



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών  
Τομέας Θερμότητας  
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής**

**Ακαδημαϊκό έτος 2011- 2012**

Διπλωματική Εργασία με θέμα  
*«Πειραματική Διάταξη Προσομοίωσης Συμπεριφοράς  
Εξατμιστικής Ψυκτικής Μονάδος Maisotsenko»*

Επιμέλεια

**Δημήτριος Διαμαντής (Α.Μ. 02104672)**

Επίβλεψη

**Καθηγητής Εμμανουήλ Ρογδάκης**

**Αθήνα, Μάρτιος 2012**



### Ευχαριστίες

*Εκφράζονται ειλικρινείς ευχαριστίες προς τον Δρ. Εμμανουήλ Ρογδάκη για την ουσιαστική βοήθεια και υποστήριξη σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τον Υ.Δ. κ. Δημήτριο Τερτίπη για το αμείωτο ενδιαφέρον, τις συμβουλές και την βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Ακόμα ένα ευχαριστώ ανήκει στον Παναγιώτη Αναγνώστου, όπου σε συνδυασμό με τον κ. Τερτίπη, συνεργαστήκαμε την άνοιξη του 2011 και με τις τεχνικές γνώσεις, τις ιδέες, το χιούμορ του καθενός και έπειτα από ώρες εργασίας υλοποιήθηκε η κατασκευή της πειραματικής εξατμιστικής μονάδος και η παρούσα διπλωματική εργασία. Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Νικόλα Τσουκαλά για τις χρήσιμες τεχνικές γνώσεις που προσέφερε. Ευχαριστώ θερμά όλους τους παραπάνω και το παρόν αφιερώνεται σε αυτούς.*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
<i>Abstract</i> .....	8
1 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΥΞΗΣ.....	9
1.1: Σύντομη εισαγωγή.....	9
1.2: Συμβατικά συστήματα ψύξης.....	10
1.2.1: Θετικά χαρακτηριστικά.....	10
1.2.2: Αρνητικά χαρακτηριστικά.....	11
1.3: Εξατμιστικά συστήματα ψύξης .....	12
1.3.1: Θετικά χαρακτηριστικά.....	12
1.3.2: Αρνητικά χαρακτηριστικά.....	13
2 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΜΕΣΗ ΚΑΙ ΕΜΜΕΣΗ ΕΞΑΤΜΙΣΤΙΚΗ ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ MAISOTSENKO.....	15
2.1: Εξατμιστική ψύξη.....	15
2.2: Άμεση εξατμιστική ψύξη .....	16
2.2.1: Εξοπλισμός άμεσων εξατμιστικών ψυκτών.....	20
2.2.1.1: Ψύκτες αέρα εξατμιζόμενου ύδατος.....	20
2.2.1.2: Ψύκτες αέρα άκαμπτου μέσου.....	22
2.3: Έμμεση εξατμιστική ψύξη.....	23
2.3.1: Εξοπλισμός έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών.....	26
2.3.1.1: Συσκευασμένοι έμμεσοι εξατμιστικοί ψύκτες αέρα.....	26
2.3.1.2: Ανάκτηση θερμότητας.....	27
2.4: Συνδυασμός Έμμεσης & Άμεσης εξατμιστικής ψύξης.....	29
2.5: Ο κύκλος του Maisotsenko.....	31

3 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΗΣΥΜΑΤΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ.....	37
3.1: Πειραματική διάταξη.....	37
3.1.1: Σύντομη εισαγωγή.....	37
3.1.2: Σύστημα εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα.....	38
3.1.3: Σύστημα διακλάδωσης ρεύματος εργαζόμενο-ψυχόμενο (working-product)...	43
3.1.4: Εναλλάκτης (ηλεκτρικός πίνακας-καταγραφικό-εναλλάκτης Maisotsenko)....	49
3.1.5: Επεξήγηση της εσωτερικής διαμόρφωσης του εναλλάκτη του Maisotsenko.....	57
3.2: Προβληματισμοί που προέκυψαν κατά την διαδικασία του στησίματος της μονάδας.....	60
4 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ, ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	61
4.1: Επεξήγηση της πειραματικής διαδικασίας.....	61
4.2: Επεξεργασία των μετρήσεων .....	63
4.2.1: Διαδικασία υπολογισμού αποτελεσμάτων.....	63
4.2.2: Υπολογισμός σφαλμάτων.....	65
4.3: Σενάρια.....	66
4.3.1: Ως προς τις αντιστάσεις.....	66
4.3.1.1: Σενάριο: Σε λειτουργία η αντίσταση $\varnothing 200\text{ mm}$ .....	66
4.3.1.2: Σενάριο: Σε λειτουργία οι αντιστάσεις $\varnothing 200$ και $R_{pro}$ .....	67
4.3.1.3: Σενάριο: Καμία αντίσταση σε λειτουργία .....	69
4.3.1.4: Σενάριο: Όλες οι αντιστάσεις σε λειτουργία .....	70
4.3.1.5: Σενάριο: Σε λειτουργία η αντίσταση $R_{pro}$ .....	72
4.3.2: Παρατηρήσεις πάνω στα διαγράμματα.....	77
4.3.2.1: Σχολιασμός Βαθμού Απόδοσης.....	77
4.3.2.2: Σχολιασμός Ψυκτικής Ισχύος.....	78
4.3.2.3: Σχολιασμός Ειδικού Συντελεστή Κατανάλωσης Νερού.....	78

4.3.3: Ως προς τις παροχές.....	79
4.3.3.1: Σενάριο: Μειωμένη παροχή product $\lambda=1/2$ .....	79
4.3.3.2: Σενάριο: Μειωμένη παροχή product $\lambda=2/3$ .....	81
4.3.4: Παρατηρήσεις πάνω στα διαγράμματα.....	84
4.4: Δεδομένα και αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας .....	85
4.4.1: Δεδομένα και αποτελέσματα σεναρίου κλειστών αντιστάσεων.....	85
4.4.1.1: Χαμηλή ταχύτητα.....	85
4.4.1.2: Υψηλή ταχύτητα.....	88
4.4.2: Δεδομένα και αποτελέσματα σεναρίου με λόγο παροχών $\lambda=1/2$ .....	90
4.4.3: Δεδομένα και αποτελέσματα σεναρίου αντίστασης $R_{pro}$ .....	93
4.4.3.1: Χαμηλή ταχύτητα.....	93
4.4.3.2: Υψηλή ταχύτητα.....	96
4.5 Υπολογισμοί λογισμικού Mathcad.....	98
5 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	101
5.1: Οικονομική μελέτη εγκατάστασης εξατμιστικής ψυκτικής μονάδος.....	101
5.1.1: Εγκατάσταση σε οικιακό περιβάλλον.....	101
5.1.2: Εγκατάσταση σε περιβάλλον τριτογενούς τομέα.....	104
6 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	109
6.1: Συμπεράσματα – σχόλια.....	109
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	113

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σε μια εποχή που στρέφεται όλο και περισσότερο σε εναλλακτικές και φιλικότερες προς το περιβάλλον τεχνολογίες, η εξατμιστική ψύξη έρχεται να δώσει μια σημαντική λύση στο ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκύπτει, όσον αφορά τον κλιματισμό κτιρίων. Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση μιας μονάδας εξατμιστικής ψύξης με αρχή λειτουργίας τον κύκλο του Maisotsenko, μέσω μιας πειραματικής διαδικασίας. Αρχικά, γίνεται αναφορά στην εξατμιστική ψύξη συγκρινόμενη με τα συμβατικά κλιματιστικά, ενώ ακολουθεί παρουσίαση των ειδών εξατμιστικής ψύξης, καθώς και των τεχνολογικών εφαρμογών τους. Στην συνέχεια αναλύεται ο κύκλος του Maisotsenko σε θερμοδυναμικό αλλά και κατασκευαστικό επίπεδο ως προς τον εναλλάκτη. Έπειτα, παρουσιάζεται η διαδικασία κατασκευής της πειραματικής διατάξεως, αναλύοντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά της και τους λόγους που οδήγησαν στην σημερινή μορφή της, με λεπτομέρεια και σαφήνεια. Επίσης, αναλύεται η λειτουργία του εναλλάκτη στο εσωτερικό του, από ανατομικής και θερμοδυναμικής σκοπιάς. Επιπλέον, γίνεται επεξήγηση της πειραματικής διαδικασίας όσον αφορά την λήψη και επεξεργασία των μετρήσεων, παρουσιάζοντας την διαδικασία επίλυσης, τους πίνακες των αποτελεσμάτων και δεδομένων, συγκρίνοντας και αξιολογώντας ταυτόχρονα τα διάφορα πειραματικά σενάρια και αποτελέσματα. Τελικά, γίνεται οικονομικοτεχνική ανάλυση εφαρμογής της κλιματιστικής μονάδας του κύκλου του Maisotsenko σε κατοικίες και χώρους εργασίας, ενώ παράλληλα συγκρίνεται με εγκατάσταση συμβατικού κλιματιστικού για τις ίδιες εφαρμογές.

*School of Mechanical Engineering, Thermal Section  
Laboratory of Applied Thermodynamics  
National Technical University of Athens*

*Diploma Thesis*

**«Experimental Simulation of Behavior of Evaporative Cooler  
using the Thermodynamic Cycle of Maisotsenko»**

*Student*

**Diamantis Dimitrios**

*Supervisor*

**Professor Emmanuel Rogdakis**

**Abstract**

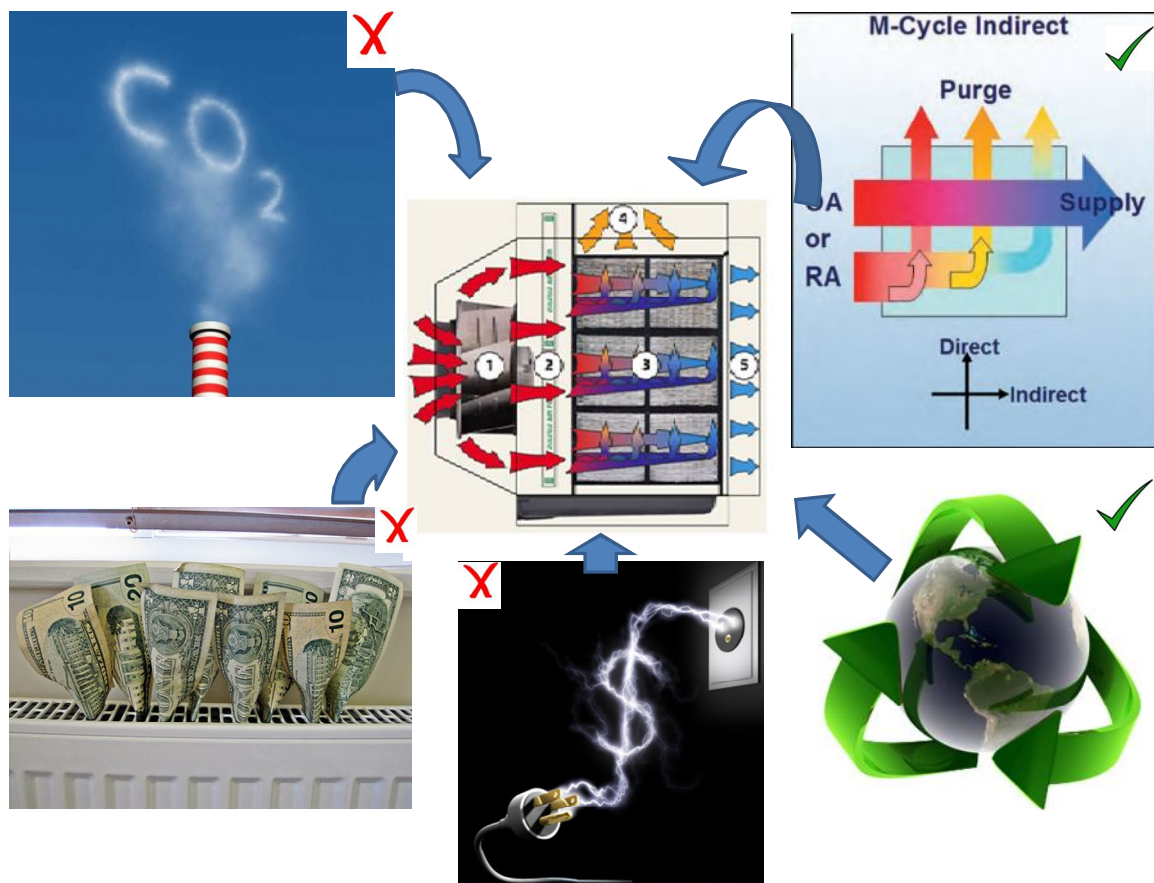
In a time increasingly looking towards alternative and environmentally friendly technologies, the evaporative cooling gives an important solution to energy and environmental problems, concerning the air conditioning of buildings. The purpose of this diploma thesis is to evaluate an evaporative cooling unit, operating with the thermodynamic cycle of Maisotsenko, through an experimental procedure. Initially, reference is made to evaporative cooling compared to conventional air conditioners, followed by a presentation of the evaporative cooling kinds and their technical applications. Then, the Maisotsenko cycle is analyzed thermodynamically, in theory and anatomically, as far as the alternator concerns. The set-up process of the experimental unit is presented, detailing the technical features and characteristics and the reasons that driven the unit in its present form. Moreover, the experimental procedure is explained, as far as receiving and processing the measurements concerns, showing the resolution process, the results tables and data, while comparing and evaluating the various experimental scenarios and results. Eventually, an economical and technical analysis is made about the evaporative unit of Maisotsenko for home and working places installations, comparing it at the same time with conventional unit installations.



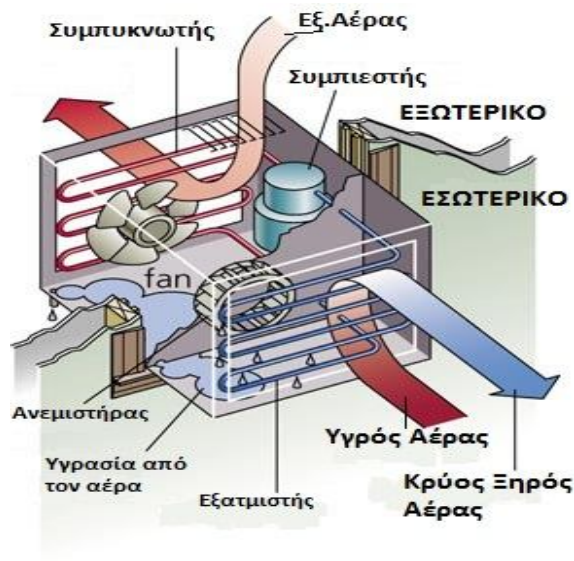
**1.1: Σύντομη εισαγωγή**

Η παρούσα ενεργειακή κατάσταση της χώρας μας, όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό, παρουσιάζει αυξητική τάση, εξαιτίας της αύξησης των κλιματιστικών συσκευών που εγκαθίστανται κάθε χρόνο για οικιακή αλλά και βιομηχανική χρήση. Κρίνεται έτσι απαραίτητη η στροφή σε ενεργειακά πιο αποδοτικές μορφές κλιματισμού, την στιγμή μάλιστα που η Ελλάδα κάνει μια προσπάθεια να προσαρμοστεί στα ευρωπαϊκά πρότυπα για εξοικονόμηση ενέργειας, μείωση των ρύπων που συμβάλουν στην αύξηση του φαινομένου θερμοκηπίου καθώς και στην τρύπα του όζοντος. Αναγκαία λοιπόν η αντικατάσταση των συμβατικών συστημάτων κλιματισμού με νέα, φιλικότερα προς το περιβάλλον και λιγότερο ενεργοβόρα.

Μία σημαντική λύση, λοιπόν, που προκύπτει για το ενεργειακό αλλά και οικολογικό αυτό πρόβλημα, λόγω της ανάγκης για κλιματισμό και θερμική άνεση στους εσωτερικούς χώρους ή γενικότερα της ψύξης του αέρα, είναι η *εξατμιστική ψύξη*. Στην συνέχεια, γίνεται ανάλυση και παρουσίαση αυτής της μεθόδου της εξατμιστικής ψύξης, σε θερμοδυναμικό, λειτουργικό, οικονομικό επίπεδο, τονίζοντας τα θετικά χαρακτηριστικά της. Επίσης παρουσιάζονται σύντομα τα συμβατικά συστήματα ψύξης, όπως τα air conditioners, συγκρινόμενα με τους εξατμιστικούς ψύκτες και τα οφέλη που προκύπτουν από την αντικατάστασή τους με τους δεύτερους.



## 1.2: Συμβατικά συστήματα ψύξης



### 1.2.1: Θετικά χαρακτηριστικά

Αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένα περίπου 3 εκατομμύρια κλιματιστικά. Αυτά τα συμβατικά συστήματα έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης και πετυχαίνουν την γρήγορη ψύξη ενός χώρου. Η απαίτηση τους για ελεύθερη επιφάνεια κατά την εγκατάσταση τους είναι σχετικά μικρή. Επίσης είναι σχετικά εύκολα στην εγκατάσταση. Επειδή η λειτουργία τους βασίζεται στην ανακυκλοφορία του αέρα μέσα στο χώρο και δεν επηρεάζονται από την εξωτερική υγρασία του περιβάλλοντος, προορίζονται για όλους τους τύπους κλιμάτων, με βάση την ευαισθησία στην υγρασία για άνεση στην εφαρμογή τους. Πολλά από αυτά τα συστήματα διαθέτουν και λειτουργία υγιεινής αφύγρανσης, κάτι το οποίο αυξάνει την άνεση στο χώρο σε κλίματα με ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά υγρασίας, αφού ο άνθρωπος χρησιμοποιεί την φυσική εξάτμιση μέσω του δέρματος και της αναπνοής για να ψυχθεί, ο ξηρότερος (ως ένα βαθμό) αέρας δημιουργεί μια πιο ευχάριστη ατμόσφαιρα. Επίσης παρέχουν μεγάλες δυνατότητες λειτουργίας μέσα από μια σειρά προγραμμάτων. Έχουν εύκολη και χαμηλού κόστους συντήρηση η οποία περιορίζεται στην αλλαγή των φίλτρων ανά κάποιες ώρες λειτουργίας που προτείνει ο κατασκευαστής. Επίσης μπορεί να έχουν θετική επίδραση σε πάσχοντες από άσθμα, καθώς τα περισσότερα κλιματιστικά κατεβάζουν τα επίπεδα υγρασίας.

### **1.2.2: Αρνητικά χαρακτηριστικά**

Στην Ελλάδα, κάθε χρόνο εγκαθίστανται 350.000 περίπου νέα κλιματιστικά. Όπως είναι εύκολα κατανοητό, για την τροφοδοσία αυτών των νέων κλιματιστικών απαιτείται και περισσότερη ενέργεια από το δίκτυο, η οποία μεταφράζεται είτε σε νέες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, είτε σε εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τις γειτονικές χώρες. Και οι δύο αυτές λύσεις έχουν πολύ υψηλό κόστος, το οποίο επιβαρύνει τον καταναλωτή με αυξημένους λογαριασμούς, αλλά και το κράτος που υποχρεούται σε καιρούς λιτότητας να δαπανήσει τεράστια χρηματικά ποσά για την κατασκευή νέων ηλεκτροπαραγωγών σταθμών.

Όσον αφορά τα περιβαλλοντικά θέματα, τα συμβατικά κλιματιστικά συμπίεσης ατμού χρησιμοποιούν επικίνδυνα ψυκτικά μέσα όπως χλωροφθοράνθρακες ή υδροφθοράνθρακες (R12, R22) που συμβάλουν σε πολύ μεγάλο βαθμό στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και στην τρύπα του όζοντος. Γίνεται, βέβαια, προσπάθεια αντικατάστασης αυτών των ισχυρών αερίων των θερμοκηπίων με άλλα λιγότερο βλαβερά, αλλά αυτό απαιτεί χρονοβόρο ερευνητικό έργο. Επίσης, όσο αυξάνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο αυξάνονται και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, από ρυπογόνες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργούν με λιγνίτη, όπως στην Μεγαλόπολη και την Πτολεμαΐδα ή με πετρέλαιο όπως στο σύνολο των νησιών του Αιγαίου.

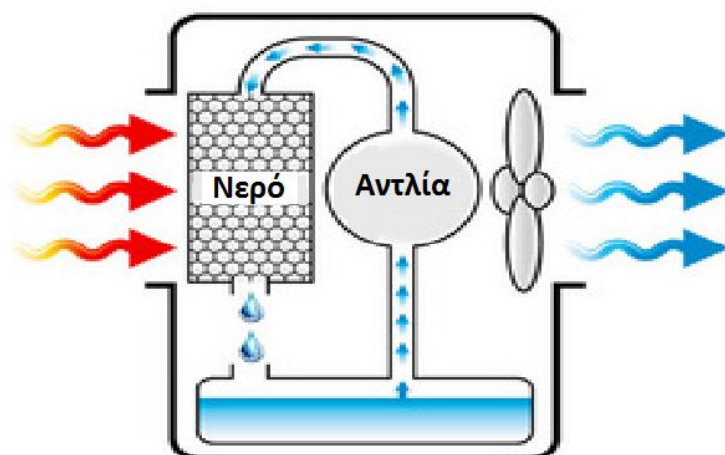
Σε θέματα συνθηκών άνεσης και υγιεινής του αναπνεύσιμου αέρα σε κάποιο χώρο, η ποιότητα του εσωτερικού αέρα σε χώρο που λειτουργεί κάποιο κλιματιστικό, όσον αφορά τον εξαερισμό, είναι το 20% του εξωτερικού. Η λειτουργία των κλιματιστικών βασίζεται στην επανακυκλοφορία του αέρα, με συνέπεια ο αέρας μέσα στον χώρο να είναι να παραμένει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, λιγότερο φρέσκος αέρας δηλαδή. Εξαιτίας της τάσης που έχουν τα κλιματιστικά να αφυγραίνουν τον αέρα, είναι δυνατό να προκαλέσουν ξήρανση του δέρματος και σε ορισμένες περιπτώσεις αφυδάτωση.

Επίσης τα συμβατικά κλιματιστικά έχουν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, της τάξης των 1000 kWh σε μια τυπική εγκατάσταση σε χώρο 100m<sup>3</sup>. Οι μεγάλες ενεργειακές ανάγκες ενός κλιματιστικού συμπίεσης ατμού, οφείλονται κυρίως στο σύστημα συμπίεσης του ψυκτικού μέσου. Από τις κατασκευάστριες εταιρείες κλιματιστικών γίνεται προσπάθεια να αναπτυχθούν πιο αποδοτικά και λιγότερο ενεργοβόρα συστήματα, για αυτό το λόγο διαθέτουν στην αγορά κλιματιστικά με inverter. Η τεχνολογία inverter, πράγματι μειώνει την κατανάλωση ενέργειας, όμως οι περισσότερες διαφημίσεις που ισχυρίζονται μείωση στους λογαριασμούς έως και 30%, βασίζονται σε πολύ προσεκτικά στημένα εργαστηριακά σενάρια. Στην πραγματικότητα, ενώ είναι πιθανό να είναι λιγότερο ενεργοβόρο από ένα

κλιματιστικό δίχως τεχνολογία inverter, αγοράζοντας ένα ενεργειακά πιο αποδοτικό δεν παύει να αυξάνει τους λογαριασμούς της ΔΕΗ. <sup>[12],[13]</sup>

### **1.3: Εξατμιστικά συστήματα ψύξης**

Μηχανισμός Εξατμιστικής Ψύξης



#### **1.3.1: Θετικά χαρακτηριστικά**

Σε μια εποχή που η εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς επίσης και η ανάπτυξη φιλικότερων προς το περιβάλλον τεχνολογιών, παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην ενεργειακή αλλά και οικονομική πολιτική των διαφόρων κρατών, η τεχνολογία της εξατμιστικής ψύξης έρχεται να δώσει μια πολλά υποσχόμενη λύση στον τομέα του κλιματισμού.

Σε περιβαλλοντικό επίπεδο, τα συστήματα εξατμιστικής ψύξης υπερिशύουν των συμβατικών κλιματιστικών, διότι χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο έναντι των ισχυρών αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης, η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, για παράδειγμα σε μια τυπική εγκατάσταση σε χώρο  $100\text{m}^3$  είναι της τάξης των  $350\text{ kWh}_a$  αισθητά χαμηλότερη από αυτή ενός air condition, αφού περιορίζεται μόνο στον ανεμιστήρα και στην αντλία νερού, συμβάλει στην μείωση των ρυπογόνων εκπομπών από τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Επιπροσθέτως, μικρές εξατμιστικές μονάδες χρησιμοποιούν ηλιακά φωτοβολταϊκά, οι οποίες είναι διαθέσιμες σε ποικίλες εμπορικές και πρωτότυπες εφαρμογές, που με την σειρά τους εκμηδενίζουν την κατανάλωση ρεύματος.

