3	76.6	84.4	486.6

Πίνακας 7.2: Συνθήκες σχεδιασμού θέρους και αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα προσομοίωσης

ΠΟΛΕΙΣ	$\lambda=1:1$			
	$T_{dbin}(^{\circ}C)$	$RH_{in}(\%)$	$T_{proul}(^{\circ}C)$	$swc(kg/kWh)$
ΑΘΗΝΑ/Ν.ΦΙΛ.	37.5	30.7	20.8	3.458
ΑΘΗΝΑ/ΕΛΛ.	35.5	42.9	23.2	3.14
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	32.5	49.7	22.7	2.908
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	35	44.7	23.4	3.081
ΒΟΛΟΣ	34	43.8	22.3	3.116
ΡΟΔΟΣ	32.5	57.4	24.6	2.506
ΠΑΤΡΑ	34.5	46.6	23.5	3.014
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	34.5	44.3	23.6	3.097
ΧΑΝΙΑ	35.5	36.5	21.3	3.008
ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗ	34	41.5	21.7	3.186
ΑΓΡΙΝΙΟ	36.5	39.6	23.0	3.241
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	34.5	33.4	19.5	3.382
ΚΑΒΑΛΑ	32	51.8	22.8	2.822
ΚΟΖΑΝΗ	33.5	38.8	20.5	3.258
ΤΡΙΠΟΛΗ	34	28.7	17.6	3.417
ΦΛΩΡΙΝΑ	33	42.9	21.3	3.146
ΛΑΡΙΣΑ	36.5	33.5	21.0	3.394
ΣΕΡΡΕΣ	35.5	40.8	22.6	3.206
ΛΑΜΙΑ	36	37.0	21.8	3.311
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	32.5	57.4	24.6	2.506
ΑΡΤΑ	34.8	45.5	23.4	3.053
ΣΚΥΡΟΣ	31.5	54.0	22.9	2.697
ΡΕΘΥΜΝΟ	35	44.7	23.4	3.077
ΣΗΤΕΙΑ	32	51.8	23.4	2.822
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35	54.1	25.9	2.644
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	33	45.2	21.9	3.073
ΛΗΜΝΟΣ	31	61.8	24.3	2.238

Η ποσότητα του νερού, την οποία μπορούμε να συλλέξουμε Q_{col} και η απαιτούμενη ποσότητα νερού για τη λειτουργία του συστήματος Q_{dem} παρατίθενται στον Πίνακα 7.3, όπου εμφανίζονται και οι τιμές του ελάχιστου εμβαδού ανά πόλη, ώστε η ποσότητα του νερού που θα συλλέξουμε να είναι επαρκή για τη λειτουργία της μονάδας σύμφωνα με τις συνθήκες μελέτης που έχουν επιλεγεί και αναφερθεί παραπάνω.

Πίνακας 7.3: Απαιτούμενη ποσότητα και ποσότητα συλλεγόμενου νερού

Πόλεις	$\lambda=1:1$			
	$E(m^2)$	$Q_{col}(m^3/year)$	$Q_{col}(kg/year)$	$Q_{dem}(kg/year)$
ΑΘΗΝΑ/Ν.ΦΙΛ.	141	58.388	58388	58094
ΑΘΗΝΑ_ΕΛΛ.	145	52.896	52896	52752
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	102	49.286	49286	48854
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	116	52.049	52049	51761
ΒΟΛΟΣ	105	52.500	52500	52349
ΡΟΔΟΣ	72	42.480	42480	42101
ΠΑΤΡΑ	81	50.900	50900	50635
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	77	52.229	52229	52030
ΧΑΝΙΑ	86	50.723	50723	50534
ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗ	97	53.660	53660	53525
ΑΓΡΙΝΙΟ	70	54.894	54894	54449
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	63	56.858	56858	56818
ΚΑΒΑΛΑ	119	47.981	47981	47410
ΚΟΖΑΝΗ	110	55.836	55836	54734
ΤΡΙΠΟΛΗ	80	57.904	57904	57406
ΦΛΩΡΙΝΑ	82	52.947	52947	52853
ΛΑΡΙΣΑ	135	57.132	57132	57019
ΣΕΡΡΕΣ	121	54.269	54269	53861
ΛΑΜΙΑ	97	55.659	55659	55625
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	59	42.356	42356	42101
ΑΡΤΑ	62	51.361	51361	51290
ΣΚΥΡΟΣ	108	45.997	45997	45310
ΡΕΘΥΜΝΟ	79	52.282	52282	51694
ΣΗΤΕΙΑ	100	47.860	47860	47410
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	77	47.655	47655	44419
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	89	52.101	52101	51626
ΛΗΜΝΟΣ	78	37.955	37955	37598

7.3 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη

Από τους Πίνακες 7.2 και 7.3 παρατηρούμε ότι για την Αθήνα το υπό μελέτη σύστημα είναι περισσότερο αποδοτικό στις περιοχές, οι οποίες βρίσκονται κοντά στη Ν. Φιλαδέλφεια από ότι σε αυτές, οι οποίες βρίσκονται κοντά στο Ελληνικό καθώς στις μεν πρώτες εμφανίζεται μια πτώση της θερμοκρασίας από τους 37.5°C στους 20.8°C , ενώ στο Ελληνικό από τους 35.5°C η θερμοκρασία μειώνεται στους 23.2°C . Αυτό οφείλεται κυρίως στις υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας που επικρατούν στο Ελληνικό $\text{RH}_{\text{in}}=42.9\%$. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού στη Ν. Φιλαδέλφεια είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του Ελληνικού, το οποίο υποδηλώνει και τον εντονότερο ρυθμό εξάτμισης ο οποίος επιτυγχάνεται από το υπό μελέτη σύστημα στη συγκεκριμένη περιοχή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού για την επάρκεια της λειτουργίας του συστήματος, $E=141\text{m}^2$, η οποία θεωρείται σχετικά μεγάλη. Αυτό επίσης καταδεικνύεται και από την υψηλότερη τιμή της ειδικής κατανάλωσης νερού που σημειώθηκε $\text{swc}=3.458\text{kg/kWh}$, η οποία δείχνει και τις υψηλές απαιτήσεις σε ποσότητα νερού που χρειάζεται για τη λειτουργία της υπό μελέτης μονάδας.

Στη Θεσσαλονίκη επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας από τους 35°C στους 23.4°C , η οποία μπορεί να θεωρηθεί σχετικά ικανοποιητική, ενώ η απαιτούμενη ποσότητα νερού κρίνεται σχετικά χαμηλή της τάξης των 51000kg/year με αποτέλεσμα να είναι εφικτή η συλλογή του της απαιτούμενης ποσότητας του νερού με επιφάνεια συλλογής 116m^2 περίπου.

Στη Κρήτη η καλύτερη περιοχή για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος είναι στα Χανιά, ενώ καθίσταται απαγορευτική στην Ιεράπετρα. Πιο αναλυτικά, στα Χανιά η θερμοκρασία πέφτει από τους 35.5°C στους 21.3°C , στο Ηράκλειο από τους 32.5°C στους 22.7°C , στο Ρέθυμνο από τους 35°C στους 23.4°C και στην Ιεράπετρα από τους 35°C στους 25.9°C . Από τις παραπάνω τιμές αλλά και από τις σχετικά χαμηλές τιμές της απαιτούμενης ποσότητας νερού, αν εξαιρεθεί ίσως η περίπτωση των Χανίων, το σύστημα θα έβρισκε εφαρμογή σε αυτές τις περιοχές εκτός βέβαια από αυτής της Ιεράπετρας, η οποία κρίνεται μη αποδοτική. Στα Χανιά παρατηρείται επίσης ότι η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής είναι μικρή $E=86\text{m}^2$.

Στο Βόλο εμφανίζονται επίσης θετικά αποτελέσματα καθώς η θερμοκρασία μειώνεται από τους 34°C στους 22.3°C και η απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού για τη κάλυψη των αναγκών λειτουργίας της μονάδας είναι 105m^2 . Το οποίο οφείλεται κυρίως στις χαμηλό επίπεδο ετήσιων βροχοπτώσεων αλλά και στον σχετικά υψηλό δείκτη ειδικής κατανάλωσης του νερού $\text{swc}=3.116\text{kg/kWh}$.

Στη Λάρισα εμφανίζεται το σύστημα αρκετά αποδοτικό, λόγω και της χαμηλής σχετικής υγρασίας $\text{RH}=33.5\%$, αφού η πτώση της θερμοκρασίας είναι 15.5°C , ενώ η ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής νερού είναι σχετικά μεγάλη $E=135\text{m}^2$, αυτό οφείλεται και στο σχετικά χαμηλό ετήσιο ύψος υετού που είναι 423.2mm .

Στη Πάτρα το σύστημα είναι οριακά αποδοτικό καθώς η πτώση της θερμοκρασίας δεν ξεπερνά τους 12°C και η θερμοκρασία που αποδίδεται στον κλιματιζόμενο χώρο είναι 23.5°C .

Στην Αλεξανδρούπολη η απόδοση είναι αρκετά καλή, το οποίο φαίνεται από την τελική τιμή της θερμοκρασίας που εισέρχεται στο κλιματιζόμενο χώρο, η οποία είναι 21.7°C . Η υψηλή της $\text{swc}=3.186\text{kg/kWh}$ δείχνει την υψηλή απαίτηση του συστήματος σε νερό.

Στην Καλαμάτα η τελική θερμοκρασία που δίνεται από το σύστημα είναι 23.6°C , η οποία είναι οριακά αποδεκτή. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή σχετική υγρασία $\text{RH}=44.3\%$.

Στο Αγρίνιο σημειώθηκε σημαντική μείωση της θερμοκρασίας από τους 36°C κατέληξε στους 23°C , ενώ και ο συντελεστής ειδικής κατανάλωσης νερού $\text{swc}=3.24\text{kg/kWh}$ είναι υψηλός. Τέλος, δεν απαιτείται και μεγάλη επιφάνεια συλλογής του νερού καθώς για την κάλυψη των αναγκών λειτουργίας του συστήματος απαιτούνται 70m^2 , λόγω κυρίως του υψηλού ετήσιου ύψους υετού που υπολογίστηκε 784.2mm .

Στα Ιωάννινα η τελικά θερμοκρασία φτάνει στους 19.5°C , ενώ η πτώση της είναι 15°C . Αυτό αποτυπώνεται και στον υψηλή τιμή της $\text{swc}=3.382\text{kg/kWh}$. Επίσης στα Ιωάννινα απαιτείται και μικρή επιφάνεια συλλογής του βρόχινου νερού ίσης με 63m^2 . Ο συνδυασμός αυτών των αποτελεσμάτων καθιστούν την περιοχή ιδανική για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος.

Στην Καβάλα επίσης προέκυψαν καλά αποτελέσματα καθώς η θερμοκρασία έφτασε στους 22.8°C σημειώνοντας όμως μικρή πτώση 10°C . Από τον χαμηλό συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού $\text{swc}=2.822\text{kg/kWh}$ προκύπτει ότι στην περιοχή δεν απαιτείται μεγάλη ποσότητα νερού, όμως λόγω της χαμηλής ετήσιας βροχόπτωσης 403.2mm απαιτείται μεγάλη επιφάνεια συλλογής $E=119\text{m}^2$.

Στην Κοζάνη έχουμε ανάλογα αποτελέσματα με τα Ιωάννινα καθώς η θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου φτάνει στους 20.5°C με πτώση 13°C . Απαιτείται όμως και αρκετή ποσότητα νερού όπως αυτό συμπεραίνεται από την υψηλή τιμή του $\text{swc}=3.258\text{kg/kWh}$, κάτι το οποίο οδηγεί σε συνδυασμό με τα χαμηλά ετήσια επίπεδα βροχόπτωσης και σε μεγάλη ελάχιστη επιφάνεια συλλογής που απαιτείται για τη λειτουργία του $E=110\text{m}^2$.