Βασική προϋπόθεση στην λειτουργία των εξατμιστικών ψυκτών, είναι να υπάρχει κάποιο παράθυρο ανοιχτό μέσα στον χώρο στον οποίο βρίσκεται σε λειτουργία, έτσι ώστε να επιτρέπει την συνεχή ροή του αέρα. Όσον αφορά την άνεση, λοιπόν, η συνεχής παροχή εξωτερικού αέρα μέσα στο χώρο μειώνει την ηλικία του αέρα(ποιότητα εσωτερικού αέρα 100% του εξωτερικού ), έχουμε επομένως συνεχή εισαγωγή φρέσκου αέρα. Επίσης με την αύξηση της υγρασίας στο χώρο βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα σε ιδιαίτερα ξηρά κλίματα. Ακόμα, σε συνδυασμό με μονάδες αφύγρανσης είναι δυνατή η αποφυγή της αύξησης της υγρασίας χωρίς σημαντικό ενεργειακό κόστος. Το νωπό χαρτί λειτουργεί ως ένα πολύ αποτελεσματικό μέσο φίλτρανσης του αέρα από την ατμοσφαιρική ρύπανση και την σκόνη. Έτσι, τα σωματίδια που κατακρατούνται, απομακρύνονται καθώς το νερό ρέει συνεχώς πάνω στην επιφάνεια του εναλλάκτη. Η συντήρησή τους είναι ελάχιστα συχνότερη και περιορίζεται στην αλλαγή του χαρτιού και κάθε δύο χρόνια της επικάλυψης.

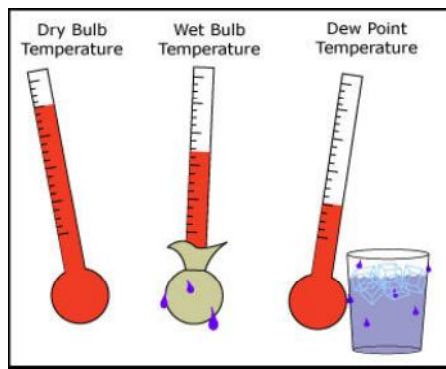
### **1.3.2: Αρνητικά χαρακτηριστικά**

Τα εξατμιστικά συστήματα διαθέτουν αναμφίβολα μια σειρά από προτερήματα που τα κάνουν ελκυστικότερα εργαλεία κλιματισμού. Παρόλα αυτά όμως, εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας τους, θέτουν κάποιους περιορισμούς. Η βέλτιστη απόδοση κατά την λειτουργία των εξατμιστικών ψυκτών είναι σε θερμά και ξηρά κλίματα, πράγμα το οποίο τα κάνει λιγότερο δημοφιλή σε περιοχές με αυξημένα ποσοστά υγρασίας. Η πρόσδωση υγρασίας σε ήδη υγρά κλίματα δεν θα έριχνε σημαντικά την θερμοκρασία, μειώνοντας ταυτόχρονα την άνεση. Επίσης τα υψηλά ποσοστά υγρασίας που εισάγονται στο χώρο δυσχεραίνουν την φυσική εξάτμιση της υγρασίας από το ανθρώπινο σώμα, καθώς επίσης επιταχύνουν την διάβρωση των ηλεκτρικών συσκευών.

Ένα ακόμα ζήτημα που προκύπτει είναι ότι αυτά τα συστήματα, απαιτούν συνεχή τροφοδότηση νερού, μειώνοντας έτσι την εφαρμογή τους σε περιοχές όπου υπάρχει όριο στη χρήση του. Επίσης νερό πλούσιο σε άλατα καθιστά συχνότερη την συντήρηση της εγκατάστασης.<sup>[12],[13],[14],[15]</sup>



### **2.1: Εξατμιστική ψύξη**



Όταν το υγρό εξατμίζεται και μετατρέπεται σε υδρατμό, η θερμότητα που χρησιμοποιείται για την διαδικασία της εξάτμισης αφαιρείται από τον αέρα με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία του. Η διαδικασία αυτή της εξατμιστικής ψύξης άλλοτε είναι άμεση και άλλοτε έμμεση. Στην συνέχεια του παρόντος, αναλύεται εκτενέστερα η εξατμιστική ψύξη από θερμοδυναμικής αλλά και λειτουργικής πλευράς, καθώς επίσης και ο συνδυασμός άμεσης-έμμεσης ψύξης.

Όμως, πριν αναλυθούν οι διάφοροι τρόποι ψύξης, γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια, για την βαθύτερη και βέβαιη κατανόηση των θερμοδυναμικών κύκλων από τον αναγνώστη.

- **Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού**

Η θερμοκρασία ξηρού βολβού (ή ξηρής σφαίρας όπως συχνά αναφέρεται) είναι η θερμοκρασία που μετριέται με ένα συνηθισμένο θερμόμετρο και η οποία αναφέρεται συνήθως ως εξωτερική θερμοκρασία.

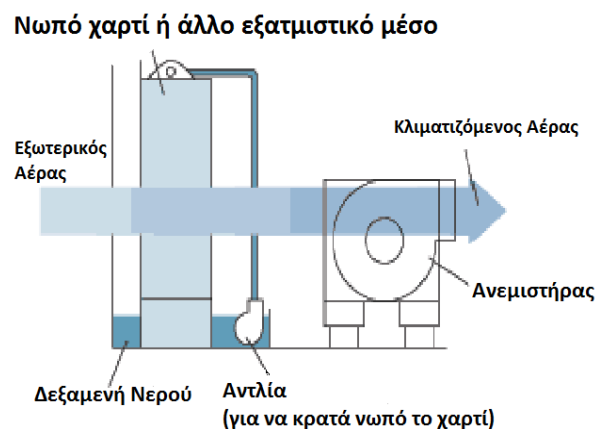
- **Θερμοκρασία Υγρού Βολβού**

Η θερμοκρασία υγρού βολβού (ή υγρής σφαίρας) πάλι μετριέται με ένα συνηθισμένο θερμόμετρο, αυτή την φορά όμως το θερμόμετρο καλύπτεται με ένα νωπό πανί. Καθώς ο αέρας περνά πάνω από το νωπό πανί, το νερό μέσα του εξατμίζεται απάγοντας θερμότητα από το θερμόμετρο. Εάν ο αέρας είναι πολύ υγρός, μόνο ένα μικρό ποσοστό υγρασίας θα εξατμιστεί από το πανί. Αυτό σημαίνει ότι η θερμοκρασία υγρού βολβού θα είναι λίγο μικρότερη από αυτή του ξηρού βολβού. Αντίθετα, αν η υγρασία του αέρα είναι σε χαμηλά επίπεδα, το νερό στο πανί θα εξατμιστεί πολύ γρήγορα, με αποτέλεσμα να απορροφήσει περισσότερη θερμότητα και η θερμοκρασία του θερμομέτρου να μειωθεί περαιτέρω.

- **Θερμοκρασία σημείου δρόσου**

Το σημείο δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία η υγρασία του αέρα αρχίζει να συμπυκνώνεται ή να αλλάζει από αέρια σε υγρή μορφή. Για να αναπτυχθούν συμπυκνώματα πάνω σε μια επιφάνεια (όπως σε ένα κρύο ποτήρι) θα πρέπει η θερμοκρασία της επιφάνειας να είναι στο σημείο δρόσου ή χαμηλότερη από αυτή.<sup>[19]</sup>

## 2.2: Άμεση εξατμιστική ψύξη



### Άμεσος εξατμιστικός ψύκτης

Κατά την λειτουργία των άμεσων εξατμιστικών ψυκτών, νερό κυλάει πάνω σε μια απορροφητική επιφάνεια και στη συνέχεια αυτή η επιφάνεια εκτίθεται απευθείας σε ένα ρεύμα αέρα, δηλαδή ρεύμα αέρα και νερό βρίσκονται σε άμεση επαφή. Ο αέρας που περνάει μέσα από την υγρή πλέον απορροφητική επιφάνεια, εξατμίζει το νερό χρησιμοποιώντας την λανθάνουσα θερμότητα, έτσι υγρασία προστίθεται στον αέρα και τον αισθανόμαστε ψυχρότερο. Το παρεχόμενο ρεύμα αέρα αποκτά πολύ υγρασία και πρέπει να αποβάλλεται από τον ψυχόμενο χώρο και να μην επαναχρησιμοποιείται ή επαναψύχεται.

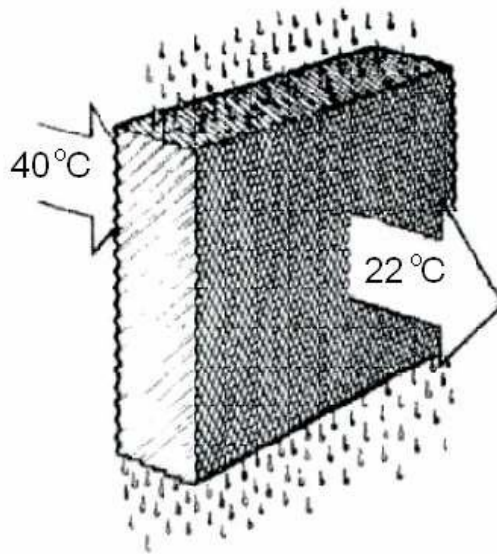
Η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια με τον ιδρώτα του δέρματός μας, όπου το σώμα μας κρυώνει μέσω της εξάτμισης της υγρασίας (ιδρώτα). Σε υγρά περιβάλλοντα η διαδικασία της άμεσης εξατμιστικής ψύξης δεν λειτουργεί καλά για την ανθρώπινη άνεση, διότι ο αέρας είναι πολύ κοντά στο κορεσμό του. Οπότε προσθέτοντας υγρασία δεν χαμηλώνει σημαντικά η θερμοκρασία του αέρα. Παρόμοια όταν το σώμα ιδρώνει τις ζεστές και υγρές μέρες, δεν νιώθουμε να δροσιζόμαστε επειδή η υγρασία από το δέρμα μας δεν εξατμίζεται γρήγορα.

Σήμερα, τα συστήματα άμεσης εξατμιστικής ψύξης είναι αποδοτικά 70-95% στη μείωση της θερμοκρασίας συσχετιζόμενα με βάση την θερμοκρασία υγρού βολβού του



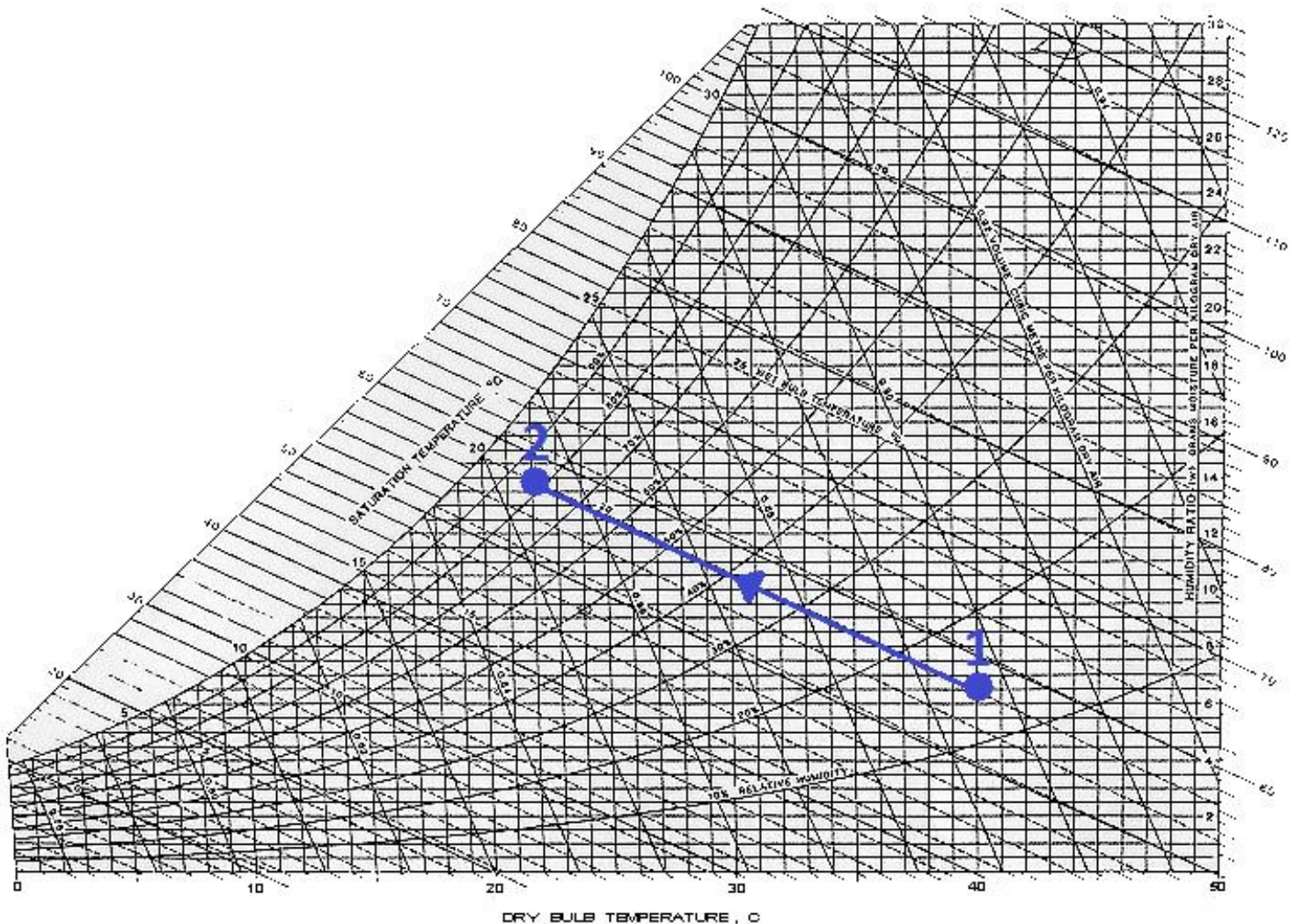
εισερχόμενου αέρα και η εγκατάστασή τους συμφέρει μόνο σε ξηρά, θερμά κλίματα ή χώρους που χρειάζονται ταυτόχρονα ψύξη αλλά και πρόσδοση υγρασίας. Για την βαθύτερη κατανόηση των παραπάνω, γίνεται στην συνέχεια ανάλυση ενός απλού παραδείγματος με την ταυτόχρονη χρήση ψυχομετρικού χάρτη.<sup>[5]</sup>

Στο παρακάτω *σχήμα 1* φαίνεται πως το ρεύμα αέρος διαπερνά ένα υγρό μέσο και η θερμοκρασία του πέφτει από τους 40 °C στους 22 °C.



**Σχήμα 1: Διαδικασία άμεσης εξατμιστικής ψύξης**

Στο **σχήμα 2** υπάρχει η ψυχομετρική ανάλυση της διαδικασίας της εξαμιστικής ψύξης.



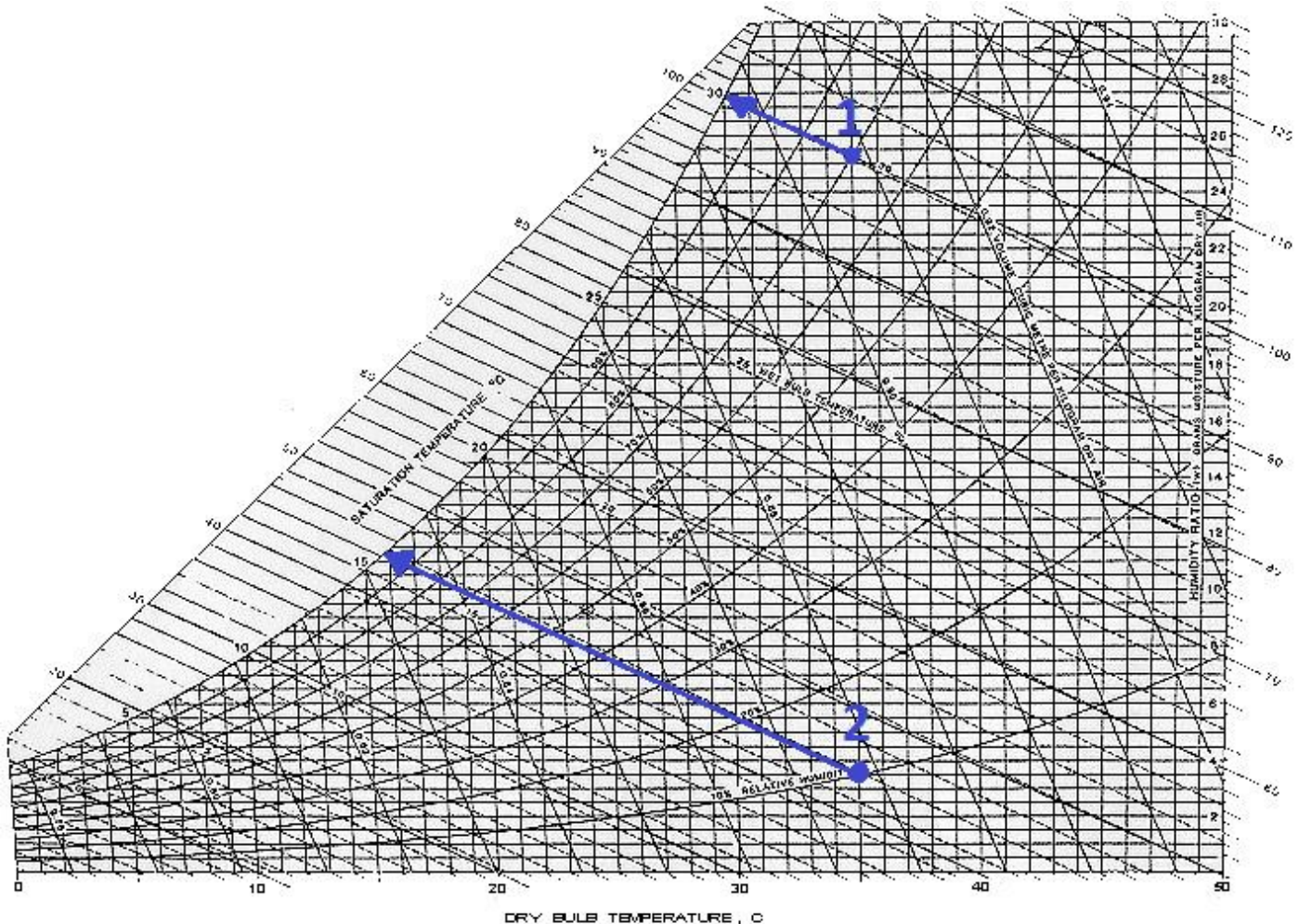
**Σχήμα 2:** Η μεταβολή της άμεσης εξαμιστικής ψύξης στον ψυχομετρικό χάρτη

Όπως βλέπουμε από τον παραπάνω ψυχομετρικό χάρτη ο εισερχόμενος αέρας στο υγρό μέσο έχει θερμοκρασία ξηρής σφαίρας TDB = 40 °C, υγρής σφαίρας TWB = 20 °C και σχετική υγρασία RH = 15%. Θεωρητικά μπορεί να μειωθεί η θερμοκρασία του ρεύματος αέρα κατά 20 °C μέσω της πρόσθεσης νερού σ' αυτό. Όμως στην περίπτωση αυτή ο εξερχόμενος αέρας έχει TDB = 22 °C και RH = 83%, δηλαδή η μείωση είναι 18 °C. Έτσι η αποτελεσματικότητα της ψύξης είναι:

$$\eta = \frac{t_{db\_1} - t_{db\_2}}{t_{db\_1} - t_{wb\_1}} \cdot 100\% = 90\%$$

της θερμοκρασίας υγρής σφαίρας. Συχνά με την άμεση εξατμιστική ψύξη μπορεί να επιτευχθεί ποσοστό από 90% μέχρι 95%.

Με τον ψυχομετρικό χάρτη μπορούμε να καταλάβουμε γιατί η άμεση εξατμιστική ψύξη λειτουργεί καλύτερα σε περιοχές με ξηρό κλίμα και χειρότερα σε υγρό περιβάλλον. Ας εξετάσουμε τον παρακάτω ψυχομετρικό χάρτη του **σχήματος 3**.



**Σχήμα 3: Μεταβολές άμεσης εξατμιστικής ψύξης στον ψυχομετρικό χάρτη**

Αν αρχίσουμε από το σημείο **1** όπου ο αέρας έχει θερμοκρασία ξηρής σφαίρας  $T_{DB}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία  $RH=70\%$ , τότε ο αέρας αυτός μπορεί να ψυχθεί μόνο  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  πριν φτάσει στον κορεσμό του στην θερμοκρασία υγρής σφαίρας  $T_{WB}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Αντιθέτως αρχίζοντας από το σημείο **2** με θερμοκρασία ξηρής σφαίρας πάλι  $T_{DB}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$  αλλά σχετική υγρασία  $RH=10\%$ , ο αέρας μπορεί να ψυχθεί στους  $15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , δηλαδή μείωση της θερμοκρασίας κατά  $19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Αυτό μας αποδεικνύει ότι υπάρχει

μεγαλύτερη δυνατότητα ψύξης του αέρα εκεί που επικρατεί χαμηλή σχετική υγρασία.<sup>[3],[5]</sup>

### **2.2.1: Εξοπλισμός άμεσων εξατμιστικών ψυκτών**

Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στους άμεσους εξατμιστικούς ψυκτες ως προς την διάταξή τους, τον εξοπλισμό τους και τα υλικά τους.

#### **2.2.1.1: Ψυκτες αέρα εξατμιζόμενο υδατος**

Αυτοί οι ψυκτες εμπεριέχουν εξατμιστικά «πανιά», συνήθως από ινώδες ξύλο ή απορροφητικό αφρώδες πλαστικό. Μια αντλία επανακυκλοφορίας του νερού ανυψώνει το νερό από το κάρτερ στον διασκορπιστή και αυτό ρέει προς τα κάτω μέσω του πανιού ξανά στο κάρτερ. Ένας ανεμιστήρας μέσα στον ψυκτη οδηγεί τον αέρα στο εξατμιστικό πανί και τον παραδίδει στο χώρο έχοντας ψυχθεί.

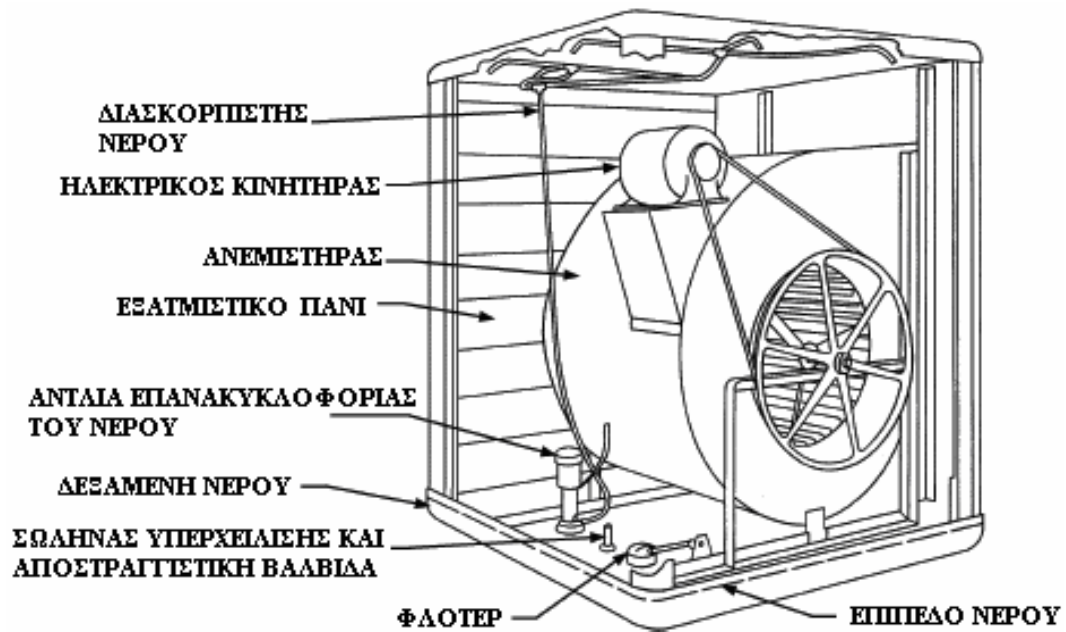
Όταν είναι καθαροί και καλοδιατηρημένοι, οι εμπορικοί ψυκτες αέρα τυχαίου μέσου λειτουργούν κατά προσέγγιση με αποτελεσματικότητα **80%**, ενώ απομακρύνουν σωματίδια των 10μm και άνω από τον αέρα. Σε ορισμένες μονάδες συμπληρωματικά φίλτρα πριν ή μετά τα εξατμιστικά πανιά κρατάνε τα σωματίδια ώστε να μην εισέρχονται στον χώρο, ακόμα και όταν δεν ψύχεται ο αέρας μέσω του νερού, απλά και μόνο για να ανακυκλώνεται φρέσκος αέρας. Τα εξατμιστικά «πανιά» μπορούν να κατασκευαστούν με πρόσθετα χημικά υλικά ώστε να προβάλουν αντίσταση στην προσβολή από βακτήρια, μύκητες και άλλους μικροοργανισμούς.

Οι ψυκτες αέρα τυχαίου μέσου είναι συνήθως σχεδιασμένοι για μετωπικές ταχύτητες από **0,5** έως **1,3 m/s** με μία πτώση πίεσης των **25Pa**. Τα εξατμιστικά πανιά που έχουν πάχος περίπου **50mm** τοποθετούνται σε ένα πλαίσιο με περσίδες κατασκευασμένο από βαμμένο γαλβανισμένο χάλυβα ή φορμαρισμένο πλαστικό. Οι αντλίες είναι θερμικά προστατευμένες. Η δεξαμενή ύδατος έχει σύνδεση συμπλήρωσης του νερού, φλοτέρ, σωλήνα υπερχειλίσης και αποστραγγιστική βαλβίδα. Οι παροχές ενσωματώνονται χαρακτηριστικά στο σχέδιο ώστε να εξαερώνεται το νερό και να αποτρέψουν τη συγκέντρωση των μεταλλικών στοιχείων, του ρύπου, αλλά και την μικροβιακή αύξηση.