Η Τρίπολη επίσης μπορεί να θεωρηθεί ιδανική περιοχή για την εγκατάσταση του υπό μελέτη συστήματος αφού η τιμή της θερμοκρασίας από 34°C φτάνει στους 17.6°C . Αυτό οφείλεται στα χαμηλά επίπεδα υγρασίας $\text{RH}=28.7\%$. Όμως παρατηρείται επίσης και υψηλή ανάγκη σε ποσότητα νερού, το οποίο συμπεραίνεται από τις μια από τις υψηλότερες τιμές της ειδικής κατανάλωσης νερού από τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν $\text{swc}=3.417\text{kg/kWh}$, η οποία καλύπτεται από μικρή επιφάνεια συλλογής του νερού $E=80\text{m}^2$, αφού η ετήσια βροχόπτωση είναι υψηλή 723.8mm .

Στα νησιά Σκύρος, Μυτιλήνη οι τελικές θερμοκρασίες θεωρούνται ικανοποιητικές 22.9°C 21.9°C όμως η πτώση της θερμοκρασίας είναι μικρή της τάξης των 10°C , το οποίο κυρίως οφείλεται στις υψηλές τιμές της υγρασίας.

Αντίθετα, στη Λήμνο επειδή σημειώνεται η υψηλότερη τιμή της σχετικής υγρασίας $\text{RH}=61.8\%$ η εξάτμιση δεν επιτυγχάνεται με αποδοτικό τρόπο καθώς η τελική θερμοκρασία που προκύπτει στο κλιματιζόμενο χώρο είναι 24.3°C , ενώ η πτώση της θερμοκρασίας είναι περίπου 7°C . Αυτό καθιστά ακατάλληλη την εγκατάσταση της υπό μελέτης μονάδας στη Λήμνο.

Στη Φλώρινα η θερμοκρασία που εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο είναι 21.3°C , η οποία θεωρείται πολύ ικανοποιητική. Όμως η υψηλή τιμή του δείκτη της ειδικής κατανάλωσης νερού $\text{swc}=3.146\text{kg/kWh}$ υποδηλώνει τις υψηλές απαιτήσεις του συστήματος σε νερό στη συγκεκριμένη περιοχή.

Στις Σέρρες επίσης παρατηρούνται ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού η θερμοκρασία μειώνεται κατά 13°C περίπου ενώ η τελική θερμοκρασία που προκύπτει είναι 22.6°C . Στη περιοχή των Σερρών παρατηρείται υψηλή τιμή της ελάχιστης απαιτούμενης επιφάνειας για τη συλλογή του βρόχινου νερού $E=121\text{m}^2$, η οποία προκύπτει από την σχετικά υψηλή τιμή του $\text{swc}= 3.206\text{kg/kWh}$.

Στη Λαμία εμφανίζεται αρκετά αποδοτικό το υπό μελέτη σύστημα καθώς η πτώση της θερμοκρασίας φτάνει στους 15°C ενώ η τελική θερμοκρασία στους 21.8°C . Εμφανίζεται όμως και υψηλή κατανάλωση νερού, το οποίο προκύπτει και από την υψηλή τιμή του $\text{swc}=3.311\text{kg/kWh}$.

Στην Άρτα το αποτέλεσμα που προέκυψε είναι οριακά ικανοποιητικό αφού η προκύπτουσα θερμοκρασία είναι 23.4°C .

Τέλος, κρίνεται απαγορευτική η εγκατάσταση του υπό μελέτη συστήματος στο Αργοστόλι αφού προκύπτει η θερμοκρασία 24.6°C , το οποίο αναμενόταν βάσει της υψηλής τιμής της σχετικής υγρασίας $\text{RH}=57.4\%$.

Το συμπέρασμα, το οποίο μπορεί να εξαχθεί από τη μελέτη του παρόντος Κεφαλαίου είναι ότι επιβεβαιώνεται αυτό που είχε τονιστεί στα πρώτα Κεφάλαια, δηλαδή ότι το σύστημα που μελετήθηκε και το οποίο στηρίζεται στην εξάτμιση απαιτεί για να είναι αποδοτικό χαμηλές τιμές υγρασίας. Επομένως, εγκαθίσταται ιδανικά σε περιοχές με ξηρό κλίμα. Επίσης, παρατηρήθηκε από το δείκτη ειδικής κατανάλωσης νερού ότι όσο πιο αποδοτικό είναι το υπό μελέτη σύστημα τόσο υψηλότερη κατανάλωση νερού σημειώνεται. Τέλος, για την ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα καθώς εξαρτάται από περισσότερους παραμέτρους δηλαδή το ετήσιο ύψος υετού αλλά και από την κατανάλωση του νερού, η οποία διαφέρει ανά περιοχές.

8^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη μιας μονάδας εξατμιστικού ψύκτη στην οποία εφαρμόζεται ο κύκλος του Maisotsenko. Για το λόγο αυτό αρχικά εγκαταστάθηκε, με τον τρόπο που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4 και στη συνέχεια ελήφθησαν πειραματικές μετρήσεις όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5. Για την σωστή τεκμηρίωση της μονάδας έγινε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης της λειτουργίας της, το οποίο παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 6, ώστε στη συνέχεια να γίνει σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα. Τέλος, επειδή οι μονάδες των εξατμιστικών ψυκτών γενικά, αλλά και της υπό μελέτη μονάδας χρειάζονται για τη λειτουργία τους ποσότητα νερού, στο Κεφάλαιο 7 διερευνήθηκε αν η ποσότητα του βρόχινου νερού σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας θα επαρκούσε για τη λειτουργία μιας τέτοιας μονάδας.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις αρχικά επιβεβαίωσαν σε ένα μεγάλο βαθμό τους ισχυρισμούς του κατασκευαστή, όσον αφορά το βαθμό απόδοσης υγρής σφαίρας, ο οποίος υπολογίστηκε υψηλότερος του 110% σε όλα τα πειράματα που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5. Εξετάστηκε επίσης η απόδοση του συστήματος σε 2 ταχύτητες και διαπιστώθηκε ότι στη χαμηλή ταχύτητα η μονάδα δούλεψε αποδοτικότερα. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι η ψυκτική ισχύς είναι ελαφρά ψιλότερη στην περίπτωση της υψηλής ταχύτητας. Τέλος, επισημάνθηκε η εξάρτηση του ειδικού συντελεστή κατανάλωσης νερού από την παροχή μάζας του ψυχόμενου αέρα και διαπιστώθηκε ότι στη χαμηλή ταχύτητα είναι υψηλότερος από ότι στη υψηλή, το οποίο και αναμενόταν.