Ο ανεμιστήρας είναι συνήθως ένας μπροστινός-καμπύλος, φυγοκεντρικός που συμπληρώνεται με τη μηχανή και το σύστημα για τη μετάδοση κίνησης. Η κίνηση των ιμάντων τύπου V μπορεί να περιλαμβάνει χειροκίνητα διευθετήσιμα γρανάζια μηχανής

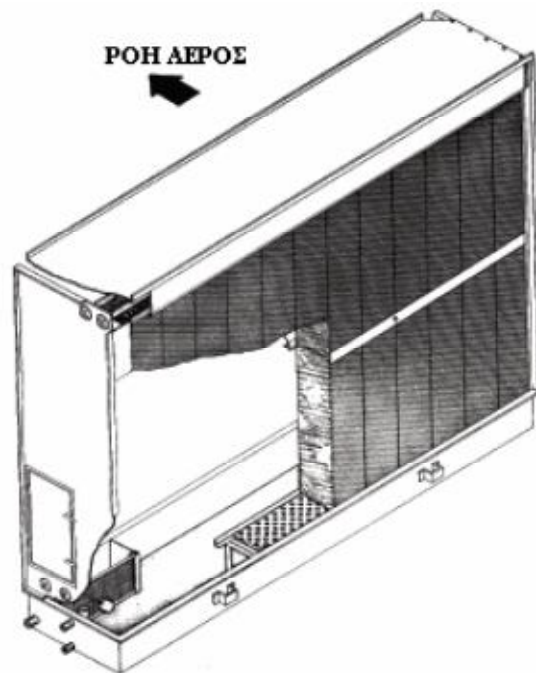
για να επιτρέπει στην ταχύτητα ανεμιστήρων να αυξάνεται για να χρησιμοποιεί την πλήρη μηχανική ικανότητα στην υψηλότερη αντίσταση ροής αέρος. Το κάλυμμα της μηχανής μπορεί να είναι αδιάβροχο, ολικά εσώκλειστο, ή ημιανοικτού τύπου συγκεκριμένα σχεδιασμένο για τους εξατμιστικούς ψύκτες.<sup>[6]</sup>

Στο παρακάτω *σχήμα 4* φαίνεται ένας τυπικός ψύκτης αέρα εξατμιζόμενου ύδατος.



Σχήμα 4: Τυπικός ψύκτης αέρα εξατμιζόμενου ύδατος

### 2.2.1.2: Ψύκτες αέρα άκαμπτου μέσου



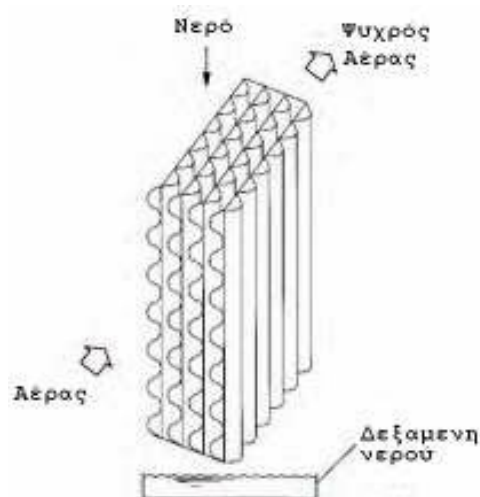
Σχήμα 5: Ψύκτες αέρα άκαμπτου μέσου

Συγκροτήματα πτυχωτού υλικού αποτελούν τη βρεγμένη επιφάνεια των άμεσων εξατμιστικών ψυκτών αέρος άκαμπτου-μέσου (σχήμα 5). Στα υλικά περιλαμβάνεται η κυτταρίνη, το πλαστικό, και ο υαλοβάμβακας που μπορεί να απορροφήσει το νερό και αντέχει στην διάβρωση. Το μέσο είναι πτυχωτό σταυρωτά για να μεγιστοποιεί τη μίξη του αέρα και του νερού. Στην κατεύθυνση της ροής του αέρος, το πάχος του μέσου είναι συνήθως **300mm**, αλλά μπορεί να είναι μεταξύ **100** και **600mm**. Το μέσο έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά της χαμηλής αντίστασης στη ροή αέρος, υψηλή αποτελεσματικότητα κορεσμού και είναι αυτοκαθαριζόμενο με την πλύση της προστινής επιφάνειάς του. Το άκαμπτο μέσο σχεδιάζεται συνήθως για μια μετωπική ταχύτητα **2** έως **3 m/s**.

Οι άμεσοι εξατμιστικοί ψύκτες αέρος που χρησιμοποιούν αυτό το υλικό φτιάχνονται για να χειρίζονται τουλάχιστον **280 m<sup>3</sup>/s** αέρα με ή χωρίς ανεμιστήρες. Η αποτελεσματικότητα κορεσμού ποικίλλει από **70** έως πάνω από **95%**, ανάλογα με το πάχος των μέσων και την ταχύτητα αέρα. Ο αέρας ρέει οριζόντια ενώ το νερό ανακυκλοφορίας ρέει κάθετα πάνω στις επιφάνειες του υλικού μέσω της βαρύτητας από τον διασκορπιστή νερού στο κάρτερ. Ο προσαγωγός μπορεί να συνδεθεί άμεσα με μια παροχή νερού ρυθμιζόμενης πίεσης π.χ. στους αεροστρόβιλους, ή μια αντλία μπορεί να ανακυκλοφορεί το νερό από μια χαμηλότερη δεξαμενή που κατασκευάζεται από αντιδιαβρωτικό υλικό. Στην δεξαμενή προσαρμόζονται ο υπερχειλιστής και οι συνδέσεις αγωγών. Το πάνω κάλυμμα του μέσου είναι από τον ενισχυμένο γαλβανισμένο χάλυβα ή άλλο αντιδιαβρωτικό μεταλλικό έλασμα ή από πλαστικό.

Οι φλάντζες στις επιφάνειες εισόδου και εξόδου επιτρέπουν στη μονάδα να συνδέεται με τον αγωγό. Στην ανακυκλοφορία των συστημάτων νερού, ένα φλοτέρ διατηρεί την κατάλληλη στάθμη νερού στη δεξαμενή, αναπληρώνει το νερό που έχει εξατμιστεί, και παρέχει φρέσκο νερό για αραίωση ώστε να αποτραπεί η μεγάλη συγκέντρωση των στερεών και των μεταλλικών στοιχείων. Επειδή το ποσοστό επανακυκλοφορίας νερού είναι χαμηλό και επειδή τα υψηλής πίεσης ακροφύσια δεν επαρκούν για να διαποτίσουν το μέσο, η δύναμη άντλησης είναι χαμηλή σε σχέση με τους καθαριστές αέρα ψεκασμού με ισοδύναμη την αποτελεσματικότητα εξατμιστικής ψύξης.<sup>[6]</sup>

### **2.3: Έμμεση εξατμιστική ψύξη**



**Έμμεσος εξατμιστικός ψύκτης**

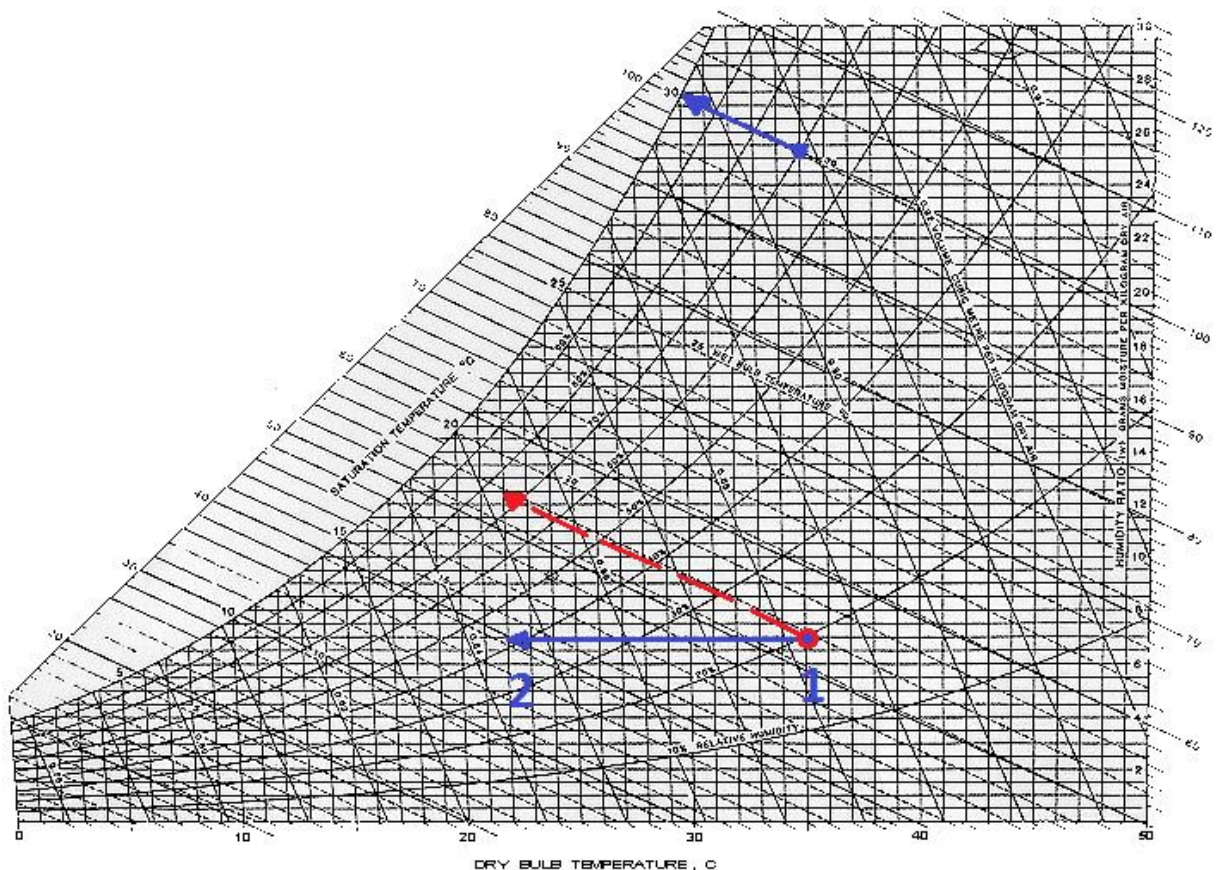
Η διαδικασία της έμμεσης εξατμιστικής ψύξης του αέρα εμπεριέχει δύο ρεύματα αέρος: ένα πρωτεύον ή παραγωγής και ένα δευτερεύον ή εργαζόμενο ρεύμα. Το νερό εξατμίζεται και αφαιρείται θερμότητα από το εργαζόμενο ρεύμα αέρος, ενώ δεν προστίθεται υγρασία στο ρεύμα παραγωγής. Μια μεμβράνη εναλλαγής θερμότητας βρίσκεται ανάμεσα στα δύο ρεύματα. Η ικανότητα της μεμβράνης να μεταφέρει θερμότητα και η παροχή του αέρα καθορίζουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Όσον αφορά την ψυχομετρία κατά την διαδικασία αυτή κινούμαστε οριζόντια προς τα αριστερά παράλληλα με τον άξονα της θερμοκρασίας ξηρής σφαίρας χωρίς να προστίθεται υγρασία όπως φαίνεται στο **σχήμα 6**. Θεωρητικά ο αέρας μπορεί να ψυχθεί στην ίδια θερμοκρασία υγρής σφαίρας όπως και στην άμεση εξατμιστική ψύξη.

Στην πράξη η αποτελεσματικότητα σ' αυτούς τους ψύκτες μπορεί να αγγίξει το 54% της θερμοκρασίας υγρής σφαίρας του εισερχόμενου αέρα. Εξαρτάται από τα γεωμετρικά όρια της κατασκευής.

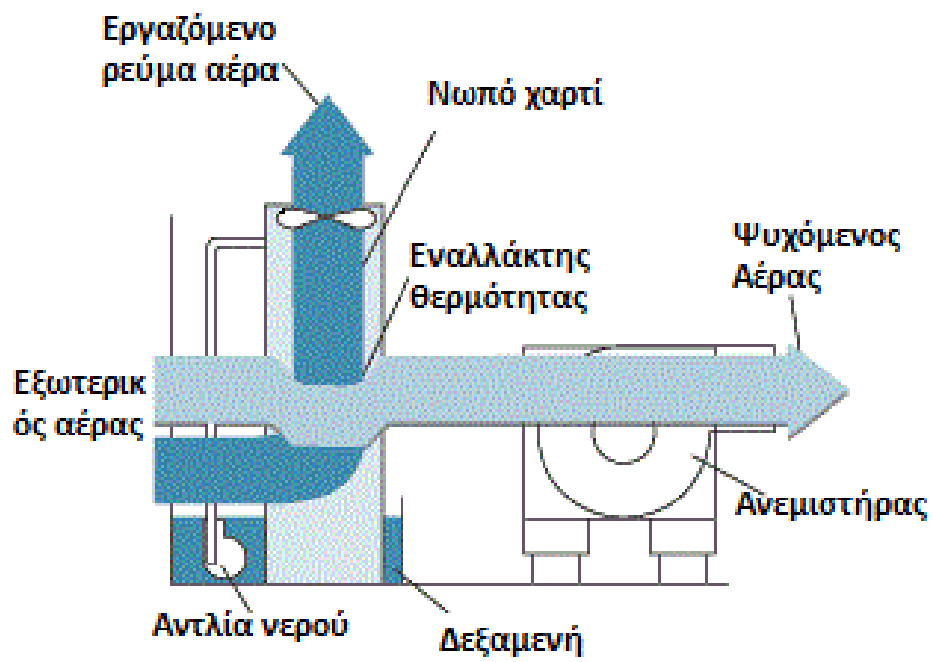
Η επίτευξη της θερμοκρασία υγρής σφαίρας είναι συχνά ο στόχος και των άμεσων και των έμμεσων τεχνολογιών εξατμιστικής ψύξης. Θεωρείται ως η χαμηλότερη θερμοκρασία που είναι εφικτή με θερμοδυναμικές διαδικασίες χωρίς την ανάγκη πρόσθετης ενέργειας.

Στο **σχήμα 7** παρακάτω φαίνεται μια τυπική ροή ενός έμμεσου εξατμιστικού ψύκτη. Αν εξετάσουμε τον ψύκτη κατά μήκος της μιας πλάκας παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας συμβαίνει εκεί που διασταυρώνονται η είσοδος του ξηρού καναλιού με την είσοδο του υγρού. Αυτό οφείλεται στο ότι ο εργαζόμενος αέρας του υγρού καναλιού έχει την χαμηλότερη θερμοκρασία υγρής σφαίρας, ενώ ο αέρας του ξηρού καναλιού έχει την υψηλότερη θερμοκρασία σ' αυτό το σημείο του εναλλάκτη. Η μεγαλύτερη ενθαλπία του εργαζόμενου αέρα που φεύγει από τον εναλλάκτη θα είναι εκεί που ο παραγόμενος αέρας του ξηρού καναλιού εισέρχεται και είναι θερμότερος. Ο εργαζόμενος αέρας φεύγει ενώ έχει φτάσει στην υψηλότερη θερμοκρασία και υγρασία του. Αυτό σημαίνει πως η ψύξη κατά μήκος της εισόδου των ξηρών καναλιών του παραγόμενου αέρα είναι η πιο αποτελεσματική σ' όλο τον εναλλάκτη θερμότητας.<sup>[6][16]</sup>



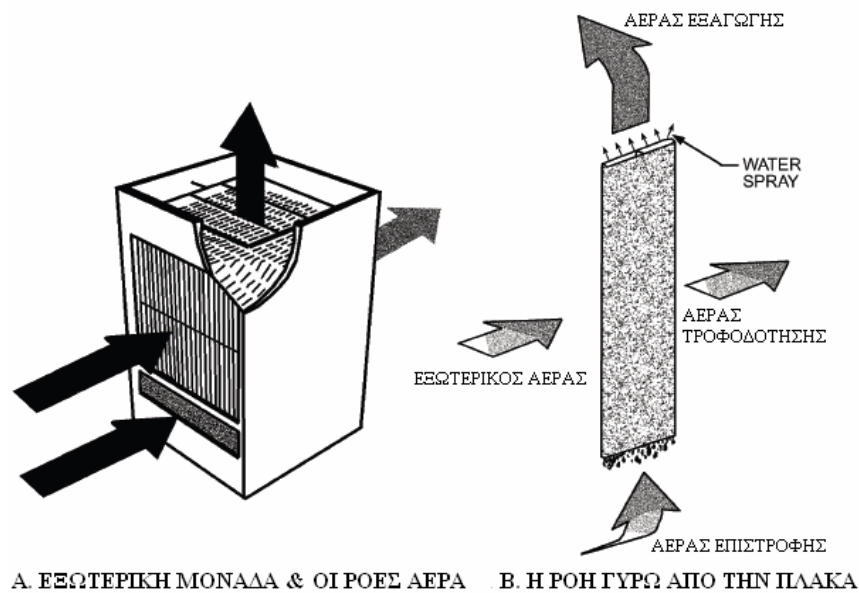
**Σχήμα 6: Μεταβολή έμμεσης εξατμιστικής ψύξης**





Σχήμα 7: Μια τυπική ροή ενός έμμεσου εξατμιστικού ψύκτη διασταυρούμενης ροής

### 2.3.1: Εξοπλισμός έμμεσων εξατμιστικών ψυκτών



#### 2.3.1.1: Συσκευασμένοι έμμεσοι εξατμιστικοί ψύκτες αέρα

Ένας έμμεσος εναλλάκτης θερμότητας εξατμιστικής ψύξης διακρίνεται στο **σχήμα 8**. Μ' αυτή τη διασταυρούμενη ροή, ο εναλλάκτης θερμότητας τύπου πλάκας χρησιμοποιεί μια υδραντλία επανακυκλοφορίας για να υγραίνει το εσωτερικό των σωλήνων εναλλάκτη. Είτε η επιστροφή αέρα του εσωτερικού χώρου είτε ο εξωτερικός αέρας μπορεί να κατευθυνθεί ανάμεσα στο εσωτερικό των σωλήνων από έναν δευτερεύον ανεμιστήρα αέρα. Ο εξωτερικός αέρας που εισάγεται στο κτήριο ψύχεται αισθητά από την εξωτερική επιφάνεια των σωλήνων, οι οποίοι ψύχονται από το νερό που εξατμίζεται στην εσωτερική επιφάνειά τους. Η λανθάνουσα ψύξη μπορεί επίσης να εμφανιστεί εάν η θερμοκρασία υγρού βολβού του δευτερεύοντος αέρα είναι κάτω από το σημείο δρόσου του εξωτερικού αέρα.

Αυτοί οι εναλλάκτες θερμότητας είναι ικανοί να προσεγγίσουν κατά **60** με **80%** τη θερμοκρασία ξηρού βολβού του περιβάλλοντος στη θερμοκρασία υγρού βολβού της δευτερεύουσας ροής αέρος που εισάγεται. Αυτό καλείται αποδοτικότητα υγρού-βολβού (WBDE → wet-bulb depression efficiency) και υπολογίζεται ως εξής:

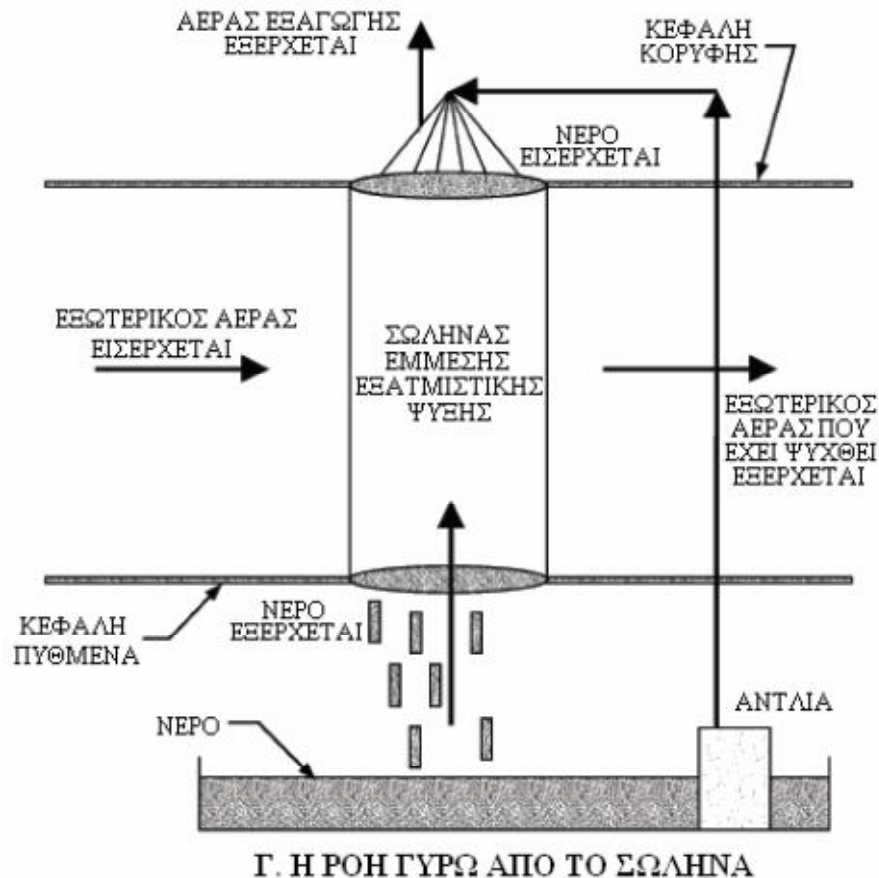
$$WBDE = 100 \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T'_S} \%$$

όπου  $T_1$  = θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του εισερχόμενου πρωτεύον αέρα (°C)

$T_2$  = θερμοκρασία ξηρής σφαίρας του εξερχόμενου πρωτεύον αέρα (°C)

$T_s$  = θερμοκρασία υγρής σφαίρας του εισερχόμενου δευτερεύον αέρα (°C)

Οι απώλειες στατικής πίεσης στην πλευρά του αέρα ανεφοδιασμού για αυτούς τους εναλλάκτες θερμότητας κυμαίνονται από **60** έως **185 Pa**, ενώ αντίστοιχα για την ροή αέρα στην υγρή πλευρά κυμαίνονται από **200** έως **225 Pa**. Οι παροχές της ροής αέρος επιλέγονται στο χαμηλό **0,5L/s** του εξωτερικού αέρα και σε **0,3L/s** της δευτερεύουσας ροής αέρος. Ο ρυθμός ενεργειακής αποδοτικότητας ψύξης για αυτόν τον τύπο σειράς εναλλακτών θερμότητας ποικίλει από **40** έως **80**.<sup>[6]</sup>



Σχήμα 8: Έμμεσος εναλλάκτης θερμότητας εξατμιστικής ψύξης

### 2.3.1.2: Ανάκτηση θερμότητας

Η έμμεση εξατμιστική ψύξη έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα συστήματα ανάκτησης θερμότητας, συμπεριλαμβανομένων των εναλλακτών θερμότητας με πλάκες, εναλλάκτες με σωλήνες θερμότητας, περιστροφικοί αναπαραγωγικοί εναλλάκτες θερμότητας και διφασικοί εναλλάκτες θερμοσιφωνικού βρόχου. Η έμμεση εξατμιστική ψύξη με ανάκτηση θερμότητας μπορεί να επανατοποθετηθεί στα υπάρχοντα

συστήματα, χαμηλώνοντας το λειτουργικό κόστος και τη μέγιστη ενεργειακή ζήτηση. Για νέες εγκαταστάσεις, ο εξοπλισμός μπορεί να περιοριστεί σε μέγεθος, χαμηλώνοντας το γενικό πρόγραμμα και τις λειτουργικές δαπάνες.

### **2.3.1.3: Πύργος ψύξης / συστήματα coil (περιελίξεων)**

Ο συνδυασμός ενός πύργου ψύξης ή άλλου εξατμιστικού ψύκτη ύδατος με έναν εναλλάκτη περιελίξεων θερμότητας νερού / αέρα και μια αντλία ανακυκλοφορίας του νερού είναι ένας άλλος τύπος έμμεσης εξατμιστικής ψύξης. Το νερό αντλείται από τη δεξαμενή του πύργου ψύξης στις περιελίξεις και επιστρέφει στην άνω κεφαλή διανομής του πύργου. Χρησιμοποιούνται και τα συστήματα ανοικτού-ύδατος και κλειστού βρόγχου.