Στα πειράματα που διεξήχθησαν με μειωμένες παροχές διαπιστώθηκε ότι όσο μειωνόταν η παροχή τόσο αυξανόταν ο βαθμός απόδοσης της μονάδας. Αυτό συμβαίνει, αφού μικρότερη ποσότητα ψυχόμενου ρεύματος παραλαμβάνει την ίδια (πρακτικά) λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσσης. Η ψυκτική ισχύς υπολογίστηκε υψηλότερη στην περίπτωση των ίσων παροχών ψυχόμενου και εργαζόμενου αέρα. Τέλος, ο s_{wc} , όπως και στο προηγούμενο πείραμα προέκυψε υψηλότερος στην περίπτωση της μικρότερης παροχής.

Όσον αναφορά στα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα προσομοίωσης παρατηρήθηκε μικρή διαφορά από τα αντίστοιχα αποτελέσματα του πειράματος. Στη περίπτωση των αντιστάσεων σε λειτουργία, η απόκλιση της τιμής της θερμοκρασίας του ψυχόμενου ρεύματος 10 – 14% και η απόκλιση της σχετικής υγρασίας έφτανε το 9%. Στα πειράματα των παροχών οι αντίστοιχες αποκλίσεις ήταν ακόμη μικρότερες. Αυτές οι αποκλίσεις μπορεί να αποδοθούν σε μεγάλο βαθμό στα σφάλματα των αντίστοιχων μετρητικών οργάνων και εξαιτίας αυτού δεν μπορούν να θεωρηθούν σημαντικές.

Όσον αφορά το βαθμό απόδοσης για τη περίπτωση των αντιστάσεων το εύρος της απόκλισης είναι 9.2 – 17% ενώ για τη περίπτωση των παροχών είναι 10.6%, οι οποίες επίσης μπορούν να αποδοθούν στη διάδοση των σφαλμάτων των μετρητικών οργάνων των θερμοκρασιών και σχετικών υγρασιών στις διάφορες θέσεις της διάταξης. Εκτός όμως τα σφάλματα των μετρητικών οργάνων και τη διάδοσή τους, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 του παρόντος κατά τη κατασκευή της διάταξης έγινε το καλύτερο δυνατό για τον περιορισμό

τυχών απωλειών, όπως απώλειες θερμικές και απώλειες της παροχής, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι εκμηδενίστηκαν.

Όλες οι παραπάνω αποκλίσεις μπορούν να θεωρηθούν μικρές καθώς αυτές μπορούν να δικαιολογηθούν πλήρως από τις παραδοχές που έγιναν κατά τη κατασκευή του προγράμματος. Αυτές είναι ότι οι ταχύτητες των δυο ρευμάτων βάσει των οποίων υπολογίστηκαν και οι παροχές θεωρήθηκαν σε όλη τη διάταξη σταθερές. Βάσει αυτών θεωρήθηκε σταθερή και η μέση ειδική συναγωγιμότητα h_m . Θεωρήθηκε επίσης ότι οι παροχές στην ξηρή και την υγρή πλευρά ισοκατανέμονται στις θέσεις μελέτης. Τέλος, πέρα από τις παραδοχές που εισήγαγαν σφάλματα στα αποτελέσματα του προγράμματος δεν μπορούν να μην αναφερθούν και οι απώλειες παροχών και θερμικές που σίγουρα υπάρχουν στη κατασκευή της μονάδας.

Γενικά μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι στη παρούσα μελέτη, το πείραμα επαλήθευσε τη θεωρία με σχετικά μικρές αποκλίσεις, αν αναλογιστεί κανείς και τις παραδοχές οι οποίες έγιναν κατά την κατασκευή του προγράμματος αλλά και τις απώλειες, οι οποίες παρουσιάστηκαν κατά την κατασκευή και λήψη μετρήσεων της μονάδας και αναφέρονται παραπάνω.

Παράρτημα ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Παρακάτω παρουσιάζεται η τελική μορφή του προγράμματος προσομοίωσης κύκλου, το οποίο έγινε με το πρόγραμμα Mathcad 14 για τη περίπτωση κατά την οποία η αντίσταση διαμέτρου $\Phi 200$ είναι αναμμένη και ο αέρας έχει τη χαμηλή ταχύτητα. Αυτό γίνεται για τη πληρότητα της εργασίας και όχι για να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6.

 Reference:D:\Projects\201102 - Anagnostou Dipl. Thesis\ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6\program_results\Φ200 high\psychometric_EQUATIONS.xmc

 Reference:D:\Projects\201102 - Anagnostou Dipl. Thesis\ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6\program_results\Φ200 high\Psihchometric.xmcd(R)

Αρχικές συνθήκες εισόδου product:

$$T_{in} := 25 + Dt \qquad Dt := 23.9 \qquad Drh := 0.081$$

$$RH_{in} := 0.1 + Drh$$

$$T_{in} = 48.9$$

$$U_{pro} := 3.97$$

$$RH_{in} = 0.181$$

Υπολογισμός των υπολοίπων μεγεθών εισόδου βάση των αρχικών συνθηκών και του ψυχομετρικού χάρτη:

Ενθαλπία:

$$H_{in} := h(RH_{in}, T_{in}) \cdot 1000 \qquad H_{in} = 8.326 \times 10^4$$

Λόγος υγρασίας:

$$W_{in} := W(RH_{in}, T_{in}) \qquad W_{in} = 0.013$$

Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου:

$$T_{dp} := T_{dp}(RH_{in}, T_{in}) \qquad T_{dp} = 18.395$$

Πυκνότητα αέρα:

$$\rho_{in} := \rho(RH_{in}, T_{in}) \qquad \rho_{in} = 1.087$$

$$\rho_{indp} := \rho(RH_{in}, T_{dp}) \qquad \rho_{indp} = 1.209$$

Θερμοκρασία Υγρού βολβού:

$$T_{wb} := T_w(RH_{in}, T_{in}) \qquad T_{wb} = 26.871$$

Πυκνότητα νερού:

$$\rho_w := \rho(RH_{in}, T_{wb}) \qquad \rho_w = 1.173$$

Ενθαλπία νερού:

$$H_w := h(RH_{in}, T_{wb}) \cdot 1000 \qquad H_w = 3.697 \times 10^4$$

Αρχικές συνθήκες εισόδου working:

$$T_{\text{workin}} := 25 + Dt_{\text{work}}$$

$$Dt_{\text{work}} := 23.9 \quad Drh_{\text{work}} := 0.081$$

$$RH_{\text{workin}} := 0.1 + Drh_{\text{work}}$$

$$T_{\text{workin}} = 48.9$$

$$U_{\text{work}} := 4.07$$

$$RH_{\text{workin}} = 0.181$$

Υπολογισμός των υπολοίπων μεγεθών εισόδου βάση των αρχικών συνθηκών και του ψυχομετρικού χάρτη:

Ενθαλπία:

$$H_{\text{workin}} := h(RH_{\text{workin}}, T_{\text{workin}}) \cdot 1000$$

$$H_{\text{workin}} = 8.326 \times 10^4$$

Λόγος υγρασίας:

$$W_{\text{workin}} := W(RH_{\text{workin}}, T_{\text{workin}})$$

$$W_{\text{workin}} = 0.013$$

Πυκνότητα αέρα:

$$\rho_{\text{workin}} := \rho(RH_{\text{workin}}, T_{\text{workin}})$$

$$\rho_{\text{workin}} = 1.087$$

Θερμοκρασία Υγρού βολβού:

$$T_{\text{workwb}} := Tw(RH_{\text{workin}}, T_{\text{workin}})$$

$$T_{\text{workwb}} = 26.871$$

Πυκνότητα νερού:

$$\rho_{\text{workw}} := \rho(RH_{\text{workin}}, T_{\text{workwb}})$$

$$\rho_{\text{workin}} = 1.087$$

Ενθαλπία νερού:

$$H_{\text{workw}} := h(RH_{\text{workin}}, T_{\text{workwb}}) \cdot 1000$$

$$H_{\text{workw}} = 3.697 \times 10^4$$

Δεδομένα διάταξης:

Συντελεστής αγωγής χαρτιού:

$$k := 0.05 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας:

$$A_{\text{ww}} := 4.84 \cdot 10^{-4} \quad \text{m}^2$$

Πάχος χαρτιού:

$$L_{\text{ww}} := 0.001 \quad \text{m}$$

Διατομή οπής:

$$E_{\text{ww}} := 4.4 \cdot 10^{-5} \quad \text{m}^2$$

Ύψος οπής:

$$D_e := 0.022 \quad \text{m}$$

Ιδιότητες αέρα:

Συντελεστής αγωγής αέρα:

$$k_{\text{air}} := 0.0262 \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Κινηματική Συνεκτικότητα:

$$\nu := 15.8 \cdot 10^{-6} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$C_1 := 0.205$$

$$n := 0.731$$

$$C1 := 0.205$$

$$k1 := 0.0262$$

$$\nu1 := 15.8 \cdot 10^{-6}$$

$$n1 := 0.731$$

$$h_m := \frac{\left[C1 \cdot \frac{k1}{D_e} \cdot \left(\frac{U_{\text{pro}} \cdot D_e}{\nu1} \right)^{n1} + C1 \cdot \frac{k1}{D_e} \cdot \left(\frac{U_{\text{work}} \cdot D_e}{\nu1} \right)^{n1} \right]}{2}$$


$$m_{\text{dry1}} := \text{για oles tis paroxes.xls}$$

$$m_{\text{dry}} := [\rho_{\text{in}} \cdot (E \cdot 8 \cdot 20) \cdot U_{\text{pro}}] \cdot m_{\text{dry1}}$$

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.255 \cdot 10^{-4}$	$2.893 \cdot 10^{-4}$	$2.532 \cdot 10^{-4}$
2	0	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.617 \cdot 10^{-4}$
3	0	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.617 \cdot 10^{-4}$	$3.617 \cdot 10^{-4}$
4	0	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$
5	0	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$
6	0	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$

 $m_{\text{dry}}^T =$

7	0	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$
8	0	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$	$2.17 \cdot 10^{-4}$
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	...

$m_{\text{wet1}} :=$
gia oles ti  paroxes.xls

$$m_{\text{wet}} := [\rho_{\text{workin}} \cdot (E \cdot 8 \cdot 20) \cdot U_{\text{work}}] \cdot m_{\text{wet1}}$$

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
2	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
3	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
4	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
5	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
6	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
7	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$
8	0	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$	$3.708 \cdot 10^{-5}$...

$m_{\text{wet}}^T =$

$T_{wp_dry} :=$

```

n ← 20
m ← 3
for X ∈ 1..m
  | Twin_dry0,X ← Tin
  | Hwin_dry0,X ← Hin
for Y ∈ 1..  $\frac{n}{2}$ 
  | Twin_wetY,0 ← Tw(RHworkin, Tworkin)
  | Hwin_wetY,0 ← Hworkin
for Y ∈  $\frac{n}{2} + 1..n$ 
  | Twin_wetY,0 ← Tw(RHworkin, Tworkin)
  | Hwin_wetY,0 ← Hworkin
  | Twin_wetY,1 ← Tw(RHworkin, Tworkin)
  | Hwin_wetY,1 ← Hworkin
k ← 0.05
A1 ← 4.84 · 10-4
L1 ← 0.001
for i ∈ 1..n
  for j ∈ 1..m
    | DQi,j ← k · A1 ·  $\frac{(T_{win\_dry_{i-1,j}} - T_{win\_wet_{i,j-1}})}{L1}$  ... if Twin_dryi-1,j > Twin_weti,j-1
    |   + hm · A1 · (Twin_dryi-1,j - Twin_weti,j-1)
    | DQi,j ← 0 otherwise
    | Hwin_dryi,j ← Hwin_dryi-1,j -  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{dry_{i,j}}}$  if mdryi,j ≠ 0
    | Hwin_weti,j ← Hwin_weti,j-1 +  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{wet_{i,j}}}$  if mweti,j ≠ 0
    | Twin_dryi,j ← TdbW_H  $\left( W_{in}, \frac{H_{win\_dry_{i,j}}}{1000} \right)$  if mdryi,j ≠ 0
    | Twin_weti,j ← Tdb.rhh  $\left( 0.85, \frac{H_{win\_wet_{i,j}}}{1000} \right)$  if mweti,j ≠ 0
Twin_dry