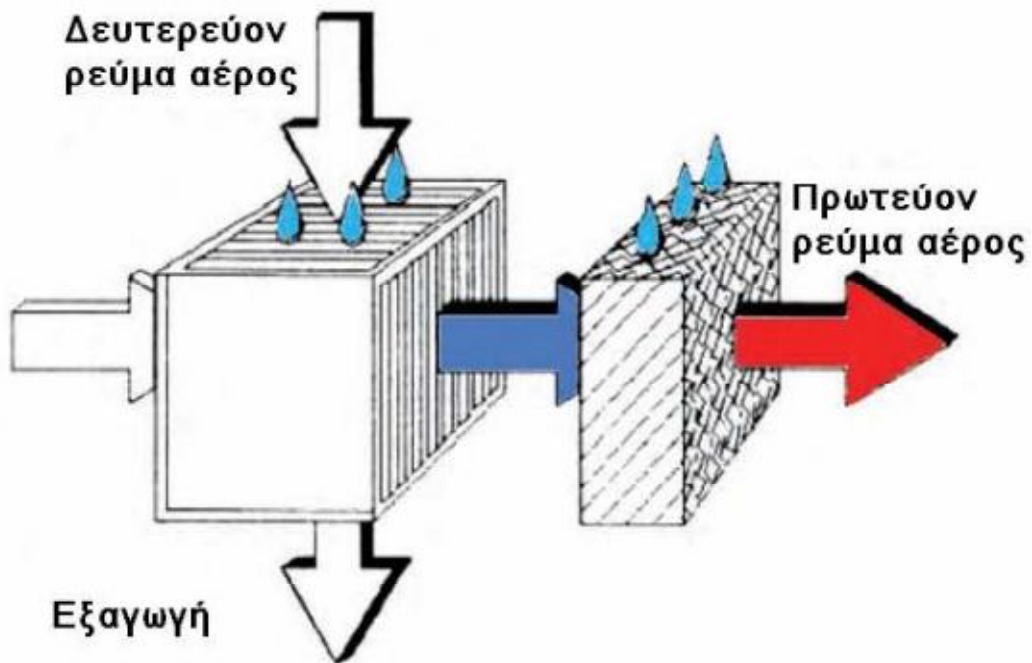
Το νερό επανακυκλοφορίας ψύχεται εξατμιστικά μέσα σε μερικούς βαθμούς της θερμοκρασίας υγρού βολβού καθώς ρέει πάνω στις βρεγμένες επιφάνειες του πύργου ψύξης. Καθώς το ψυχρό νερό ρέει μέσω των σωλήνων του coil παίρνει τη θερμότητα από το ρεύμα αέρος. Η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται και ο πρωτεύων αέρας ψύχεται χωρίς να προστίθεται υγρασία σ' αυτό.

Το νερό ψύχεται ξανά καθώς επανακυκλοφορεί από τον πύργο ψύξης. Ένα φλοτέρ ελέγχει την αναπλήρωση του φρέσκου νερού, το οποίο αντικαθιστά το εξατμισμένο νερό. Μία βαλβίδα αποτρέπει την υπερβολική συγκέντρωση των μεταλλικών στοιχείων στο επανακυκλοφορούμενο νερό.

Πλεονεκτήματα του πύργου ψύξης είναι ότι μπορεί να επανατοποθετηθεί σε μεγάλα οικιστικά συστήματα και να τοποθετηθεί μακριά από το coil ψύξης. Επίσης, ο πύργος είναι πιο προσβάσιμος για συντήρηση. Γενικά η αποτελεσματικότητα (WBDE) μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 55% και 75% ή λίγο ψηλότερα. Εάν ο αέρας επιστροφής στέλνεται στον πύργο ψύξης ενός έμμεσου συστήματος ψύξης, πριν εκκενωθεί, τότε και ο πύργος πρέπει να σχεδιαστεί συγκεκριμένα. Αυτοί οι ψύκτες υγραίνουν ένα μέσο που έχει υψηλή αναλογία υγρής επιφανείας ανά μονάδα όγκου. Η απόδοση εξαρτάται από το πάχος του μέσου, τη ταχύτητα αέρα πάνω από την επιφάνεια, τη ροή του νερού στην παροχή αέρα, τη θερμοκρασία υγρού βολβού και την ποικιλία ψυκτικών υγρών. Λόγω της κλειστής προσέγγισης της θερμοκρασίας νερού στη θερμοκρασία υγρού βολβού, η αποτελεσματικότητα μπορεί γενικότερα να είναι υψηλότερη από αυτή ενός συμβατικού πύργου ψύξης.

#### 2.4: Συνδυασμός Έμμεσης & Άμεσης εξατμιστικής ψύξης

Η έμμεση και άμεση εξατμιστική ψύξη μπορούν να συνδυαστούν σε δύο στάδια διαδικασίας ενός εξοπλισμού όπως φαίνεται στο παρακάτω **σχήμα 9**. Στα συστήματα αυτά το δευτερεύον ρεύμα αέρος ψύχει αισθητά το πρωτεύον στο πρώτο στάδιο της έμμεσης διαδικασίας. Κατόπιν ο αέρας ψύχεται άμεσα μέσω της εξάτμισης του νερού σε περαιτέρω χαμηλότερη θερμοκρασία (**σχήμα 10**). Ο πρωτεύον ή τροφοδοτούμενος αέρας μπορεί να εξέλθει με χαμηλότερη θερμοκρασία από την αρχική θερμοκρασία υγρής σφαίρας. Επίσης αυτή η διαδικασία μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε ένα ευρύτερο φάσμα κλιματικών συνθηκών σε σχέση με την άμεση εξατμιστική ψύξη, ενώ τα σχετικά ενεργειακά κόστη είναι χαμηλότερα από αυτά των συμβατικών κλιματιστικών συσκευών με συμπιεστή.

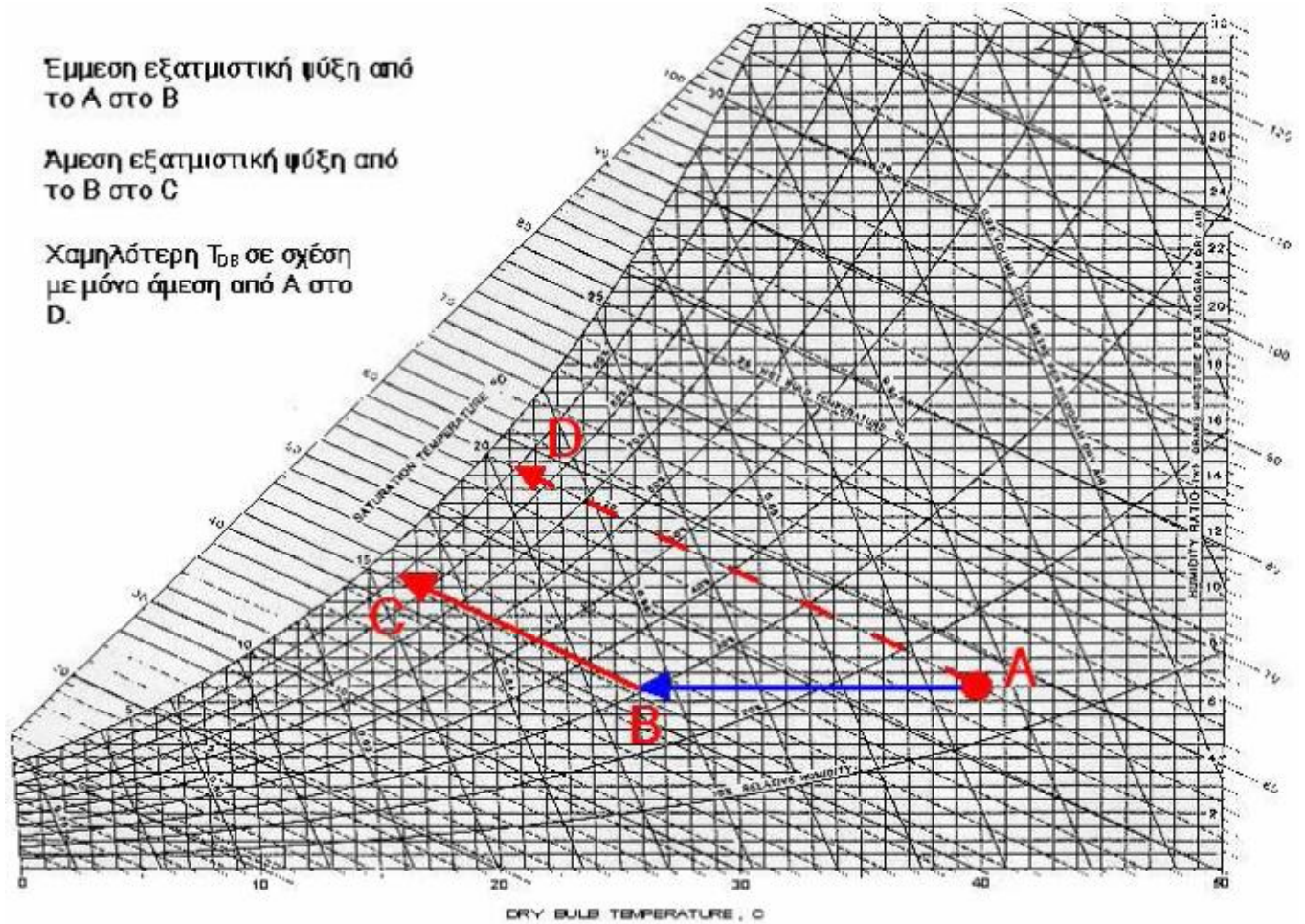


Σχήμα 9: Έμμεση και άμεση εξατμιστική ψύξη σε συνδυασμό

Εμμεση εξατμιστική ψύξη από το Α στο Β

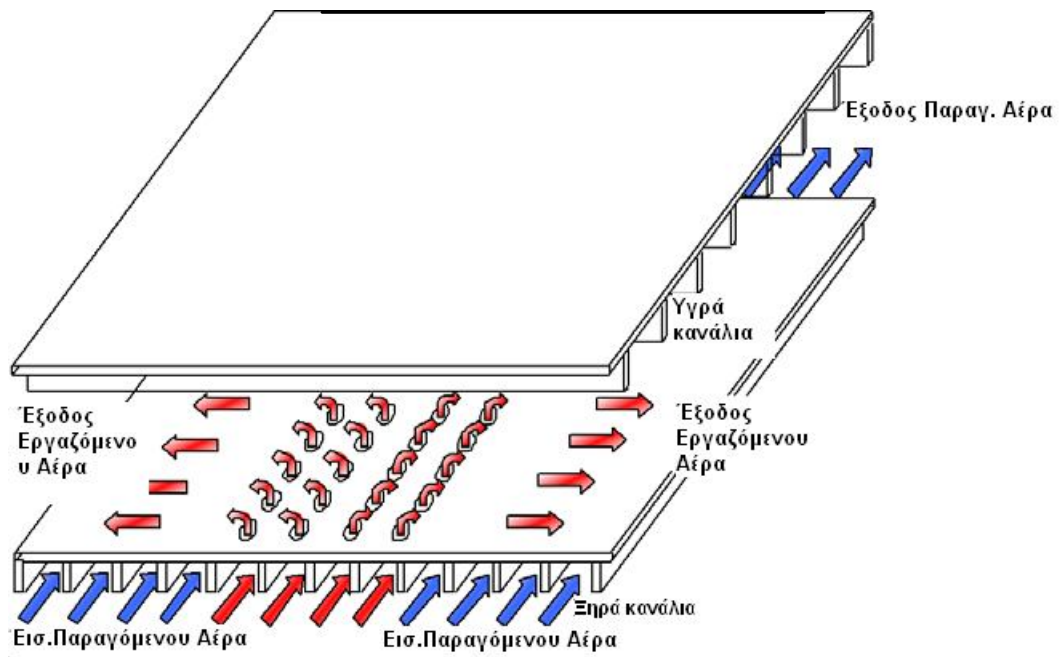
Άμεση εξατμιστική ψύξη από το Β στο C

Χαμηλότερη  $T_{DB}$  σε σχέση με μόνο άμεση από Α στο D.



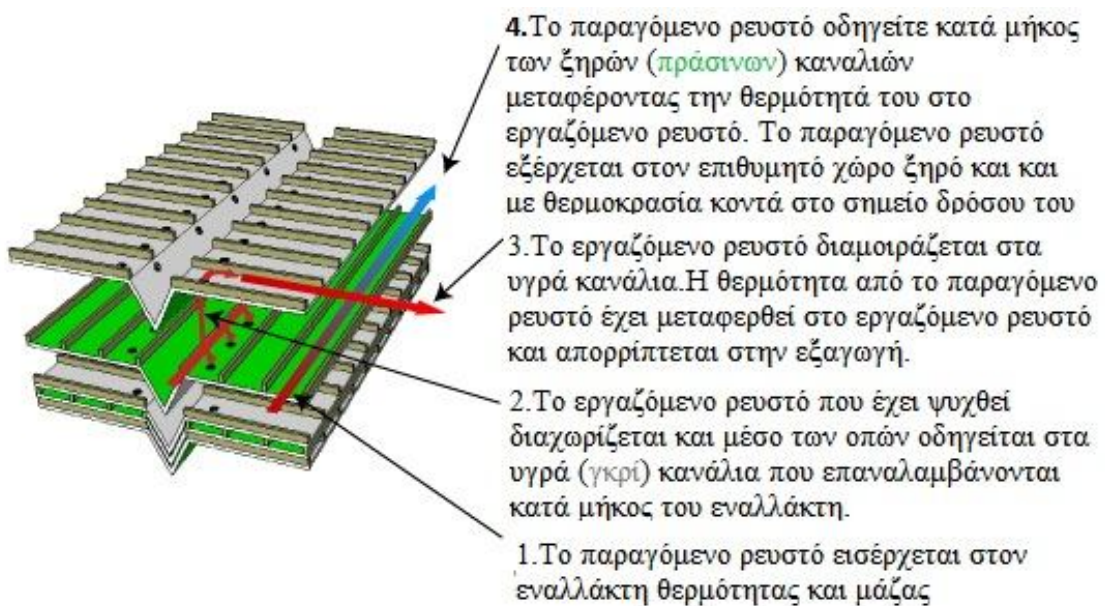
Σχήμα 10: Η μεταβολή στον ψυχομετρικό χάρτη

## 2.5: Ο κύκλος του Maisotsenko



Ο κύκλος του Maisotsenko χρησιμοποιεί την ίδια υγρή και ξηρή πλευρά της πλάκας όπως περιγράφονται στην έμμεση εξατμιστική ψύξη, αλλά με διαφορετική ροή του αέρα δημιουργώντας ένα νέο θερμοδυναμικό κύκλο. Αυτός ο κύκλος επιτρέπει στον αέρα παραγωγής να ψύχεται κάτω από τη θερμοκρασία υγρής σφαίρας και κοντά στην θερμοκρασία του σημείου δρόσου του εργαζόμενου αέρα. Επίσης δεν προστίθεται καθόλου υγρασία στον παραγόμενο αέρα.

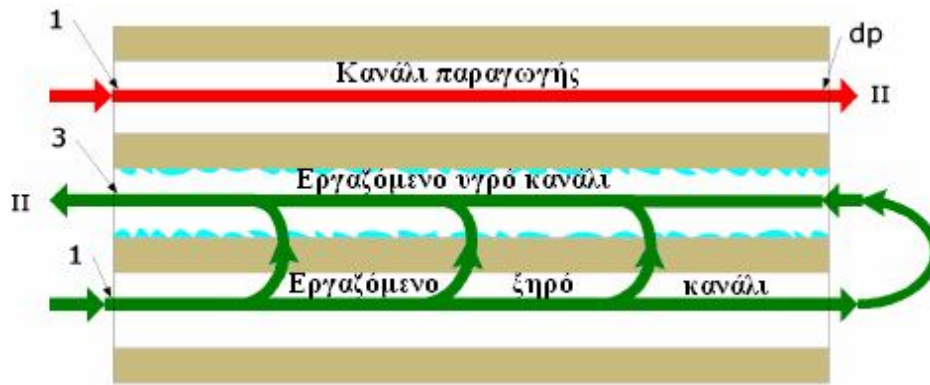
Στο παρακάτω *σχήμα 1* διακρίνεται ένας θεωρητικός διάτρητος και εγκάρσιος εναλλάκτης θερμότητας και μάζας στον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ο κύκλος του Maisotsenko μαζί με τα στάδια λειτουργίας του.<sup>[3]</sup>



**Σχήμα 1 : Θεωρητικός εναλλάκτης θερμότητας και μάζας στον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ο κύκλος του Maisotsenko μαζί με τα στάδια λειτουργίας του.**

Στο επόμενο *σχήμα 2* φαίνεται ένα δισδιάστατο και απλοποιημένο διάγραμμα του κύκλου του Maisotsenko στο οποίο δείχνει πως ο αέρας ψύχεται από τη συνεχόμενη απόρριψη θερμότητας που ακολουθείται από επιπρόσθετη ψύξη.



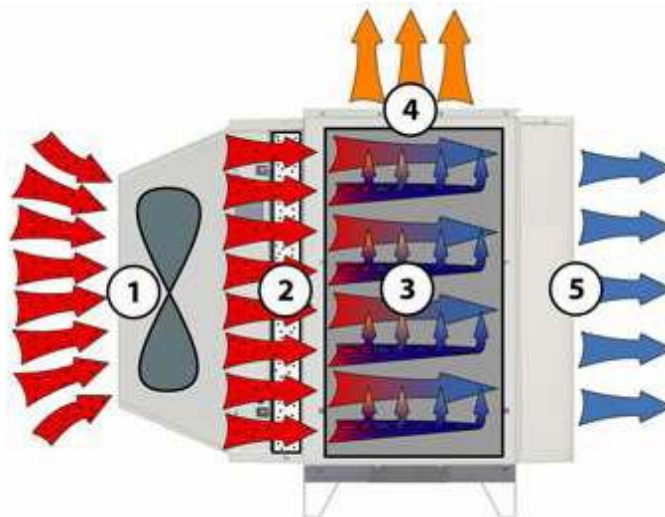


Σχήμα 2: Δισδιάστατο διάγραμμα του κύκλου του Maisotsenko

Ο εναλλάκτης θερμότητας και μάζας αποδίδει τον ψυχόμενο αέρα σε μερικούς βαθμούς κάτω από την θερμοκρασία υγρής σφαίρας του αέρα χωρίς να προσδίδει υγρασία σ' αυτόν. Αυτός ο ψύκτης ατμοσφαιρικού αέρα είναι κατασκευασμένος από ίνες κυτταρίνης με ζεστό λειωμένο πολυαιθυλένιο για κανάλια καθοδήγησης. Σε ανεξάρτητους εργαστηριακούς έλεγχους επιτεύχθηκε αποτελεσματικότητα 110% έως 122% της θερμοκρασίας υγρής σφαίρας και 55% έως 85% της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου.<sup>[4]</sup>

### 2.5.1: Λειτουργία κλιματισμού με χρήση του κύκλου Maisotsenko

Στο παρακάτω **σχήμα 3** φαίνεται μια πραγματική κλιματιστική μονάδα που χρησιμοποιεί τον κύκλο του Maisotsenko στην οποία είναι σημειωμένα η ροή του αέρα και τα στάδια λειτουργίας.



Σχήμα 3: Μονάδα που υλοποιεί τον κύκλο του Maisotsenko

1. **“Φρέσκος” αέρας** – Ο εξωτερικός αέρας οδηγείται μέσα στην μονάδα μέσω ενός ανεμιστήρα.
2. **Φιλτράρισμα** – Ο αέρας φιλτράρεται στο φίλτρο πάχους περίπου 5cm.
3. **Εναλλάκτης θερμότητας και μάζας** – Ο αέρας εισάγεται στον εναλλάκτη που χρησιμοποιεί την τεχνολογία του κύκλου του Maisotsenko.
4. **Εργαζόμενος αέρας και νερό** – Ο μισός αέρας, από τον εισερχόμενο στον εναλλάκτη, γίνεται κορεσμένος με νερό και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μεταφέροντας την θερμότητα που αφαιρείται από τον ψυχόμενο αέρα.
5. **Ψυχόμενος αέρας** – Το υπόλοιπο μισό του εισερχόμενου αέρα ψύχεται χωρίς να του προστίθεται καθόλου υγρασία. Ο κλιματιζόμενος αυτός αέρας οδηγείται μέσω αγωγού στο κτίριο.

Οι πρότυπες μονάδες κάποιας κατασκευάστριας εταιρίας είναι διαθέσιμες είτε με κινητήρα μιας ταχύτητας που καταναλώνει **1.200 Watt** είτε με ηλεκτρονικά μεταγωγικό κινητήρα (ECM) που δεν καταναλώνει πάνω από **750 Watt**. Ένα συγκρίσιμο κλιματιστικό υψηλής απόδοσης καταναλώνει **6.000-7.000 Watt**. Οπότε το ποσοστό μείωσης της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου **85%**. Έτσι οι κλιματιστικές μονάδες αυτές μπορούν να μειώσουν δραματικά την αιχμή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τιμές των μονάδων αυτών για λιανική πώληση φτάνουν τα **3.500€** για τον βασικό κινητήρα και **4.000 €** για την ECM.

Οι μονάδες μεταφέρουν στον εσωτερικό χώρο μόνο **700 l / s** κλιματιζόμενου αέρα. Λειτουργούν άψογα σε κατοικίες αν είναι εγκατεστημένες σωστά, ενώ ταιριάζουν ακόμα καλύτερα σε μικρά και ελαφρά εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια. Οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν μεγάλους και ανοικτούς χώρους, έτσι δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη πολλών σωληνώσεων και απαιτούν μεγάλες ποσότητες εξωτερικού αέρα για εξαερισμό. Επειδή εξαρτώνται από τον ξηρό αέρα, οι εξατμιστικοί ψύκτες γενικά λειτουργούν πιο αποτελεσματικά με τον εξωτερικό αέρα απ’ ότι με ανακυκλοφορούμενο.

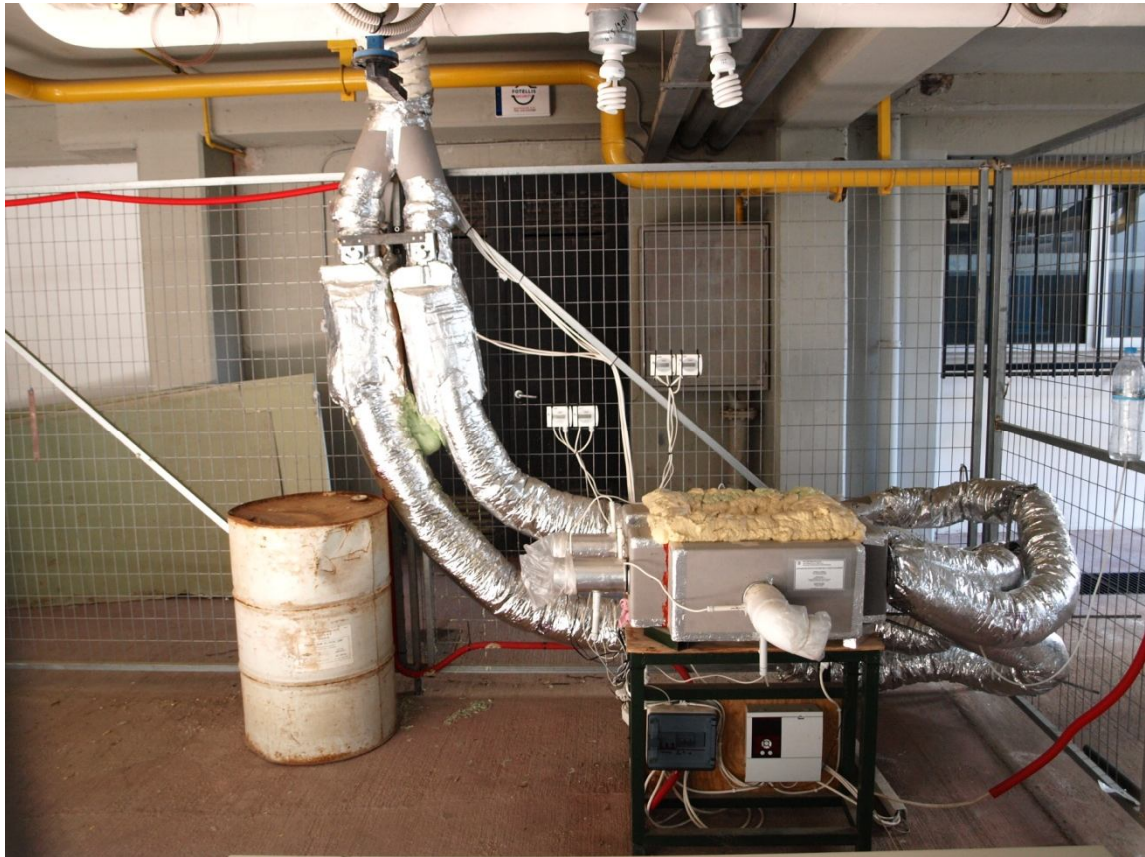
Ένα μειονέκτημα αυτής της έμμεσης εξατμιστικής ψύξης είναι η ποσότητα του νερού που χρειάζεται. Η μονάδα της δεν διαθέτει δεξαμενή αποθήκευσης νερού, αλλά χρειάζεται μέχρι **45 λίτρα ανά ώρα** νερό, ή **2,5 l / kWh** ενώ περισσότερο απαιτείται από εξατμιστικούς πύργους ψύξης για μεγαλύτερης κλίμακας συστήματα.