```

$T_{wp_wet} :=$

```

n ← 20
m ← 3
for X ∈ 1..m
  |
  |  $T_{win\_dry_{0,X}} \leftarrow T_{in}$ 
  |  $H_{win\_dry_{0,X}} \leftarrow H_{in}$ 
  |
for Y ∈ 1.. $\frac{n}{2}$ 
  |
  |  $T_{win\_wet_{Y,0}} \leftarrow Tw(RH_{workin}, T_{workin})$ 
  |  $H_{win\_wet_{Y,0}} \leftarrow H_{workin}$ 
  |
for Y ∈  $\frac{n}{2} + 1..n$ 
  |
  |  $T_{win\_wet_{Y,0}} \leftarrow Tw(RH_{workin}, T_{workin})$ 
  |  $H_{win\_wet_{Y,0}} \leftarrow H_{workin}$ 
  |  $T_{win\_wet_{Y,1}} \leftarrow Tw(RH_{workin}, T_{workin})$ 
  |  $H_{win\_wet_{Y,1}} \leftarrow H_{workin}$ 
  |
k ← 0.05
A1 ←  $4.84 \cdot 10^{-4}$ 
L1 ← 0.001
for i ∈ 1..n
  for j ∈ 1..m
    |
    |  $DQ_{i,j} \leftarrow k \cdot A1 \cdot \frac{(T_{win\_dry_{i-1,j}} - T_{win\_wet_{i,j-1}})}{L1} \dots$  if  $T_{win\_dry_{i-1,j}} > T_{win\_wet_{i,j-1}}$ 
    |  $+ h_m \cdot A1 \cdot (T_{win\_dry_{i-1,j}} - T_{win\_wet_{i,j-1}})$ 
    |  $DQ_{i,j} \leftarrow 0$  otherwise
    |
    |  $H_{win\_dry_{i,j}} \leftarrow H_{win\_dry_{i-1,j}} - \frac{DQ_{i,j}}{m_{dry_{i,j}}}$  if  $m_{dry_{i,j}} \neq 0$ 
    |
    |  $H_{win\_wet_{i,j}} \leftarrow H_{win\_wet_{i,j-1}} + \frac{DQ_{i,j}}{m_{wet_{i,j}}}$  if  $m_{wet_{i,j}} \neq 0$ 
    |
    |  $T_{win\_dry_{i,j}} \leftarrow T_{db\_W\_H} \left( W_{in}, \frac{H_{win\_dry_{i,j}}}{1000} \right)$  if  $m_{dry_{i,j}} \neq 0$ 
    |
    |  $T_{win\_wet_{i,j}} \leftarrow T_{db\_rh\_h} \left( 0.85, \frac{H_{win\_wet_{i,j}}}{1000} \right)$  if  $m_{wet_{i,j}} \neq 0$ 
    |
    |  $T_{win\_wet}$ 

```

$W_{wp_wet} :=$

```

n ← 20
m ← 3
for X ∈ 1..m
  | Twin_dry0,X ← Tin
  | Hwin_dry0,X ← Hin
for Y ∈ 1..  $\frac{n}{2}$ 
  | Twin_wetY,0 ← Tw(RHworkin, Tworkin)
  | Hwin_wetY,0 ← Hworkin
for Y ∈  $\frac{n}{2} + 1..n$ 
  | Twin_wetY,0 ← Tw(RHworkin, Tworkin)
  | Hwin_wetY,0 ← Hworkin
  | Twin_wetY,1 ← Tw(RHworkin, Tworkin)
  | Hwin_wetY,1 ← Hworkin
k ← 0.05
A1 ← 4.84 · 10-4
L1 ← 0.001
for i ∈ 1..n
  for j ∈ 1..m
    | DQi,j ← k · A1 ·  $\frac{(T_{win\_dry_{i-1,j}} - T_{win\_wet_{i,j-1}})}{L1}$  ... if Twin_dryi-1,j > Twin_weti,j-1
    |   + hm · A1 · (Twin_dryi-1,j - Twin_weti,j-1)
    | DQi,j ← 0 otherwise
    | Hwin_dryi,j ← Hwin_dryi-1,j -  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{dry_{i,j}}}$  if mdryi,j ≠ 0
    | Hwin_weti,j ← Hwin_weti,j-1 +  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{wet_{i,j}}}$  if mweti,j ≠ 0
    | Twin_dryi,j ← TdbW_H  $\left( W_{in}, \frac{H_{win\_dry_{i,j}}}{1000} \right)$  if mdryi,j ≠ 0
    | Twin_weti,j ← Tdb.rh.h  $\left( 0.85, \frac{H_{win\_wet_{i,j}}}{1000} \right)$  if mweti,j ≠ 0
    | Wwin_weti,j ← wdb.h  $\left( T_{win\_wet_{i,j}}, \frac{H_{win\_wet_{i,j}}}{1000} \right)$ 
Wwin_wet

```

	0	1	2	3	4	5	6	7
$T_{wp_dry}^T =$	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	48.9	43.388	38.994	35.366	32.461	30.23	28.622
	2	48.0	46.3	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013
	3	48.0	46.3	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013
	4	48.0	46.3	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013
	5	48.0	46.3	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013
	6	48.0	46.3	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013
	7	48.0	46.3	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013

2	48.9	46.2	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013	34.507
3	48.9	47.022	45.357	43.679	42.021	40.412	38.877	...

	0	1	2	3	4	5	6	7
$T_{wp_wet}^T = 0$	0	26.871	26.871	26.871	26.871	26.871	26.871	26.871
1	0	38.614	36.524	34.705	33.083	31.695	30.57	29.723
2	0	42.047	40.07	38.349	36.754	35.299	34.001	32.871
3	0	44.062	42.301	40.774	39.323	37.958	36.687	...