Η μονάδα αυτή 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 πηνίο ψύξης ή με άλλα μέσα. Στην πραγματικότητα, η μονάδα αυτή μπορεί να συνδυαστεί με άλλο

30 εξοπλισμό ψύξης με διάφορους τρόπους για να ενισχύσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα του όλου συστήματος. Για παράδειγμα, νοσοκομείο της Ιαπωνία χρησιμοποιεί μια σειρά από τέτοιες μονάδες μαζί με ξηραντικό σύστημα ψύξης για να επιτευχθεί **50%** εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με τα συμβατικά κλιματιστικά.<sup>[7]</sup>



### 3.1: Πειραματική διάταξη



#### 3.1.1: Σύντομη εισαγωγή

Λέγεται, ότι το μόνο πείραμα που δεν έγινε κάτι λάθος ή να πάει κάτι στραβά είναι αυτό που δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ! Στην παρούσα πειραματική διάταξη έγιναν διάφορες μετατροπές και τροποποιήσεις, για να ξεπεραστούν οι διάφορες δυσκολίες που προέκυπταν κατά την διαδικασία του στησίματος της ψυκτικής μονάδας, για να φτάσει στην παρούσα μορφή της. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά και με λεπτομέρεια η διαδικασία, τα υλικά και εξαρτήματα, καθώς επίσης και οι διάφορες ευρηματικές ιδέες (πατέντες) που συντέλεσαν στην εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

### **3.1.2: Σύστημα εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα**

Για την εισαγωγή του ατμοσφαιρικού αέρα προς τον πειραματικό εναλλάκτη coolerado, χρησιμοποιήθηκε εύκαμπτος αεραγωγός διαμέτρου  $\varnothing 200$  mm(χιλιοστών) και μήκους 10 m (μέτρων), με εσωτερική μόνωση από υαλοβάμβακα. Η επιλογή του συγκεκριμένου αεραγωγού με αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά έγινε για τους εξής λόγους: Ο εύκαμπτος κορμός του παρείχε μεγάλη ευκολία στην τοποθέτησή του, καθότι στο ταβάνι του χώρου της διάταξης, όπου τοποθετήθηκε ο αεραγωγός, διαπερνούν διάφοροι σωλήνες από τα γύρω εργαστήρια και κτίρια. Επίσης, το μήκος του ήταν τέτοιο ώστε να υπάρχει επαρκής απόσταση της εισαγωγής από την εξαγωγή του εναλλάκτη, από την οποία εξέρχεται αέρας με ποσοστά υγρασίας κοντά στο 85%, για να αποφευχθεί οποιαδήποτε εισαγωγή υγρασίας στην εισαγωγή και να επηρεαστούν έτσι οι μετρήσεις. Η μόνωση από υαλοβάμβακα επιλέχθηκε έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές απώλειες από τον αεραγωγό και να επιτευχθούν, όσο το δυνατόν, πιο σταθερές συνθήκες, ήταν σκόπιμη δηλαδή η μη θερμική συναλλαγή με το περιβάλλον. Στην είσοδο του αεραγωγού τοποθετήθηκε σήτα, με οπές μικρής διαμέτρου περίπου ενός χιλιοστού, με σκοπό να παρεμποδιστούν τυχόν έντομα ή πουλιά να εισχωρήσουν στην διάταξη. Η σήτα, η οποία κόπηκε σε σχήμα παραλληλόγραμμου, τυλίχθηκε γύρω από τον αεραγωγό και κολλήθηκε με αλουμινοταινία. Στο κομμάτι της σήτας που κρέμεται και για να σφραγιστεί η είσοδος, τοποθετήθηκαν σιδεράκια με συρραπτικό. Ο λόγος για τον οποίο η σήτα δεν τοποθετήθηκε ακριβώς πάνω στην διατομή του αεραγωγού αλλά αφέθηκε σκόπιμα να κρέμεται, είναι για αποφευχθεί κάποιο μελλοντικό βούλωμα των οπών της και μην μπορεί να εισχωρήσει αέρας στην διάταξη. Από τον αεραγωγό σκόπιμα αφαιρέθηκε περιμετρικά, στο σημείο της εισόδου που κολλήθηκε η σήτα, τμήμα του και αφέθηκε μόνο ο μεταλλικός σκελετός του για να κρατά την σήτα ανοιχτή ώστε να είναι ευκολότερο για τον αέρα να εισχωρήσει στην διάταξη.



***1.Εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα***

Η εισαγωγή του αέρα στην διάταξη γίνεται με την βοήθεια ενός ηλεκτρικού ανεμιστήρα (εικόνα 2), διαμέτρου  $\varnothing 200$  mm, 60 watt, τύπου TD-800 της εταιρείας Fantech. Ο συγκεκριμένος ανεμιστήρας είναι δύο ταχυτήτων και η παροχή ρεύματος γίνεται με πολύκλωνο καλώδιο 3x1,5. Η επιλογή της ταχύτητας του ανεμιστήρα γίνεται με διακοπτάκι δύο θέσεων το οποίο είναι προσαρμοσμένο πάνω στον ηλεκτρικό πίνακα της μονάδας, για τον οποίο θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στην συνέχεια. Ο ανεμιστήρας είναι στηριγμένος πάνω σε μεταλλικές ράγες, με τη βοήθεια κατάλληλων βιδών, σε ύψος περίπου δύομισή μέτρων από το έδαφος. Οι ράγες, με την σειρά τους, είναι στερεωμένες πάνω σε γειτονικούς σωλήνες νερού από την μια μεριά και από την άλλη πάνω σε μεταλλική γέφυρα η οποία χρησιμοποιείται για την στήριξη καλωδίων (εικόνα 3). Ο αεραγωγός προσαρτήθηκε πάνω στον ανεμιστήρα με την βοήθεια σφικτήρων (κολιέδων) και οι ενώσεις καλύφθηκαν με αλουμινοταινία για την αποφυγή τυχών απωλειών.



**2. Ηλεκτρικός ανεμιστήρας απορρόφησης αέρα**



### *3.Στήριξη εύκαμπτου αεραγωγού*

Πριν τον ανεμιστήρα είναι τοποθετημένα δύο μετρητικά όργανα (εικόνα 4), για την μέτρηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Το μετρητικό όργανο της υγρασίας είναι τύπου SAU2 της εταιρείας SACET S.r.l. Η εμβέλεια λειτουργίας του οργάνου είναι από 5 έως 95 % υγρασία. Το μετρητικό όργανο της θερμοκρασίας είναι τύπου AKO-14901 της εταιρείας AKO, όπου έρχεται μαζί με το καταγραφικό της υγρασίας-θερμοκρασίας της ίδιας εταιρείας, στο οποίο θα αναφερθούμε στην συνέχεια του παρόντος. Το μετρητικό της θερμοκρασίας έχει εμβέλεια λειτουργίας από -50 έως +100 °C . Τα μετρητικά τοποθετήθηκαν μέσα στον εύκαμπτο αεραγωγό και στην συνέχεια συγκρατήθηκαν εξωτερικά με την βοήθεια πλαστικών σφικτήρων tire-up . Αμφότερα, συνδέονται με το καταγραφικό με ένα καλώδιο 4x1. Τα μετρητικά τοποθετήθηκαν σε τέτοια θέση μέσα στον αεραγωγό, έτσι ώστε να υπάρχει επαρκή απόσταση από την αντίσταση, που ακολουθεί τον ανεμιστήρα, για να μην επηρεαστούν οι μετρήσεις.





#### ***4.Μετρητικά υγρασίας και θερμοκρασίας***

Η αντίσταση που ακολουθεί τον ανεμιστήρα είναι ονομαστικής ισχύος 1 kw. Τοποθετήθηκε με σκοπό την αύξηση της θερμοκρασίας για την εξέταση διάφορων συνθηκών λειτουργίας του εναλλάκτη. Η αντίσταση είναι προσαρτημένη κεντρικά μέσα σε κυλινδρικό πλαίσιο από γαλβανισμένη λαμαρίνα διαμέτρου  $\varnothing 200$  mm. Έχει συνδεθεί με τον ηλεκτρικό πίνακα του εναλλάκτη μέσω ενός καλωδίου 3x1,5. Η ένωση του πλαισίου της αντίστασης με τον αεραγωγό έχει γίνει με μεταλλικούς σφιγκτήρες και αλουμινοταινία.

Η αντίσταση όπως και ο ανεμιστήρας έχουν γειωθεί για λόγους ασφαλείας. Όλα τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν για τα μετρητικά, τον ανεμιστήρα και την αντίσταση φεύγουν διαμέσου ενός πλαστικού σκληρού σωλήνα διαμέτρου 4 cm (εικόνα 5), ο οποίος είναι στερεωμένος στην οροφή του χώρου της διατάξεως. Επίσης χρησιμεύει ως στήριγμα και οδηγός αμβλείας γωνίας του αεραγωγού (εικόνα 6), εκεί όπου ο αεραγωγός αφήνει την οροφή και κατευθύνεται στο πλέγμα που περιβάλλει τον χώρο της διάταξης. Ο αεραγωγός συγκρατήθηκε πάνω στον σωλήνα με χρήση χαρτοταινίας.



*5. Πλαστικός σωλήνας-στήριγμα*



*6. Αμβλεία γωνία αεραγωγού*

### **3.1.3: Σύστημα διακλάδωσης ρεύματος εργαζόμενο-ψυχόμενο (working-product)**

Το όλο σύστημα διακλάδωσης είναι προσαρτημένο πάνω στο περιμετρικό μεταλλικό πλέγμα που περιβάλλει τον χώρο της διάταξης και είχε τοποθετηθεί εξ αρχής για την φύλαξη του χώρου αυτού (εικόνα 7). Η τοποθέτηση του όλου συστήματος πάνω στο πλέγμα έλυσε πολλά προβλήματα στήριξης, αφού περεταίρω στηρίγματα θα έκαναν πολυπλοκότερη την όλη κατασκευή και πιο δαπανηρή. Επίσης, η μεγάλη επιφάνεια του πλέγματος βοήθησε κατά πολύ στην άνετη τοποθέτηση των αεραγωγών και των μετρητικών κάνοντας την όλη διάταξη πιο εργονομική.



**7. Σύστημα διακλάδωσης ρεύματος εργαζόμενο-ψυχόμενο**

Ο πρώτος, λοιπόν, διαχωριστής του ρεύματος του αέρα (εικόνα 8) έχει τοποθετηθεί πάνω στον σκελετό του πλέγματος με την βοήθεια μεταλλικού σφικτήρα. Ο διαχωριστής είναι τύπου παντελόνι, για να εξασφαλιστεί ο ομαλός διαχωρισμός του ρεύματος αέρα σε δύο ρεύματα πλέον, ένα εργαζόμενο (working) και ένα ψυχόμενο ή παραγόμενο (product). Αυτό είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα, που

στην συνέχεια του δόθηκε η τελική μορφή του. Για τον λόγο ότι οι ενώσεις του ελάσματος έγιναν με ηλεκτροπόντες, δημιουργήθηκαν μικρές πτυχές στις ενώσεις, από τις οποίες διέφευγε ένα μικρό ποσοστό του αέρα. Σκόπιμο κρίθηκε επομένως, οι πτυχές αυτές να καλυφτούν με ειδική σιλικόνη, η οποία παρουσιάζει αντοχή στην υψηλή θερμοκρασία. Όταν η αντίσταση είναι αναμμένη παραδίδει ζεστό αέρα στο παντελόνι, αλλά επίσης, λίγο πιο κάτω είναι τοποθετημένες στις δυο εξόδους του ακόμα δύο αντιστάσεις, 1 kw η κάθε μία. Επομένως μια σιλικόνη με θερμική αντοχή ήταν απαραίτητη. Στην είσοδό του, το παντελόνι έχει διάμετρο  $\varnothing 200$  mm και στις δύο εξόδους μικραίνει η διατομή σε  $\varnothing 150$  mm. Περιμετρικά της επιφάνειας του παντελονιού έχει τοποθετηθεί, για λόγους θερμικής μονώσεως, ένα σχετικά λεπτό στρώμα αφρώδους πλαστικού, ενώ στα άκρα του έχει αφηθεί γυμνό για να προσαρμοστεί επάνω του ο εύκαμπτος αεραγωγός. Όλες οι ενώσεις του παντελονιού με τον αεραγωγό έγιναν με μεταλλικούς σφιγκτήρες και αλουμινοταινία.



#### **8. Διαχωριστής-παντελόνι *WORKING-PRODUCT***

Ακριβώς κάτω από το παντελόνι βρίσκεται το πρώτο από τα δύο συστήματα ρύθμισης της παροχής του αέρα ή διαφορετικά dampers (εικόνα 9). Τα dampers κατασκευάστηκαν από γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο  $\varnothing 150$  mm. Στο κέντρο του κάθε damper, τοποθετημένη εγκάρσια, είναι μια τετράγωνη ράβδος που πάνω της έχει κολληθεί ένα στρογγυλό έλασμα διαμέτρου λίγο μικρότερη από των  $\varnothing 150$  mm, ώστε να

μπορεί να κινείται ελεύθερα, αλλά ταυτόχρονα όταν κλείνει να μην επιτρέπει στο αέρα να περνάει. Εξωτερικά του damper, πάνω στην τετράγωνη ράβδο είναι τοποθετημένος ένας μοχλός ο οποίος περιστρέφει την ράβδο και εσωτερικά μετακινεί το στρογγυλό έλασμα, το οποίο με την σειρά του κλείνει ή ανοίγει την δίοδο στον αέρα. Για την εξασφάλιση της σταθερής παροχής έχει τοποθετηθεί πάνω στον χειρομοχλό μια βίδα που παίζει τον ρόλο του φρένου ώστε να μην μετακινείται ελεύθερα ο μοχλός. Στην συνέχεια τα dampers, με την βοήθεια πριτσινιών, συγκρατήθηκαν πάνω σε μια μεταλλική βάση σχήματος T και έπειτα στερεώθηκε το όλο σύστημα πάνω στο σκελετό του πλέγματος με την βοήθεια περαστών κοχλιών και περικοχλιών. Τα dampers συνδέθηκαν με το παντελόνι με εύκαμπτο αεραγωγό διαμέτρου  $\text{\O}150\text{ mm}$ , ο οποίος συγκρατήθηκε με μεταλλικούς σφιγκτήρες και αλουμινοταινία.



### ***9. Dampers (ρυθμιστές παροχής αέρα)***

Τα dampers ακολουθούν οι δύο αντιστάσεις ονομαστικής ισχύος 1 kw, μια για το κάθε ρεύμα (εικόνα 10). Οι αντιστάσεις είναι κατασκευασμένες με τον ίδιο τρόπο όπως και η προηγούμενη αλλά με διάμετρο  $\text{\O}150\text{ mm}$ . Για την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, οι αντιστάσεις επικαλύφθηκαν με αφρό πολυουρεθάνης και γύρω του τοποθετήθηκε χαρτόνι για την μορφοποίηση του. Οι αντιστάσεις έχουν συνδεθεί με τον ηλεκτρικό πίνακα του εναλλάκτη με καλώδιο 3x1,5 η κάθε μια και έχουν γειωθεί για λόγους ασφαλείας. Την κάθε αντίσταση ακολουθεί εύκαμπτος αεραγωγός διαμέτρου

Ø150 mm , οποίος συγκρατήθηκε με μεταλλικούς σφιγκτήρες και αλουμινοταινία (εικόνα 11). Ο αεραγωγός στο σημείο αυτό στρίβει από την κάθετη θέση, οριζόντια με κατεύθυνση προς τα δεξιά προς το εναλλάκτη. Η αλλαγή αυτή της κατεύθυνσης έγινε όσο το δυνατόν ομαλότερα και με μεγάλη γωνία, για να εξομαλυνθούν τυχόν εσωτερικές τύρβες, που θα επηρέαζαν την λήψη των μετρήσεων.



*10. Αντιστάσεις 1kw*



*11. Διάταξη αεραγωγών working-product*

Αφού ο κάθε αεραγωγός από τα δύο ρεύματα αέρα working και product έχει φτάσει πλήρως σε παράλληλη θέση σε σχέση με το έδαφος, τότε από εκεί γίνεται ο τελευταίος διαχωρισμός του κάθε ρεύματος ξεχωριστά, με δύο νέα μικρότερα παντελόνια (εικόνα 12). Το κάθε παντελόνι, με διάμετρο στην είσοδο  $\text{\O}150\text{ mm}$  και  $\text{\O}100\text{ mm}$  στις δύο εξόδους, διαχωρίζει τα ρεύματα working και product σε δύο νέα μικρότερα ρεύματα, τα οποία καταλήγουν στην αριστερή και δεξιά μεριά του εναλλάκτη. Έχουμε δηλαδή δύο μικρότερα ρεύματα, ένα εργαζόμενο και ένα ψυχόμενο, για την αριστερή μεριά και αντίστοιχα άλλα δυο για την δεξιά. Τα παντελόνια είναι κατασκευασμένα όπως και το προηγούμενο, από γαλβανισμένη λαμαρίνα και με εξωτερική μόνωση από ειδικό υλικό. Επίσης σφραγίστηκαν τα διάφορα διάκενα στις ενώσεις τους με σιλικόνη. Ακόμα, στερεώθηκαν πάνω στο περιμετρικό πλέγμα της διατάξεως με μεταλλικούς σφιγκτήρες. Στις εξόδους τους και πλέον μέχρι τον εναλλάκτη χρησιμοποιείται εύκαμπτος αεραγωγός διαμέτρου  $\text{\O}100\text{ mm}$ .



### ***12. Διαχωριστές-παντελόνια***

Επάνω στο κάθε παντελόνι είναι τοποθετημένα ένα μετρητικό όργανο υγρασίας SAU2 (εικόνα 13) και ένα μετρητικό όργανο θερμοκρασίας, ίδια με αυτά που αναφερθήκαν παραπάνω. Τα μετρητικά εκχωρήθηκαν κάθετα μέσα στο παντελόνι, διαμέσου οπών που έγιναν με την βοήθεια ηλεκτρικού τρυπανιού. Έπειτα, τα διάκενα στο σημείο επαφής

τους σφραγιστήκαν με πιστόλι θερμικής σιλικόνης. Έτσι, μετρείται η υγρασία και θερμοκρασία του κάθε ρεύματος (working-product) ξεχωριστά.



### *13. Μετρητικό όργανο υγρασίας*

Προκειμένου να παραμετροποιηθεί περαιτέρω η διάταξη, στα δυο υπορρέυματα του product που καταλήγουν στον εναλλάκτη, τοποθετήθηκαν στη μέση της διαδρομής δύο dampers (εικόνα 14), παρόμοια με αυτά που προαναφέρθηκαν, αλλά διαφορετικής διαμέτρου,  $\varnothing 100$  mm και με διαφορετικό τρόπο στήριξης. Αφού ενώθηκαν ,σε παράλληλη διάταξη μεταξύ τους, με ένα κομμάτι λαμαρίνας το οποίο συγκρατήθηκε με πριτσίνια, στερεώθηκε επάνω στο πλέγμα της διάταξης με την χρήση μεταλλικών σφιγκτήρων. Επίσης με χρήση μεταλλικών σφιγκτήρων στερεώθηκαν πάνω στις εισαγωγές του εναλλάκτη οι αεραγωγοί των τεσσάρων υπορρευμάτων. Για την καλύτερη τοποθέτηση και σταθερότητά τους, τόσο των δύο τελευταίων dampers όσο και των δύο τελευταίων παντελονιών, τοποθετήθηκε μεταξύ πλέγματος και κατασκευής σπογγώδες πλαστικό υλικό.





*14. Dampers-ροθμιστές παροχής αέρα*

#### **3.1.4: Εναλλάκτης (ηλεκτρικός πίνακας-καταγραφικό-εναλλάκτης Maisotsenko)**

Η παροχή ρεύματος στην όλη διάταξη γίνεται διαμέσου του ηλεκτρικού πίνακα (εικόνα 15). Ο πίνακας αποτελείται από 4 ασφάλειες, ένα γενικό και άλλες τρεις, μια για την κάθε αντίσταση. Ο γενικός όταν τεθεί στην θέση ON, παρέχει ρεύμα στον ανεμιστήρα, στα μετρητικά, στο καταγραφικό και σε δύο βοηθητικές πρίζες για τις διάφορες ανάγκες σε ρεύμα που τυχόν προκύψουν. Για λόγους ασφαλείας, ο ανεμιστήρας τίθεται σκοπίμως σε λειτουργία κατά τη διάρκεια που η διάταξη έχει ρεύμα, σε περίπτωση που ξεχαστεί κάποια αντίσταση ανοιχτή, να ψύχεται με το ρεύμα αέρα και να μην υπερθερμάνει την ευρύτερη περιοχή στην οποία είναι προσαρτημένη. Εξωτερικά και πάνω στο κουτί του ηλεκτρικού πίνακα είναι τοποθετημένος ο διακόπτης δύο ταχυτήτων του ανεμιστήρα (εικόνα 16).



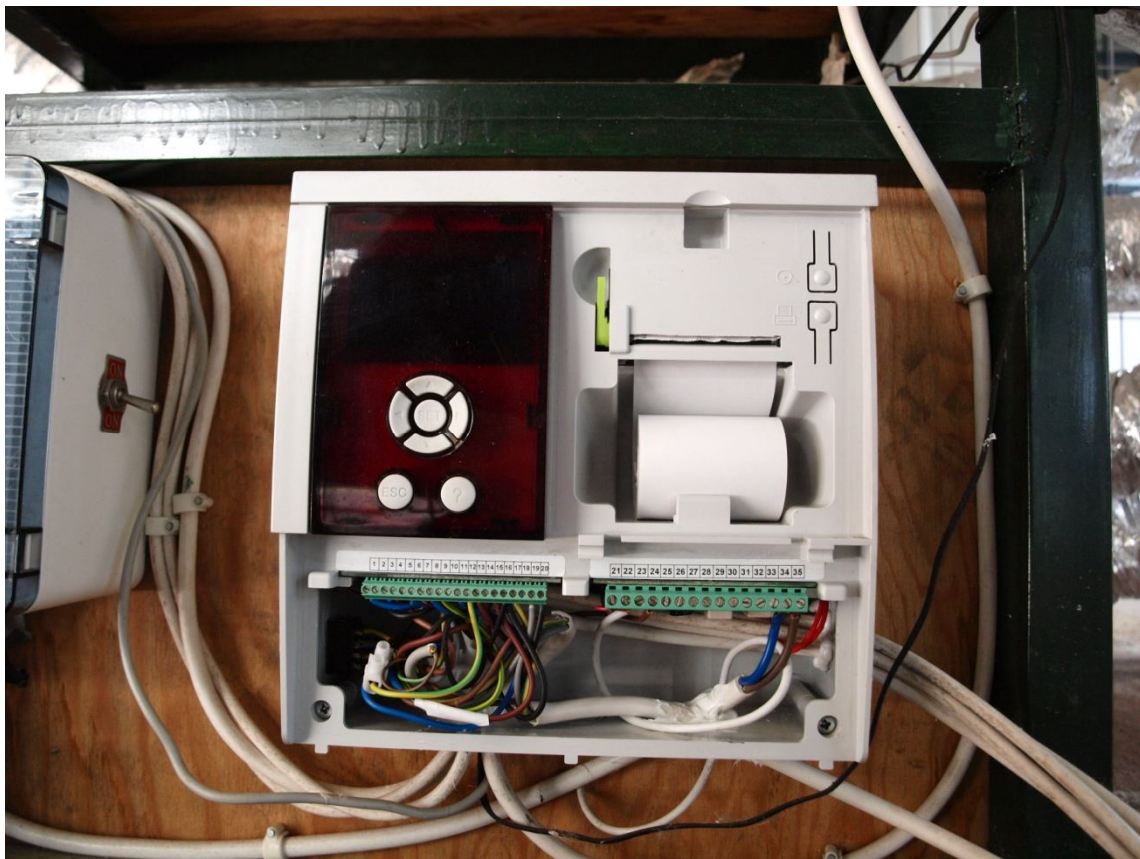
*15. Ηλεκτρικός πίνακας διατάξεως*



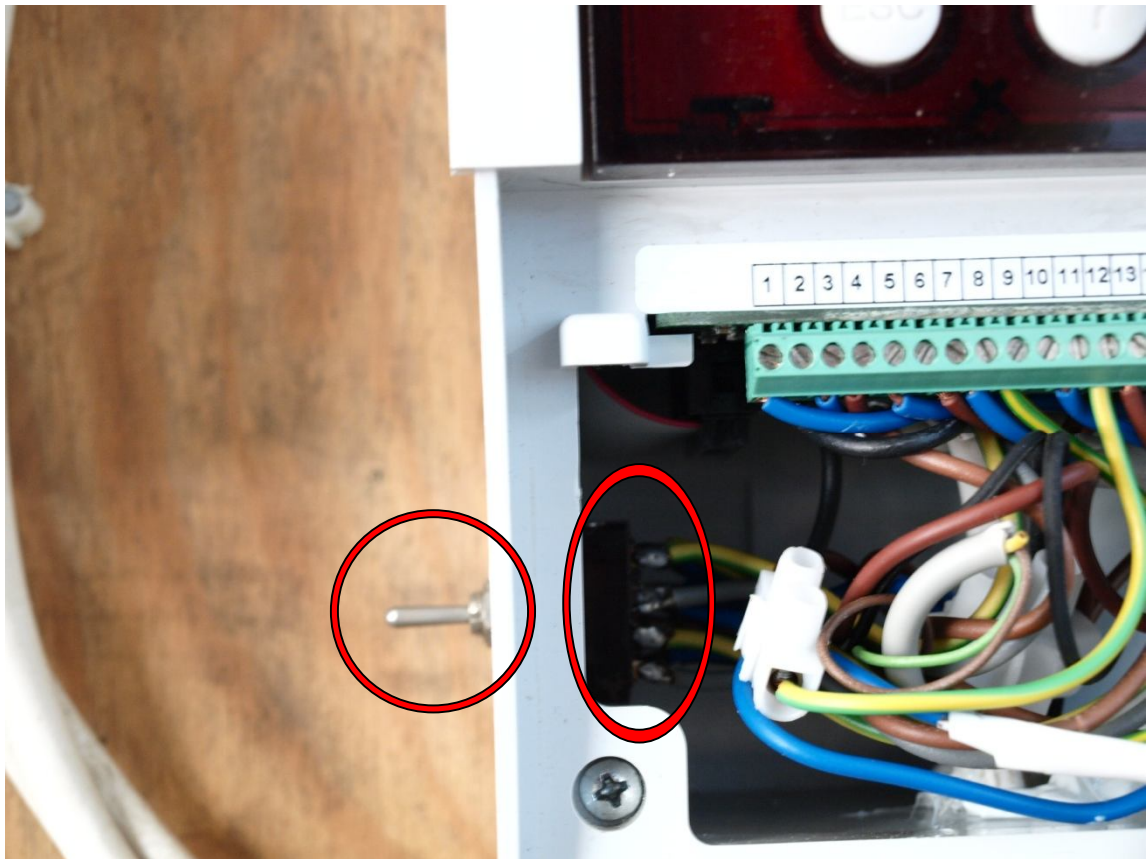
*16. Διακόπτης ταχύτητας*

Το καταγραφικό είναι της εταιρείας ΑΚΟ (εικόνα 17) και έχει την δυνατότητα καταγραφής στοιχείων από δέκα διαφορετικά μετρητικά. Επίσης έχει την δυνατότητα σύνδεσης με υπολογιστή για την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Οι έξι από τις

δέκα θέσεις του καταγραφικού παίρνουν δεδομένα υγρασίας και θερμοκρασίας από την εισαγωγή του αέρα στην διάταξη, από την οποία καταγράφονται οι συνθήκες του περιβάλλοντος και από το εργαζόμενο και παραγόμενο ρεύμα αέρα. Σε κάθε θέση δηλαδή του καταγραφικού αντιστοιχεί ένα δεδομένο, είτε θερμοκρασίας, είτε υγρασίας. Τις υπόλοιπες τέσσερις θέσεις του καταγραφικού καλύπτουν τα μετρητικά, τα οποία είναι τοποθετημένα πάνω στον εναλλάκτη. Για την πληρέστερη συλλογή δεδομένων και την βαθύτερη παραμετροποίηση του εναλλάκτη, αυτός διαχωρίστηκε σε δύο τμήματα, Α και Β, ένα για την κάθε μεριά όπως διαχωρίζεται από το κανάλι παροχής νερού. Σε κάθε τμήμα του εναλλάκτη είναι τοποθετημένα στις εξόδους του παραγόμενου και εργαζόμενου ρεύματος μετρητικά υγρασίας και θερμοκρασίας, τέτοιου τύπου όπως αναφέρθηκαν αναλυτικότερα προηγουμένως, τέσσερα για την κάθε μεριά. Έτσι για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη τεσσάρων επιπλέον θέσεων στο καταγραφικό τοποθετήθηκε ένας διακόπτης (εικόνα 18), ο οποίος ανάλογα προς το τμήμα που είναι γυρισμένος, επιτρέπει την συλλογή δεδομένων μόνο εκείνου του τμήματος από το καταγραφικό. Επίσης, στις εξόδους των δύο ρευμάτων είναι τοποθετημένα μετρητικά της ταχύτητας του αέρα, τύπου hotwire της εταιρεία ΚΙΜΟ τύπου CTV100 με εύρος λειτουργίας από 0 έως 30 m/s (εικόνες 19,20). Η καταγραφή των δεδομένων αυτών των μετρητικών, έγινε με οπτική παρακολούθηση της ένδειξης του μετρητικού και ταυτόχρονη καταγραφή της ανά δύο λεπτά σε data logbook από τον χρήστη της διάταξης. Η επιλογή της περιόδου των δύο λεπτών έγινε για τον λόγο ότι το καταγραφικό αποθήκευε τα δεδομένα στον υπολογιστή ανά δύο λεπτά.



**17.Καταγραφικό μετρήσεων**



*18. Διακόπτης εναλλαγής μετρητικών*



*19. Οθόνη μετρητικού hotwire*



*20. Μετρητικό hotwire*

Για την εφαρμογή του πειραματικού εναλλάκτη σε λειτουργία, έπρεπε να γίνουν κάποιες απαραίτητες προσαρτήσεις. Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν μεταλλικά πλαίσια από γαλβανισμένη λαμαρίνα και με εξωτερική θερμική μόνωση, σε διαστάσεις αντίστοιχες με αυτές του εναλλάκτη. Αναλυτικότερα, στην εισαγωγή του αέρα τοποθετήθηκαν τέσσερα τέτοια πλαίσια (εικόνα 21) με διαμόρφωση σωλήνα Ø100 στο μέσο τους, για να τοποθετηθούν επάνω τους οι εύκαμπτοι αεραγωγοί των δύο ρευμάτων, working-product. Αντίστοιχα τέτοια πλαίσια τοποθετήθηκαν και στις εξόδους του εναλλάκτη (εικόνες 22,23 όπου στις συγκεκριμένες φωτογραφίες φαίνονται και οι θέσεις των μετρητικών οργάνων), διαστασιολογώντας πάντα σύμφωνα με την πλευρά στην οποία πρόκειται να τοποθετηθούν. Τα πλαίσια συγκρατήθηκαν μεταξύ τους με χρήση πριτσινιών και αφού συσσωματώθηκαν, κουμπώθηκαν στον εναλλάκτη και κολλήθηκαν με χρήση σιλικόνης. Επίσης με χρήση σιλικόνης σφραγίστηκαν τα διάφορα διάκενα που προέκυψαν κατά την εφαρμογή των πλαισίων. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στα διάκενα εσωτερικά των πλαισίων στο σημείο της εισαγωγής αλλά και τις εξαγωγής του αέρα, για την αποφυγή διείσδυσης του ενός ρεύματος στο άλλο. Ακόμη, σφραγίστηκαν τα τρία πρώτα επίπεδα στο πάνω μέρος του εναλλάκτη, διότι σε αυτά δεν κυκλοφορούσε νερό και δεν υπήρχε η επιθυμητή συναλλαγή θερμότητας. Αυτό συνέβη, εξαιτίας της αρχικής αφαίρεσης ενός τμήματος του εναλλάκτη για μελέτη και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Έτσι, για την αποφυγή λανθασμένων μετρήσεων σφραγίστηκαν τα επίπεδα στα οποία δεν έβρισκε εφαρμογή ο κύκλος του Maisotsenko. Στο πάνω τμήμα του εναλλάκτη τα μεγάλα διάκενα που προέκυψαν καλύφθηκαν με χρήση αφρού πολουρεθάνης (εικόνα 24). Στις δύο εξόδους του εργαζόμενου ρεύματος και συγκεκριμένα στο κάτω μέρος των πλαισίων έχουν γίνει τρύπες και έχουν τοποθετηθεί σωληνάκια από τα οποία διαφεύγει το περισσευούμενο νερό των υγρών καναλιών καθώς επίσης και των συμπυκνωμάτων τα οποία δημιουργούνται εσωτερικά του πλαισίου, εξαιτίας των υψηλών επιπέδων υγρασίας σε αυτά. Επίσης σε όλες τις εξόδους έχουν τοποθετηθεί πλαστικοί σωλήνες για την ευκολότερη τοποθέτηση των μετρητικών οργάνων. Για την παροχή νερού στον εναλλάκτη χρησιμοποιήθηκε ένας διακλαδωτήρας με τρεις βάνες (εικόνα 25), από τον οποίο είναι δυνατή η ρύθμιση της παροχής νερού στα τρία τμήματά του (πάνω, μέσο, κάτω), ξεχωριστά για το κάθε τμήμα. Στον διακλαδωτήρα είναι προσαρτημένο σωληνάκι, που καταλήγει σε πλαστικό μπουκάλι χωρητικότητας 1,5 lt (εικόνα 26), τοποθετημένος υψηλότερα από τον εναλλάκτη, ώστε να εξασφαλίζεται η συνεχή παροχή νερού με φυσική ροή. Επίσης έχει γίνει μελέτη για μελλοντική συνεργασία της παρακείμενης μονάδας αφαλάτωσης με τη διάταξη coolerado, ώστε να χρησιμοποιείτε το αποσταγμένο νερό της αφαλάτωσης για πλήρωση των υγρών καναλιών, με σκοπό την αποφυγή συσσωρεύσεως αλάτων εσωτερικά του εναλλάκτη. Εδώ να προσθέσουμε ότι, κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, το νερό που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του δικτύου της ΕΥΔΑΠ και όχι του δικτύου του πολυτεχνείου, αφού σε αυτό παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά σκληρότητας. Το όλο σύστημα του εναλλάκτη, μαζί με τον ηλεκτρικό πίνακα και το καταγραφικό, είναι τοποθετημένο πάνω σε μια μεταλλική βάση με οροφή και ενδιάμεση πλάτη από κόντρα πλακέ θαλάσσης. Χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο υλικό γιατί,

εκτός της ευκολίας διαμόρφωσης που προσφέρει το ξύλο, έχει αυξημένη αντοχή στην υγρασία, κάτι που το έκανε πρώτη επιλογή αφού βρίσκεται σε εξωτερικό περιβάλλον.



*21.Εισόδοι αέρα στον εναλλάκτη*



*22.Εξαγωγή product*



*23.εξαγωγή working*



*24.Κάλυψη διακένων με αφρό πολυουρεθάνης*



*25. Διακλαδωτήρας νερού*



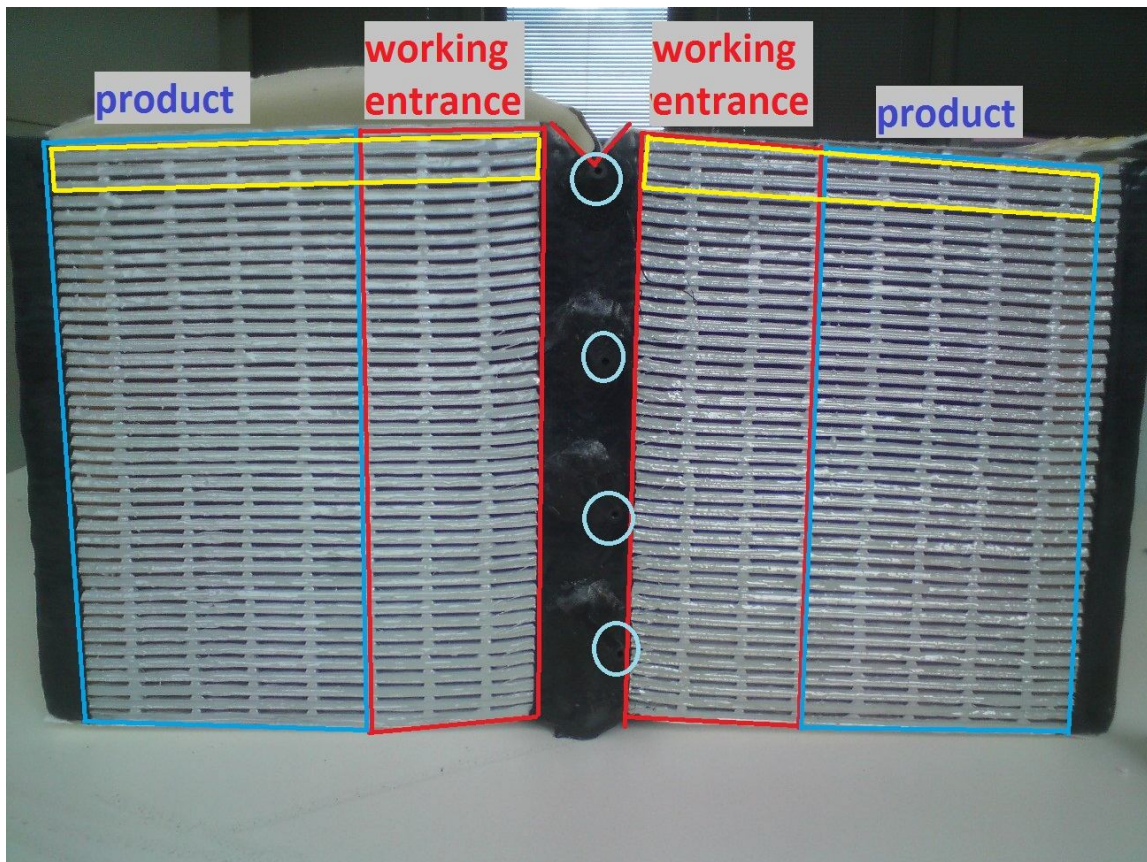
*26. Μπουκάλι παροχής νερού*



### **3.1.5: Επεξήγηση της εσωτερικής διαμόρφωσης του εναλλάκτη του Maisotsenko**

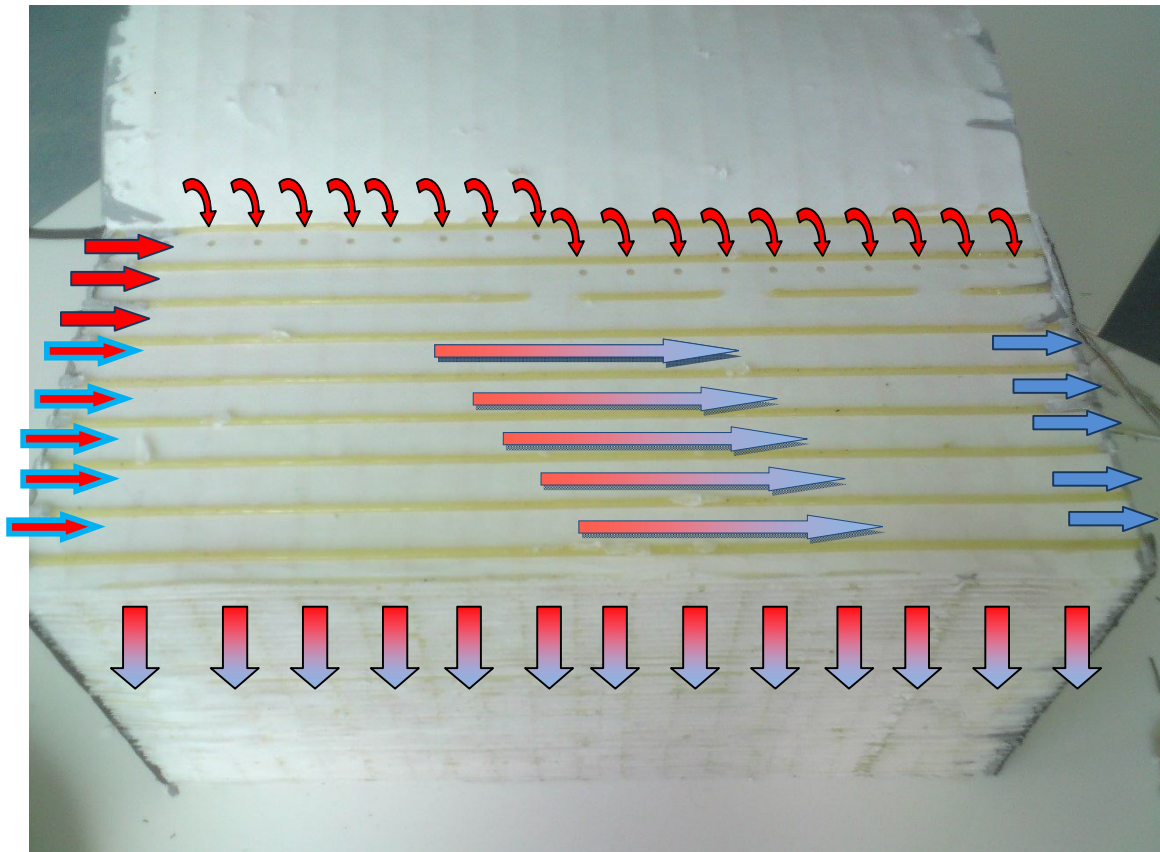
Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύθηκε ο τρόπος λειτουργίας και το εσωτερικό του εναλλάκτη με την βοήθεια σκαριφημάτων. Στην συνέχεια παρατίθενται φωτογραφίες του ίδιου του εναλλάκτη, όπου φαίνονται τα εργαζόμενα και ψυχόμενα κανάλια, καθώς επίσης και ο τρόπος με τον οποίο ο αέρας διέρχεται μέσα από αυτά.

Έτσι, στην *εικόνα 26* φαίνονται οι πτυχές των καναλιών από τις οποίες γίνεται η εισαγωγή του αέρα στον εναλλάκτη. Με κόκκινο χρώμα σημειώθηκαν τα κανάλια τα οποία οδηγούν τον αέρα στην νωπή εργαζόμενη επιφάνεια διαμέσου οπών που υπάρχουν στο εσωτερικό τους, ενώ με γαλάζιο χρώμα σημειώθηκαν τα υπόλοιπα κανάλια του ψυχόμενου ρεύματος. Τα κανάλια, τα οποία σφραγίστηκαν διότι σε αυτά δεν κυκλοφορούσε νερό και έτσι δεν υπήρχε εξάτμιση, σημειώθηκαν με κίτρινο χρώμα και είναι αυτά στα τρία ανώτερα επίπεδα. Ο λόγος για τον οποίο εκείνα τα κανάλια δεν βρέχονταν, φαίνεται στο σχήμα όπου είναι σχεδιασμένο με κόκκινο χρώμα σε σχήμα V, στο οποίο φαίνεται πως η εισαγωγή του νερού βρίσκεται χαμηλότερα σε σχέση με τα τρία ανώτερα επίπεδα του εναλλάκτη και έτσι το νερό δεν μπορούσε να διεισδύσει στην υδρόφιλη εργαζόμενη επιφάνεια. Επίσης με γαλάζιο χρώμα σημειώθηκαν τα σωληνάκια εισόδου του νερού.



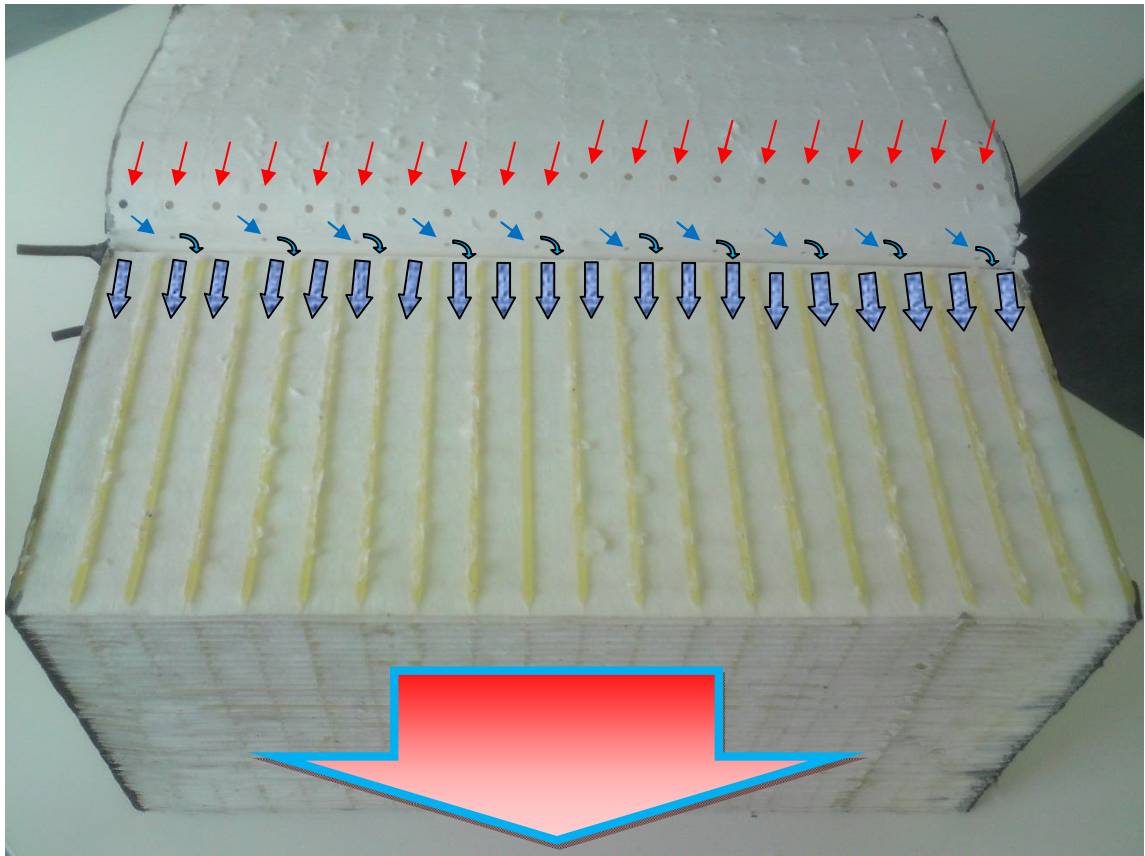
**26. Εισαγωγή του αέρα στον εναλλάκτη**

Στην *εικόνα 27* ,όπου παρατίθεται σε τομή κατά το ήμισυ ο εναλλάκτης, φαίνεται η υδρόφοβη λεία επιφάνεια των ψυχόμενων καναλιών καθώς επίσης και οι οπές που οδηγούν τον αέρα στην εργαζόμενη επιφάνεια. Τα βέλη με κόκκινο χρώμα σηματοδοτούν το εργαζόμενο ρεύμα ενώ με γαλάζιο το ψυχόμενο. Καθώς ο αέρας εισέρχεται από τα τρία μεσαία κανάλια με κόκκινο χρώμα, τα οποία είναι σφραγισμένα στο τέλος τους, οδηγείται διαμέσου των οπών στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο της εργαζόμενης επιφάνειας όπου τελικά εξέρχεται από την πλάγια όψη του εναλλάκτη όπως σηματοδοτείται από τα κόκκινα βέλη.



**27. Κανάλια ψυχόμενου ρεύματος**

Στην *εικόνα 28* φαίνεται η υγρόφιλη επιφάνεια του εργαζόμενου ρεύματος, καθώς επίσης και οι οπές του αέρα και οι οπές του νερού. Αφού ο θερμός αέρας ρέει πάνω από την υγρή επιφάνεια, παραλαμβάνει θερμότητα από το ρευστό καθώς αυτό εξατμίζεται και τελικά εξέρχεται από τον εναλλάκτη. Κατά την διάρκεια της εξάτμισης, η άλλη επιφάνεια του νωπού χαρτιού ακριβώς από κάτω του, η οποία βρίσκεται στο παραγόμενο ρεύμα αέρα, ψύχεται χωρίς να προστίθεται υγρασία στον αέρα εφόσον δεν έρχεται σε άμεση επαφή με την εξατμιζόμενη επιφάνεια. Τα μικρά γαλάζια βέλη σηματοδοτούν την εισαγωγή του νερού στην υδρόφιλη επιφάνεια ενώ τα κόκκινα βέλη την ροή του εργαζόμενου αέρα, η οποία εξέρχεται από τις σηματοδοτημένες κόκκινες οπές.



*28.Κανάλια εργαζόμενου ρεύματος*

### **3.2: Προβληματισμοί που προέκυψαν κατά την διαδικασία του στησίματος της μονάδας**

Για την επίτευξη της σωστής λειτουργίας της μονάδας και της ποιοτικής συλλογής δεδομένων έγιναν διάφορες μετατροπές, ώστε να καταλήξει να έχει την παρούσα μορφή. Ένας από τα κυριότερα προβλήματα που παρουσιάστηκαν, ήταν αυτό της σωστής καταγραφής της ταχύτητας και κατά συνέπεια της τοποθέτησης του μετρητικού, τύπου hotwire, σε τέτοια θέση που θα προσέφερε αξιόπιστες ενδείξεις. Αρχικά τα μετρητικά όργανα είχαν τοποθετηθεί πριν τα μικρά παντελόνια, τα οποία διαχωρίζουν το κάθε ρεύμα, εργαζόμενο και ψυχόμενο, σε δύο ίσα μικρότερα ρεύματα τα οποία καταλήγουν στην είσοδο του εναλλάκτη όπως αναλύθηκε παραπάνω σε αυτό το κεφάλαιο. Στο σημείο που ήταν τοποθετημένα, η μέτρηση επηρεαζόταν σημαντικά από τύρβες που προέρχονταν από την καμπύλη που σχηματιζόταν στον αεραγωγό κατά την τοποθέτησή του πάνω στο μεταλλικό πλέγμα. Έτσι, κατόπιν συζητήσεων το μετρητικό, όπως πολύ σωστά μας υποδείχθηκε, τοποθετήθηκε στην έξοδο του ψυχόμενου ρεύματος, εφόσον σε εκείνο το σημείο το προφίλ της ταχύτητας παρουσίαζε ομοιογένεια τόσο κατά τον κατακόρυφο όσο και κατά τον οριζόντιο άξονα της διατομής της εξόδου. Η ομοιογένεια αυτή οφείλεται στο ότι αφού το ρεύμα αέρα περνάει μέσα από τα κανάλια, η ροή ομαλοποιείται, έτσι όταν εξέρχεται από αυτά έχει αποκατασταθεί και δεν παρουσιάζει φαινόμενα τύρβης.

Ένας άλλος προβληματισμός ήταν αυτός της εξόδου του εργαζόμενου ρεύματος. Γνωρίζοντας πως το ρεύμα αέρα στην έξοδο του εργαζόμενου ρεύματος θα είχε υψηλά ποσοστά υγρασίας, υπήρχε ο φόβος της τοπικής αύξησης της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια την αύξηση της μετρούμενης υγρασίας κατά την είσοδο του εξωτερικού αέρα στην μονάδα. Για τον λόγο αυτό η εισαγωγή του αέρα τοποθετήθηκε αρκετά πιο μακριά από την μονάδα για μεγαλύτερη ασφάλεια κατά την συλλογή των δεδομένων. Επίσης, έγινε προσπάθεια να απομακρυνθεί και η εξαγωγή του εργαζόμενου ρεύματος, με την εισαγωγή αεραγωγών αλλά ύστερα από μετρήσεις δεν κρίθηκε σκόπιμο, αφού ήταν βέβαιο πως οι μετρήσεις δεν επηρεάζονταν.