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$W_{wp_wet}^T = 0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0.038	0.034	0.03	0.028	0.025	0.024	0.023	0.022
2	0	0.046	0.041	0.037	0.034	0.031	0.029	0.027	0.026
3	0	0.052	0.047	0.043	0.039	0.036	0.034	0.032	...


```

Tdbpro :=
  n ← 20
  m ← 8
  for X ∈ 1..m
    | A0,X ← Tin
    | Hp0,X ← Hin
  for Y ∈ 1.. $\frac{n}{2}$ 
    | BY,3 ← Twp_wetY,3
    | HwY,3 ← h(0.85, Twp_wetY,3) · 1000
  for Y ∈  $\frac{n}{2} + 1..n$ 
    | RHY,3 ← RHDBW(Twp_wetY,3, Wworkin)
    | RHY,2 ← RHDBW(Twp_wetY,2, Wworkin)
    | BY,3 ← Tw(RHY,3, Twp_wetY,3)
    | HwY,3 ← h(0.85, BY,3) · 1000
  k ← 0.05
  A1 ← 4.84 · 10-4
  L1 ← 0.001
  for i ∈ 1..n
    for j ∈ 4..m
      | DQi,j ← k · A1 ·  $\frac{(A_{i-1,j} - B_{i,j-1})}{L1}$  + hm · A1 · (Ai-1,j - Bi,j-1)
      | Hpi,j ← Hpi-1,j -  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{dry_{i,j}}}$  if mdryi,j ≠ 0
      | Hwi,j ← Hwi,j-1 +  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{wet_{i,j}}}$  if mweti,j ≠ 0
      | Ai,j ← TdbW-H  $\left( W_{in}, \frac{H_{p_{i,j}}}{1000} \right)$  if mdryi,j ≠ 0
      | Bi,j ← Tdbrh-h  $\left( 0.85, \frac{H_{w_{i,j}}}{1000} \right)$  if mweti,j ≠ 0
  A

```

$T_{dbwor} :=$

```

n ← 20
m ← 8
for X ∈ 1..m
  | A0,X ← Tin
  | Hp0,X ← Hin
for Y ∈ 1.. $\frac{n}{2}$ 
  | BY,3 ← Twp_wetY,3
  | HwY,3 ← h(0.85, Twp_wetY,3) · 1000
for Y ∈  $\frac{n}{2} + 1..n$ 
  | RHY,3 ← RHDBW(Twp_wetY,3, Wworkin)
  | RHY,2 ← RHDBW(Twp_wetY,2, Wworkin)
  | BY,3 ← Tw(RHY,3, Twp_wetY,3)
  | HwY,3 ← h(0.85, BY,3) · 1000
k ← 0.05
A1 ← 4.84 · 10-4
L1 ← 0.001
for i ∈ 1..n
  for j ∈ 4..m
    | DQi,j ← k · A1 ·  $\frac{(A_{i-1,j} - B_{i,j-1})}{L1}$  + hm · A1 · (Ai-1,j - Bi,j-1)
    | Hpi,j ← Hpi-1,j -  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{dry_{i,j}}}$  if mdryi,j ≠ 0
    | Hwi,j ← Hwi,j-1 +  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{wet_{i,j}}}$  if mweti,j ≠ 0
    | Ai,j ← TdbW_H $\left(W_{in}, \frac{H_{p_{i,j}}}{1000}\right)$  if mdryi,j ≠ 0
    | Bi,j ← Tdbrh_h $\left(0.85, \frac{H_{w_{i,j}}}{1000}\right)$  if mweti,j ≠ 0

```

B

$W_{\text{wor}} :=$

```

n ← 20
m ← 8
for X ∈ 1..m
  | A0,X ← Tin
  | Hp0,X ← Hin
for Y ∈ 1.. $\frac{n}{2}$ 
  | BY,3 ← Twp_wetY,3
  | HwY,3 ← h(0.85, Twp_wetY,3) · 1000
for Y ∈  $\frac{n}{2} + 1..n$ 
  | RHY,3 ← RHDBW(Twp_wetY,3, Wworkin)
  | RHY,2 ← RHDBW(Twp_wetY,2, Wworkin)
  | BY,3 ← Tw(RHY,3, Twp_wetY,3)
  | HwY,3 ← h(0.85, BY,3) · 1000
k ← 0.05
A1 ← 4.84 · 10-4
L1 ← 0.001
for i ∈ 1..n
  for j ∈ 4..m
    | DQi,j ← k · A1 ·  $\frac{(A_{i-1,j} - B_{i,j-1})}{L1}$  + hm · A1 · (Ai-1,j - Bi,j-1)
    | Hpi,j ← Hpi-1,j -  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{\text{dry},j}}$  if mdryi,j ≠ 0
    | Hwi,j ← Hwi,j-1 +  $\frac{DQ_{i,j}}{m_{\text{wet},j}}$  if mweti,j ≠ 0
    | Ai,j ← TdbW_H $\left(W_{\text{in}}, \frac{H_{p_{i,j}}}{1000}\right)$  if mdryi,j ≠ 0
    | Bi,j ← Tdbrh_h $\left(0.85, \frac{H_{w_{i,j}}}{1000}\right)$  if mweti,j ≠ 0
    | WBi,j ← wdbh $\left(B_{i,j}, \frac{H_{w_{i,j}}}{1000}\right)$ 
WB

```

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	48.9	0	0	0	0	0	0	0
2	48.9	0	0	0	0	0	0	0
3	48.9	0	0	0	0	0	0	0

$T_{\text{dbnro}} =$

υερω	4	5	6	7	8	9	10	11
	48.9	46.732	44.964	43.292	41.708	40.212	38.805	37.494
	48.9	47.256	45.801	44.326	42.867	41.448	40.087	38.794
	48.9	47.619	46.426	45.143	43.825	42.507	41.215	39.964
	48.9	47.878	46.901	45.795	44.618	43.409	42.199	41.007
	48.9	48.067	47.267	46.319	45.275	44.177	43.055	...

	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{dbwor}^T =$	0	44.062	42.301	40.774	39.323	37.958	36.687	35.519
	0	45.376	43.61	42.103	40.67	39.312	38.036	36.846
	0	46.284	44.63	43.212	41.84	40.523	39.268	38.081
	0	46.933	45.43	44.13	42.845	41.59	40.376	39.212
	0	47.408	46.063	44.89	43.703	42.523	41.364	40.238
	0	47.761	46.567	45.521	44.437	43.337	42.242	...

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$W_{wor}^T =$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0.056	0.05	0.046	0.043	0.039	0.037	0.034	0.032
	0	0.058	0.053	0.049	0.046	0.042	0.039	0.037	0.034
	0	0.061	0.056	0.052	0.048	0.045	0.042	0.039	0.037
	0	0.062	0.058	0.054	0.051	0.047	0.044	0.042	0.039
	0	0.063	0.059	0.056	0.053	0.05	0.047	0.044	...