Γενικότερα, για την ολοκλήρωση της μονάδας εξατμιστικής ψύξης και την επίτευξη της πειραματικής διαδικασίας, έπρεπε να ξεπεραστούν διάφορα σημαντικά και μη σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζονταν κατά την διάρκεια του στησίματος της μονάδας, τα οποία ύστερα από σκέψεις και συζητήσεις οδήγησαν την διάταξη στην σημερινή μορφή της, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι θα παραμείνει έτσι, αφού υπάρχει η πιθανότητα κάποιος νέος μελλοντικός προβληματισμός, με διαφορετικούς στόχους και ανάγκες, να οδηγήσει την μονάδα σε νέες τροποποιήσεις.

#### **4.1: Επεξήγηση της πειραματικής διαδικασίας**

Η διεξαγωγή του πειράματος όσον αφορά την λήψη των μετρήσεων έλαβε μέρος τον Ιούλιο του 2011, στην θερμότερη περίοδο του καλοκαιριού, για να εξεταστεί η ψυκτική μονάδα στις δυσμενέστερες για αυτήν καιρικές συνθήκες, τότε δηλαδή που η ζήτηση για ψύξη βρίσκεται στο μέγιστο. Σκοπός, λοιπόν, του πειράματος ήταν να θέσει απαντήσεις σε διάφορα ερωτήματα, που προέκυπταν κατά την προσπάθεια της βαθύτερης κατανόησης της λειτουργίας της ψυκτικής μονάδος του κύκλου του Maisotsenko, καθώς επίσης και η διαπίστωση των ισχυρισμών των εμπορικών αντιπροσώπων αλλά και του ίδιου του εφευρέτη της κατασκευής, για τα ψυκτικά και οικονομικά οφέλη που φαίνεται να διαθέτει.

Προκειμένου να βγουν σαφή και λεπτομερή συμπεράσματα, ως προς την λειτουργία και τις ψυκτικές δυνατότητες της μονάδας, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από σενάρια, στα οποία διεξάγεται το πείραμα με διαφορετικές παραμέτρους κάθε φορά. Για το λόγο αυτό τοποθετήθηκαν, όπως άλλωστε αναλύθηκαν και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένας ανεμιστήρας δύο ταχυτήτων, τρεις θερμικές αντιστάσεις και δύο ζεύγη ρύθμισης της παροχής. Για να διαπιστωθεί με ποιο τρόπο επηρεάζει η θερμοκρασία τον εναλλάκτη, έγινε μια σειρά από πειράματα θέτοντας σε λειτουργία τις αντιστάσεις με διαφορετική σύνθεση κάθε φορά. Επίσης, κατά την διεξαγωγή κάθε ενός σεναρίου αντιστάσεων, πραγματοποιήθηκε λήψη μετρήσεων και για τις δύο ταχύτητες του ανεμιστήρα, χαμηλή και υψηλή, έτσι ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο επηρεάζεται η λειτουργία του εξαμυστικού ψύκτη από την παροχή αέρα στην διάταξη. Τα σενάρια με την σειρά που πραγματοποιήθηκαν είναι τα εξής:

- Σενάριο αντίστασης  $\varnothing 200$  σε λειτουργία, όπου θερμαίνονται ίσα και τα δύο ρεύματα, εργαζόμενο και ψυχόμενο.
- Σενάριο αντιστάσεων  $\varnothing 200$  και  $R_{pro}$  σε λειτουργία, όπου εκτός της συνολικής θέρμανσης του εισαγόμενου αέρα, προθερμαίνεται επιπλέον μόνο το ψυχόμενο (product) ρεύμα αέρα.
- Σενάριο όλων των αντιστάσεων σε λειτουργία, όπου επιτυγχάνεται η υψηλότερη συνολική θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη.
- Σενάριο καμίας αντίστασης σε λειτουργία, υπό συνθήκες περιβάλλοντος, για την αξιολόγηση σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.
- Σενάριο αντίστασης  $R_{pro}$  σε λειτουργία, όπου θερμαίνεται μεμονωμένα το ψυχόμενο ρεύμα αέρα.

Σκόπιμα δεν πραγματοποιήθηκε κάποιο σενάριο έχοντας σε λειτουργία μόνο την αντίσταση του εργαζόμενου ρεύματος, αφού προθέρμανσή του μειώνει δραματικά την ψυκτική ικανότητα του εναλλάκτη και την μεταφορά θερμότητας από το ψυχόμενο στο εργαζόμενο ρεύμα και επιπλέον τα δεδομένα από τις μετρήσεις του συγκεκριμένου σεναρίου θα ήταν μη αξιοποιήσιμα. Πέραν των παραμετροποιημένων σεναρίων ως προς τις αντιστάσεις, πραγματοποιήθηκε μια σειρά μετρήσεων όπου

αυτό που άλλαζε στην κάθε περίπτωση ήταν ο λόγος παροχών των δύο ρευμάτων του εναλλάκτη. Έτσι, ρυθμίζοντας καταλλήλως το *dumpet* του ψυχόμενου ρεύματος, εκτελέστηκαν τα σενάρια με τους παρακάτω λόγους παροχών όπου  $\lambda =$  παροχή παραγόμενου/παροχή εργαζόμενου ρεύματος:  $\lambda=2/3$  και  $\lambda= 1/2$ . Αυτά τα σενάρια εκτελέστηκαν με κλειστές αντιστάσεις σε συνθήκες περιβάλλοντος. Ως σκοπό είχαν να διαπιστωθεί σε τι βαθμό επηρεάζει την ψυκτική ικανότητα του εναλλάκτη, μια ενδεχόμενη λειτουργία με μειωμένη την παροχή του παραγόμενου ρεύματος. Για όλα τα παραπάνω σενάρια, λήφθηκαν δεδομένα για ένα εύρος της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, αφού όπως είναι φυσικό αυτή παρουσίαζε διακύμανση κατά την διάρκεια λήψης των μετρήσεων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, τα οποία είναι οι θερμοκρασίες και υγρασίες στις εισόδους και εξόδους του εναλλάκτη, η θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος καθώς επίσης και οι ταχύτητες στις εξόδους των δύο ρευμάτων, αξιολογήθηκαν και επεξεργάστηκαν ώστε να βγουν κάποια συμπεράσματα. Από την επεξεργασία αυτών των δεδομένων εξήχθησαν ο βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη, η ψυκτική του ισχύς και ο συντελεστής ειδικής κατανάλωσης νερού, όπου από αυτά αναμένεται να διαπιστωθεί η ψυκτική ικανότητα του εναλλάκτη μεταβαλλομένης της θερμοκρασίας. Στην συνέχεια του παρόντος γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση αυτών των τιμών στα διάφορα σενάρια που εκτελέστηκαν για ένα εύρος θερμοκρασιών.

## 4.2: Επεξεργασία των μετρήσεων

### 4.2.1: Διαδικασία υπολογισμού αποτελεσμάτων

Για όλα τα σενάρια παραμετροποίησης υπολογίστηκαν ο βαθμός απόδοσης  $\eta$ , η ψυκτική ισχύς  $Q_c$  (kw) καθώς και ο συντελεστής ειδικής κατανάλωσης νερού  $SWC$  (kg/kwh) (special water consumption), για τα οποία έχουμε τις εξής σχέσεις υπολογισμού:

$$\eta = \frac{T_{pro\_in} - T_{pro\_out}}{T_{pro\_in} - T_{wb\_pro\_in}} \quad Q_c = -m_{pro}(h_{pro\_out} - h_{pro\_in})$$

$$SWC = \frac{m_w}{Q_c}$$

Όπου  $T_{pro\_in}$  είναι η θερμοκρασία στο παραγόμενο ρεύμα πριν τον εναλλάκτη και  $T_{pro\_out}$  η θερμοκρασία στην έξοδο του εναλλάκτη. Οι τιμές αυτές είναι γνωστές αφού έχουν καταγραφεί από τα μετρητικά όργανα στις συγκεκριμένες θέσεις. Επίσης  $T_{wb\_pro\_in}$  είναι η θερμοκρασία υγρού βολβού στο παραγόμενο ρεύμα αέρα πριν τον εναλλάκτη. Ακόμα,  $m_{pro}$  είναι η παροχή μάζας αέρα στο παραγόμενο ρεύμα και  $h_{pro\_out}$ ,  $h_{pro\_in}$  είναι οι ειδικές ενθαλπίες μετά και πριν τον εναλλάκτη αντίστοιχα. Στην συνέχεια βλέπουμε τις εξισώσεις από τις οποίες προήλθαν αυτές οι τιμές.

- *Θερμοκρασία υγρού βολβού  $T_{wb}$*

Η θερμοκρασία υγρού βολβού υπολογίζεται από τον ψυχομετρικό χάρτη συναρτήσει της σχετικής υγρασίας (Relative Humidity) και της θερμοκρασίας ξηρού βολβού  $T_{dry\ bulb}$ . Οι δύο αυτές τιμές είναι γνωστές αφού καταγράφηκαν από τα μετρητικά κατά την διεξαγωγή του πειράματος. Έτσι  $T_{wb} = (RH, T_{db})$

- *Παροχή μάζας αέρα στο παραγόμενο (product) ρεύμα  $m_{pro}$*

Η μάζα του αέρα στο product ρεύμα είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ρεύματος  $u$ , της διατομής  $A$  του αγωγού μέσα στον οποίο κυλάει και του ειδικού όγκου  $v$ . Η ταχύτητα είναι γνωστή καθώς έχει καταγραφεί κατά την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος και της δόθηκε μια μέση τιμή. Για τις υπόλοιπες τιμές έχουμε τις εξής σχέσεις υπολογισμού:

$$\text{διατομή } A = \frac{\pi R^2}{4}$$

$$\text{ειδικός όγκος } v = \frac{1}{\rho} \quad \text{όπου } \rho \text{ είναι η πυκνότητα του αέρα για την οποία}$$

$$\text{είναι γνωστό ότι } \rho = \frac{p}{R_1(t+273,15)} \quad , \quad p \text{ είναι η μερική πίεση ξηρού αέρα}$$

όπου θεωρείται η πίεση περιβάλλοντος,  $R_1$  σταθερά ξηρού αέρα και  $t$  η θερμοκρασία του αέρα. Επομένως:

$$m_{pro} = \frac{u_{pro} \cdot A}{v}$$

- Ενthalπίες εισόδου εξόδου στο παραγόμενο (product) ρεύμα αέρα  $h_{pro\_in}$ ,  $h_{pro\_out}$

Η ειδική ενthalπία εκφράζεται από τον λόγο υγρασίας και την θερμοκρασία ξηρού βολβού (dry bulb temperature) για την οποία ισχύει ότι:

$$h = Cpa(t) \cdot t + w(r + h_{2\_s} \cdot t)$$

Όπου  $Cpa$  η ειδική θερμοχωρητικότητα ξηρού αέρα,  $t$  η θερμοκρασία,  $w$  ο λόγος υγρασίας,  $r$  η θερμότητα ατμοποίησης νερού σε kJ/kg και  $h_{2\_s}$  η ειδική ενthalπία κορεσμένου υγρού νερού ανά k σε kJ/kgK. Οι τιμές  $r$  και  $h_{2\_s}$  είναι σταθερές. Ο λόγος υγρασίας υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$w = \frac{MB_2}{28,9629} \cdot \frac{RH \cdot p_s}{p - RH \cdot p_s}$$

Όπου  $MB_2$  είναι μοριακή μάζα του εργαζόμενου μέσου,  $RH$  η σχετική υγρασία,  $p_s$  η τάση ατμών και  $p$  η πίεση αναφοράς.

Το  $m_w$  (kg/h) είναι η κατανάλωση νερού σε κιλά ανά ώρα, που εξατμίζει ο εναλλάκτης και προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$m_w = m_{wor} (W_{wor\_out} - W_{wor\_in}) 3600$$

Όπου το  $m_{wor}$  είναι η παροχή μάζας στο εργαζόμενο (working) ρεύμα και  $W_{wor\_in}$ ,  $W_{wor\_out}$  είναι οι λόγοι υγρασίας στην είσοδο και έξοδο του εναλλάκτη αντίστοιχα. Οι δύο αυτές τιμές υπολογίζονται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκαν παραπάνω οι τιμές της παροχής μάζας αέρα και ο λόγος υγρασίας κατά την είσοδο και έξοδο από τον εναλλάκτη του product ρεύματος.

Σε όλα τα διαγράμματα, τα σημεία των τιμών του βαθμού απόδοσης  $\eta$ , της ψυκτικής ισχύς  $Q_c$  (kw) καθώς και του συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού  $swc$  (kg/kwh) δημιουργήθηκαν με βάση την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επίσης, στα διαγράμματα εμφανίζονται τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις παραπάνω τιμές από τα μετρούμενα μεγέθη και υπολογίζονται στην επόμενη παράγραφο.



#### 4.2.2: Υπολογισμός σφαλμάτων

- Για τον υπολογισμό του σφάλματος του βαθμού απόδοσης, παρατηρείται από τον τύπο του ότι υπολογίζεται από τρία μετρούμενα μεγέθη,  $T_{pro\_in}$ ,  $T_{pro\_out}$ ,  $RH_{pro\_in}$ .

$$\eta = \frac{T_{pro\_in} - T_{pro\_out}}{T_{pro\_in} - T_{wb_{pro\_in}}(RH_{pro\_in}, T_{pro\_in})}$$

Επομένως, το σφάλμα θα υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο.

$$\delta\eta(T_{p_{in}}, T_{p_{out}}, RH_{p_{in}}) = \sqrt{\left(\frac{\partial\eta}{\partial T_{p_{in}}} \delta T_{p_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial T_{p_{out}}} \delta T_{p_{out}}\right)^2 + \left(\frac{\partial\eta}{\partial RH_{p_{in}}} \delta RH_{p_{in}}\right)^2}$$

όπου είναι γνωστές οι αποκλίσεις των μετρητικών οργάνων:  $\delta T = \pm 0,2^\circ\text{C}$ ,  $\delta RH = \pm 3\%$

- Στον τύπο υπολογισμού της ψυκτικής ισχύος υπεισέρχονται πέντε μετρούμενα μεγέθη,  $u_{pro}$ ,  $T_{pro\_in}$ ,  $T_{pro\_out}$ ,  $RH_{pro\_in}$ ,  $RH_{pro\_out}$ .

$$Q_c = -m_p(u_p, T_{p_{in}}, RH_{p_{in}})(h_{p_{out}}(T_{p_{out}}, RH_{p_{out}}) - h_{p_{in}}(T_{p_{in}}, RH_{p_{in}}))$$

Επομένως, το σφάλμα θα είναι:

$$\delta Q_c(u_p, T_{p_{in}}, RH_{p_{in}}, T_{p_{out}}, RH_{p_{out}}) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_c}{\partial u_p} \delta u_p\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_{p_{in}}} \delta T_{p_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial RH_{p_{in}}} \delta RH_{p_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_{p_{out}}} \delta T_{p_{out}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial RH_{p_{out}}} \delta RH_{p_{out}}\right)^2}$$

Με γνωστές τις αποκλίσεις:  $\delta T = \pm 0,2^\circ\text{C}$ ,  $\delta RH = \pm 3\%$ ,  $\delta u = \pm 0.2 \text{ m/s}$

- Στον τύπο υπολογισμού της ειδικής κατανάλωσης νερού υπεισέρχονται δέκα μετρούμενα μεγέθη,  $u_{wor}$ ,  $T_{wor\_in}$ ,  $T_{wor\_out}$ ,  $RH_{wor\_in}$ ,  $RH_{wor\_out}$ ,  $u_{pro}$ ,  $T_{pro\_in}$ ,  $T_{pro\_out}$ ,  $RH_{pro\_in}$ ,  $RH_{pro\_out}$ .

$$\delta swc(u_p, T_{p_{in}}, RH_{p_{in}}, T_{p_{out}}, RH_{p_{out}}, u_w, T_{w_{in}}, RH_{w_{in}}, T_{w_{out}}, RH_{w_{out}}) = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_c}{\partial u_p} \delta u_p\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_{p_{in}}} \delta T_{p_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial RH_{p_{in}}} \delta RH_{p_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_{p_{out}}} \delta T_{p_{out}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial RH_{p_{out}}} \delta RH_{p_{out}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial u_w} \delta u_w\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_{w_{in}}} \delta T_{w_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial RH_{w_{in}}} \delta RH_{w_{in}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial T_{w_{out}}} \delta T_{w_{out}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q_c}{\partial RH_{w_{out}}} \delta RH_{w_{out}}\right)^2}$$

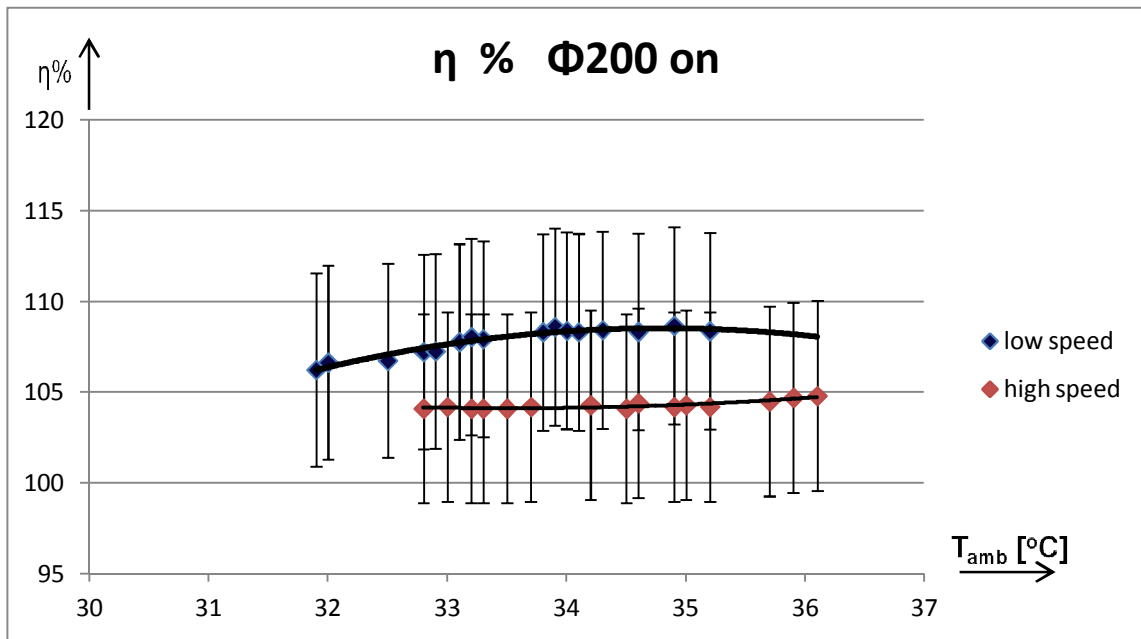
Με γνωστές αποκλίσεις:  $\delta T = \pm 0,2^\circ\text{C}$ ,  $\delta RH = \pm 3\%$ ,  $\delta u = \pm 0.2 \text{ m/s}$

### 4.3: Σενάρια

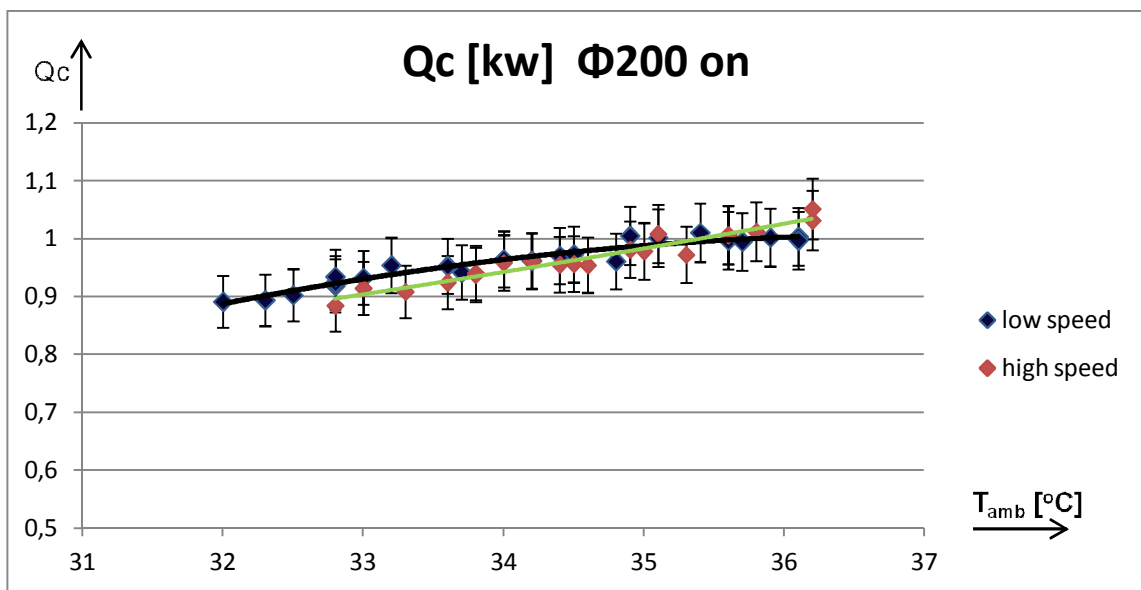
#### 4.3.1: Ως προς τις αντιστάσεις

##### 4.3.1.1: Σενάριο: Σε λειτουργία η αντίσταση $\Phi 200\text{ mm}$

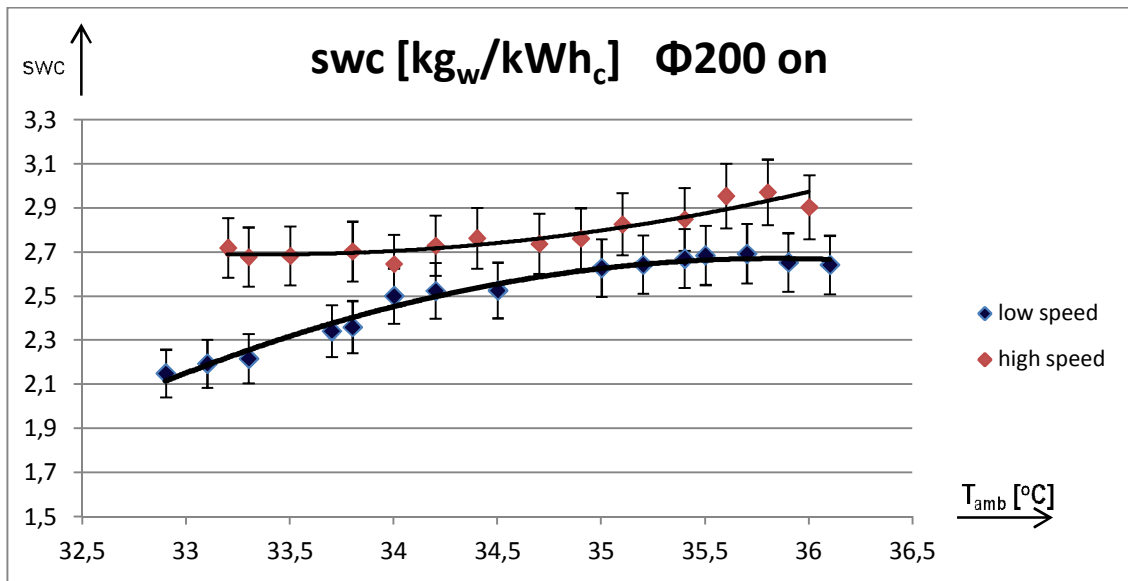
Στο πρώτο σενάριο που διεξήχθη λοιπόν, τέθηκε σε λειτουργία η αντίσταση που βρίσκεται αμέσως μετά τον ανεμιστήρα με διάμετρο  $\Phi 200\text{ mm}$ . Έτσι έχουμε τα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα βαθμού απόδοσης

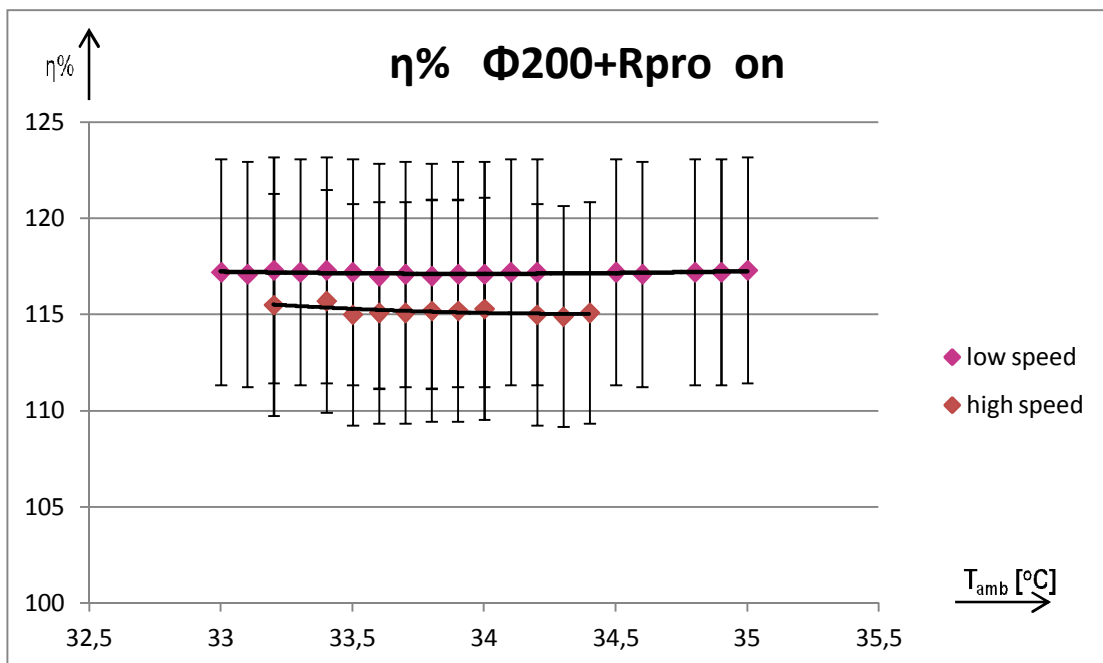


Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος

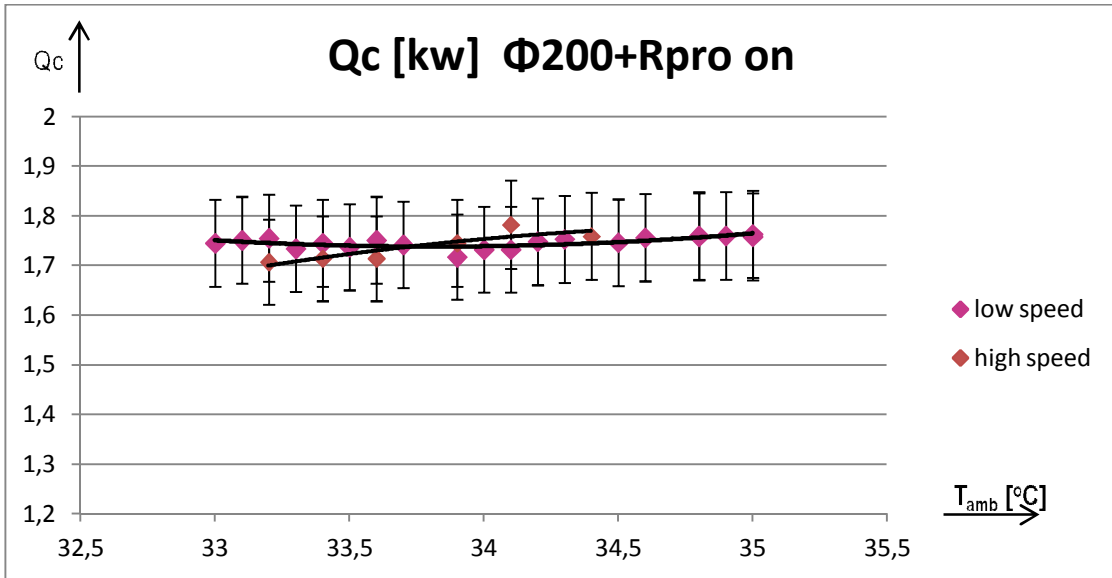


*Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*

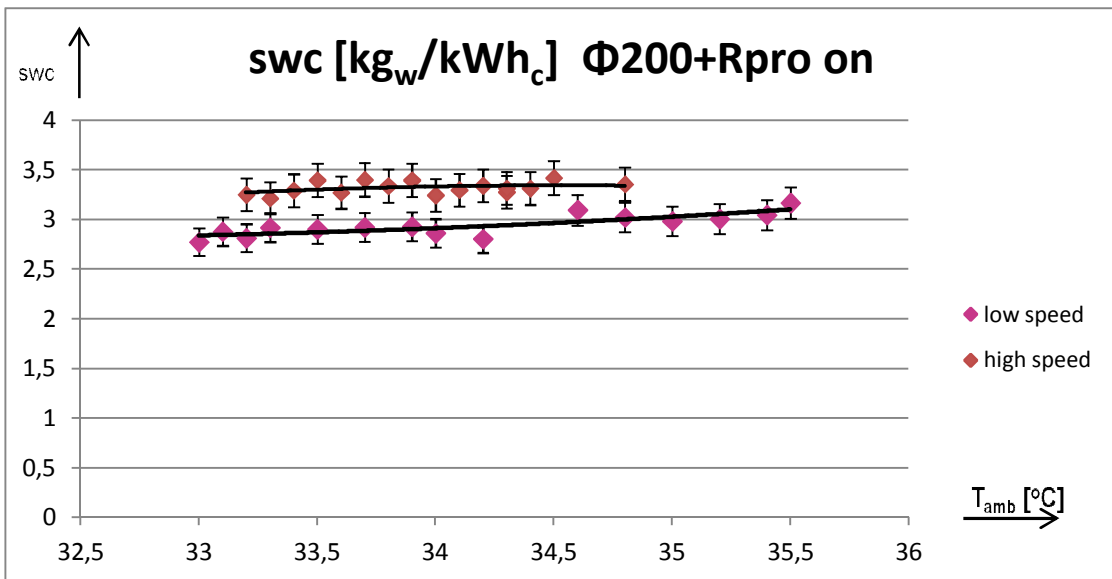
**4.3.1.2: Σενάριο: Σε λειτουργία οι αντιστάσεις Φ200 και Rpro (αντίσταση στο product ρεύμα)**



*Διάγραμμα βαθμού απόδοσης*

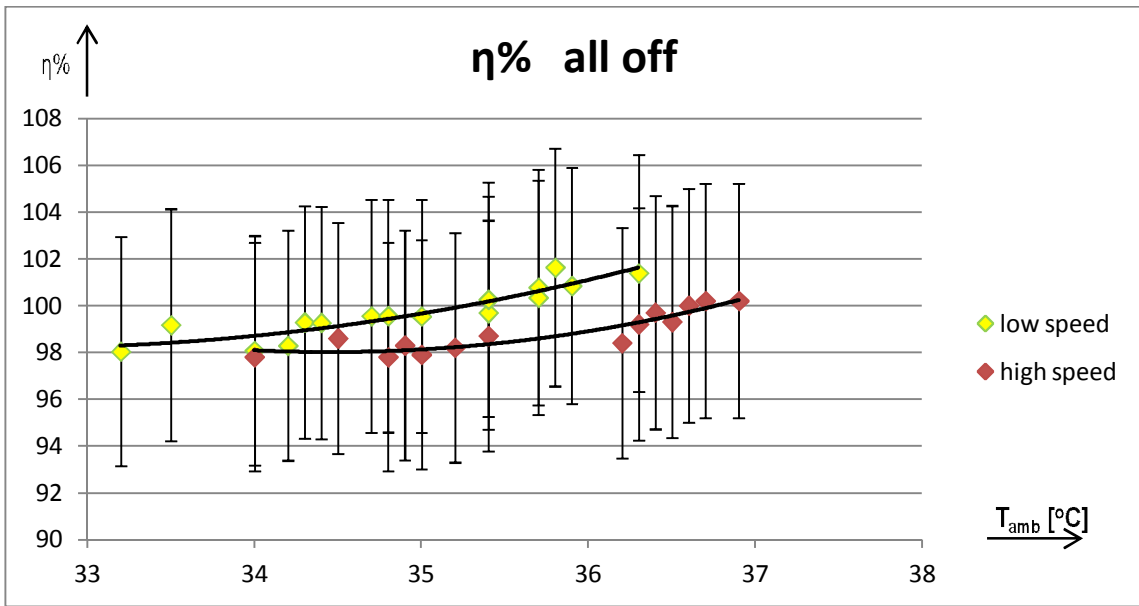


*Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος*

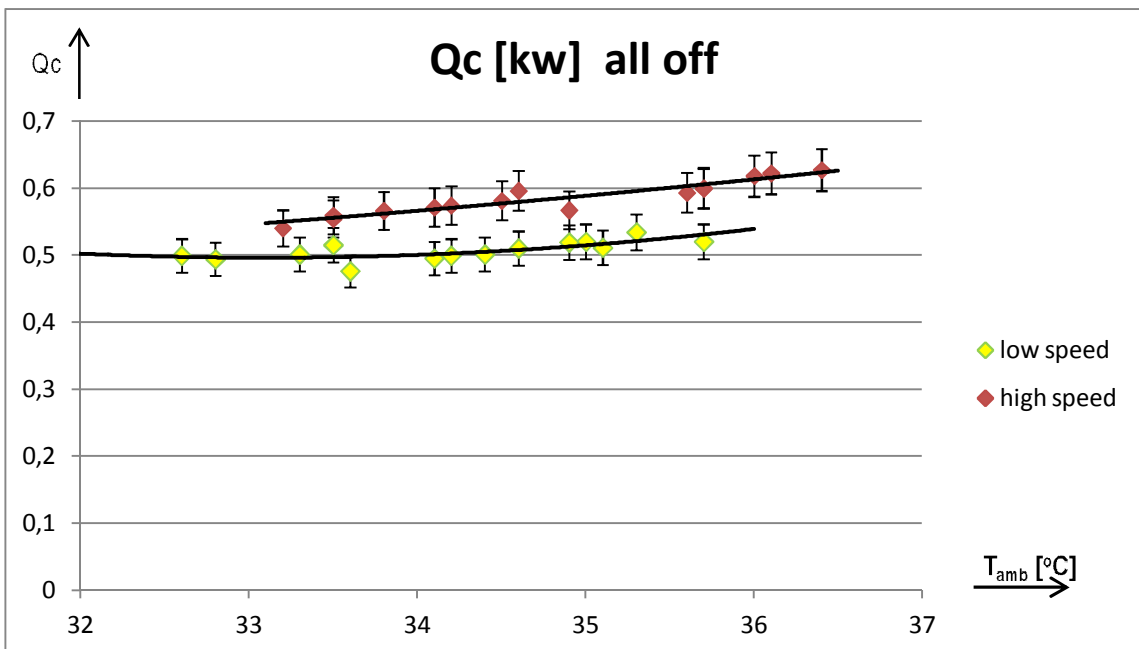


*Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*

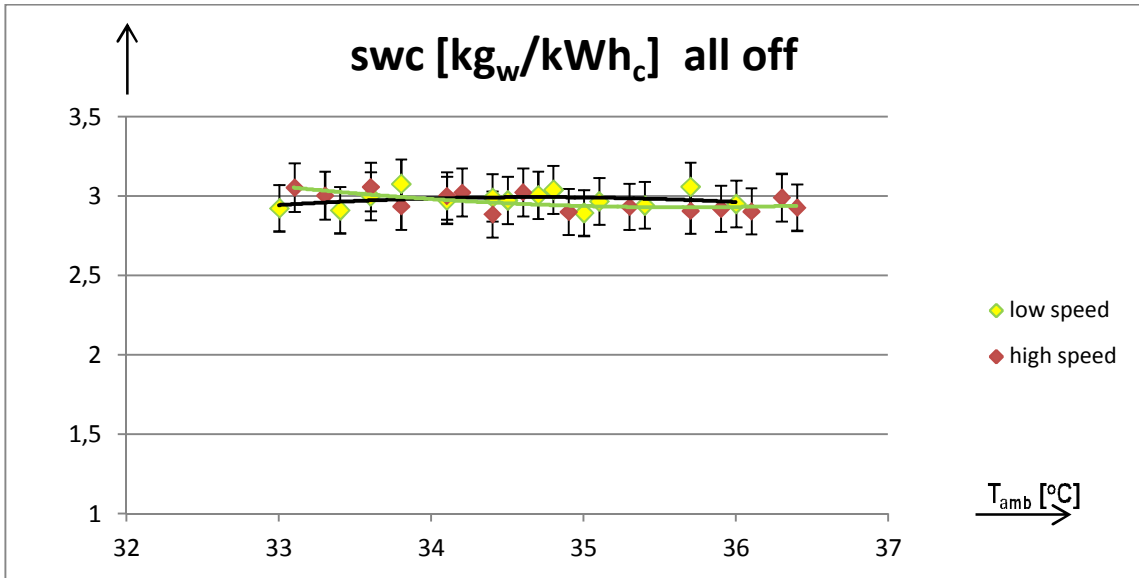
4.3.1.3: Σενάριο: Καμία αντίσταση σε λειτουργία



Διάγραμμα βαθμού απόδοσης

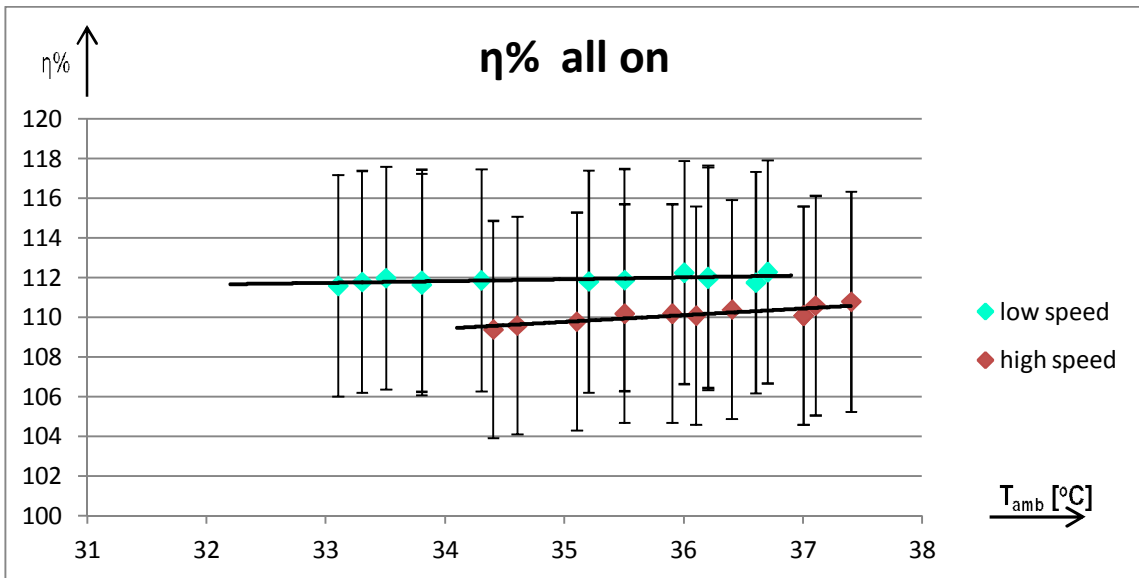


Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος

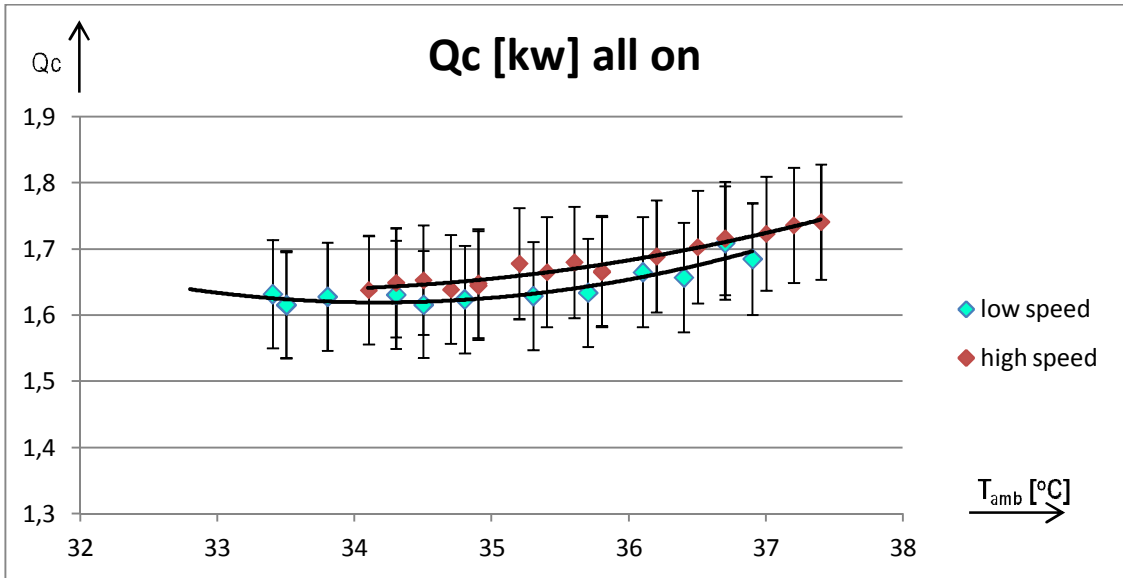


Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού

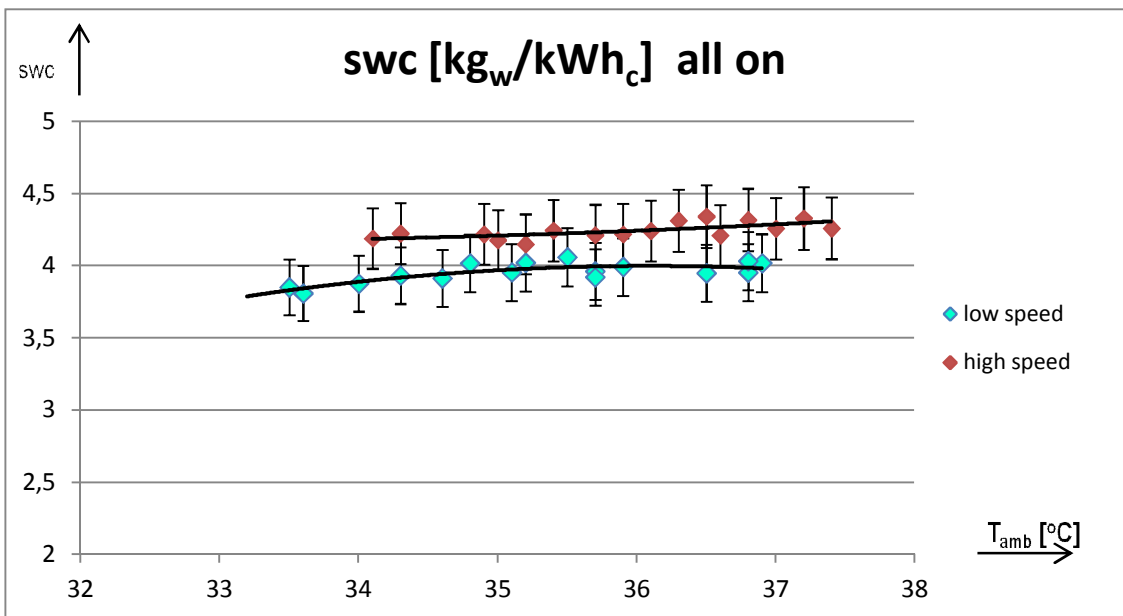
4.3.1.4: Σενάριο: Όλες οι αντιστάσεις σε λειτουργία



Διάγραμμα βαθμού απόδοσης

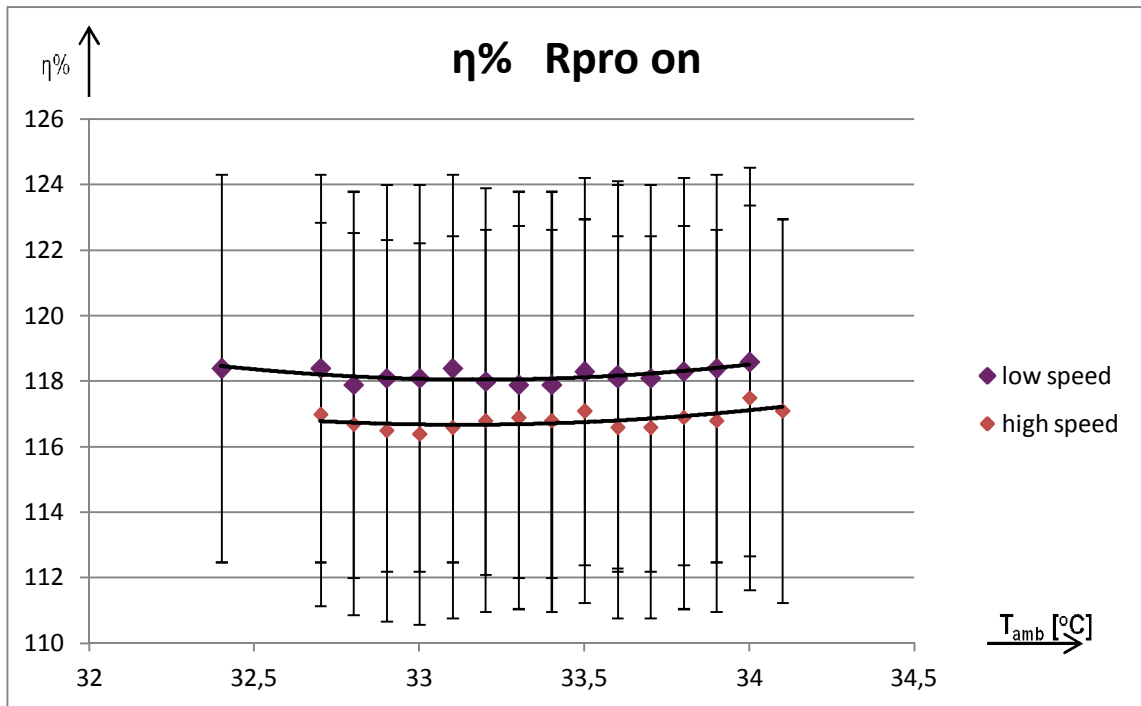


*Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος*

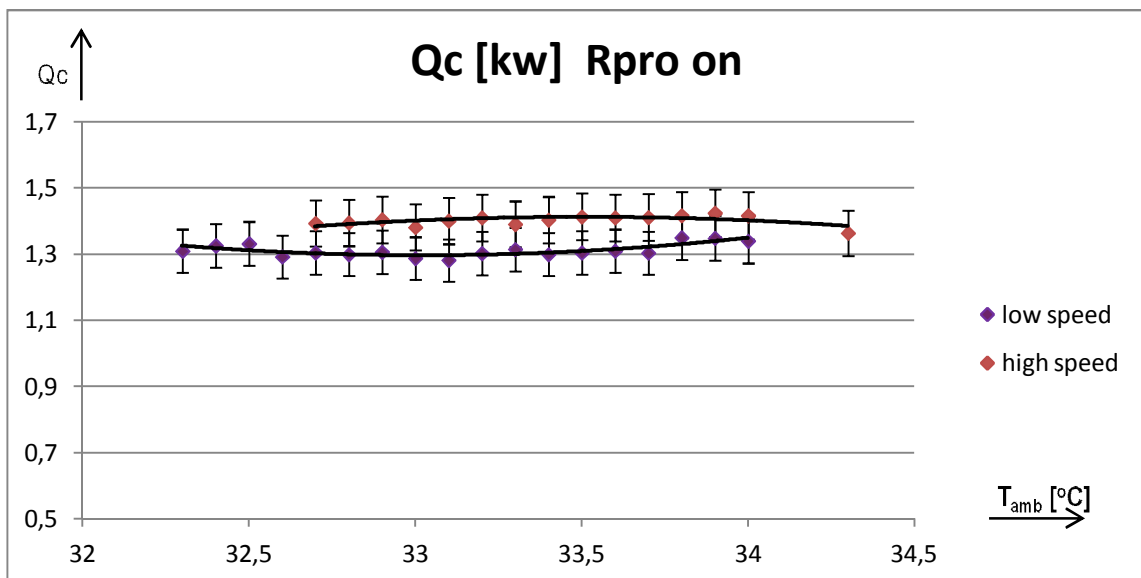


*Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*

4.3.1.5: Σενάριο: Σε λειτουργία η αντίσταση Rpro

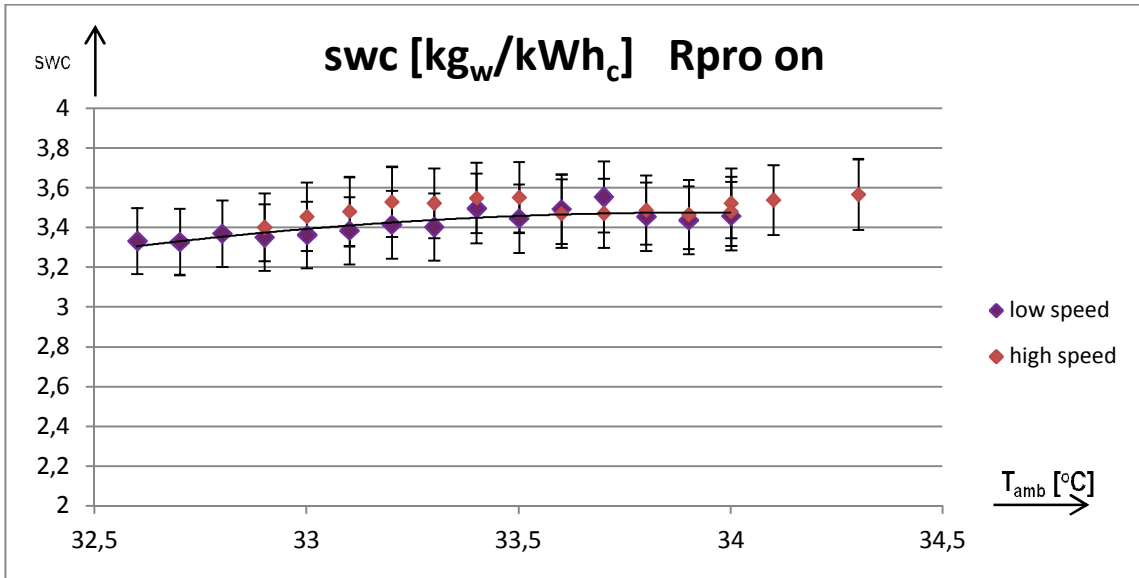


Διάγραμμα βαθμού απόδοσης