Πίνακες πάνω επιπέδου

$i := 0..20$ $j := 1..3$

$T_{dry_{i,j}} := T_{wp_dry_{i,j}}$

$m := 4..8$

$T_{dry_{i,m}} := T_{dbpro_{i,m}}$

	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	0	0	0	0	0	0	0
	48.9	43.388	38.994	35.366	32.461	30.23	28.622	27.574
	48.9	46.2	43.883	41.686	39.626	37.727	36.013	34.507

$$T_{\text{dry}}^T =$$

3	48.9	47.022	45.357	43.679	42.021	40.412	38.877	37.439
4	48.9	46.732	44.964	43.292	41.708	40.212	38.805	37.494
5	48.9	47.256	45.801	44.326	42.867	41.448	40.087	38.794
6	48.9	47.619	46.426	45.143	43.825	42.507	41.215	39.964
7	48.9	47.878	46.901	45.795	44.618	43.409	42.199	41.007
8	48.9	48.067	47.267	46.319	45.275	44.177	43.055	...

$$l_w := 1..8$$

$$RH_{\text{dry},i,l} := \begin{cases} RHDBW(T_{\text{dry},i,l}, W_{\text{in}}) & \text{if } T_{\text{dry},i,l} \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$RH_{\text{dry}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	18.101	23.977	30.246	36.85	43.33	49.185	53.965	57.36
2	18.101	20.745	23.369	26.212	29.239	32.386	35.56	38.643
3	18.101	19.896	21.658	23.617	25.754	28.04	30.437	32.897
4	18.101	20.191	22.1	24.098	26.181	28.34	30.555	32.799
5	18.101	19.661	21.171	22.839	24.638	26.542	28.529	30.574
6	18.101	19.304	20.507	21.897	23.439	25.105	26.872	28.716
7	18.101	19.054	20.018	21.178	22.498	23.951	25.514	27.168
8	18.101	18.873	19.65	20.619	21.75	23.016	24.397	...

.%

Πίνακας κάτω επιπέδου

$$T_{\text{wet},i,j} := T_{\text{wp_wet},i,j}$$

$$T_{\text{wet},i,m} := T_{\text{dbwor},i,m}$$

$$T_{\text{wet}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	38.614	36.524	34.705	33.083	31.695	30.57	29.723
2	0	42.047	40.07	38.349	36.754	35.299	34.001	32.871
3	0	44.062	42.301	40.774	39.323	37.958	36.687	35.519
4	0	45.376	43.61	42.103	40.67	39.312	38.036	36.846
5	0	46.284	44.63	43.212	41.84	40.523	39.268	38.081
6	0	46.933	45.43	44.13	42.845	41.59	40.376	39.212
7	0	47.408	46.063	44.89	43.703	42.523	41.364	40.238
8	0	47.761	46.567	45.521	44.437	43.337	42.242	...

$$W_{\text{wet};i,j} := W_{\text{wp_wet};i,j}$$

$$W_{\text{wet};i,m} := W_{\text{wor};i,m}$$

$$W_{\text{wet}}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0.038	0.034	0.03	0.028	0.025	0.024	0.023	0.022
2	0	0.046	0.041	0.037	0.034	0.031	0.029	0.027	0.026
3	0	0.052	0.047	0.043	0.039	0.036	0.034	0.032	0.03
4	0	0.056	0.05	0.046	0.043	0.039	0.037	0.034	0.032
5	0	0.058	0.053	0.049	0.046	0.042	0.039	0.037	0.034
6	0	0.061	0.056	0.052	0.048	0.045	0.042	0.039	0.037
7	0	0.062	0.058	0.054	0.051	0.047	0.044	0.042	0.039
8	0	0.063	0.059	0.056	0.053	0.05	0.047	0.044	...

Βαθμός Αποδοσης μονάδος:

$$\varepsilon := \frac{T_{\text{in}} - \frac{\sum_{i=4}^8 T_{\text{dbpro}20,i}}{5}}{T_{\text{in}} - T_{\text{w}}(\text{RH}_{\text{in}}, T_{\text{in}})} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon = 120.022\%$$

Κατανάλωση νερού:

$$Q_{\text{water}} := \sum_{i=1}^{20} \left[(W_{\text{wet};i,8} - W_{\text{workin}}) \cdot U_{\text{work}} \cdot \frac{(\rho(0.85, T_{\text{dbwor};i,8}) + \rho(\text{RH}_{\text{in}}, T_{\text{in}}))}{2} \cdot 32 \cdot E \right] \cdot 3600$$

$$Q_{\text{water}} = 9.506$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφικές αναφορές

- 1) Ξενοφών Κακάτσιος, **Αρχές μεταφοράς θερμότητας και μάζης**
Αθήνα 2006, Εκδόσεις Συμεών
- 2) Κίμωνος Α Αντωνόπουλου, **Κλιματισμός Μέρος Α**, Αθήνα 2008
- 3) Σ. Χατζηδάκης, **Σημειώσεις Ψύξης Α' και Β' μέρος**, Αθήνα 2003
- 4) Federal Energy Management Program, **Coolerado Cooler helps to save cooling energy and dollars**
- 5) Ken Wicker, November/December 2003 «Life below the wet bulb the maisotsenko cycle», **POWER**
- 6) Leland Gillan, Valeriy Maisotsenko, «Maisotsenko open cycle used for gas turbine power generation», **ASME**, Georgia USA, June 2003
- 7) ASHRAE, Fundamentals 2009
- 8) Ιωάννης Μωραΐτης, **Πειραματική και Τεχνική Αξιολόγηση Διατάξεων Εξαμιστικής Ψύξης**, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2010
- 9) Δημήτριος Διαμαντής, **Πειραματική διάταξη προσομοίωσης συμπεριφοράς εξαμιστικής ψυκτικής μονάδος Maisotsenko**, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2012

Ιστότοποι

- 10) <http://www.coolerado.com>
- 11) <http://www.en.wikipedia.com/howItWorks.php>
- 12) <http://www.airtekcorp.com/howItWorks.php>
- 13) http://www.idalex.com/technology/how_it_works.htm
- 14) <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology>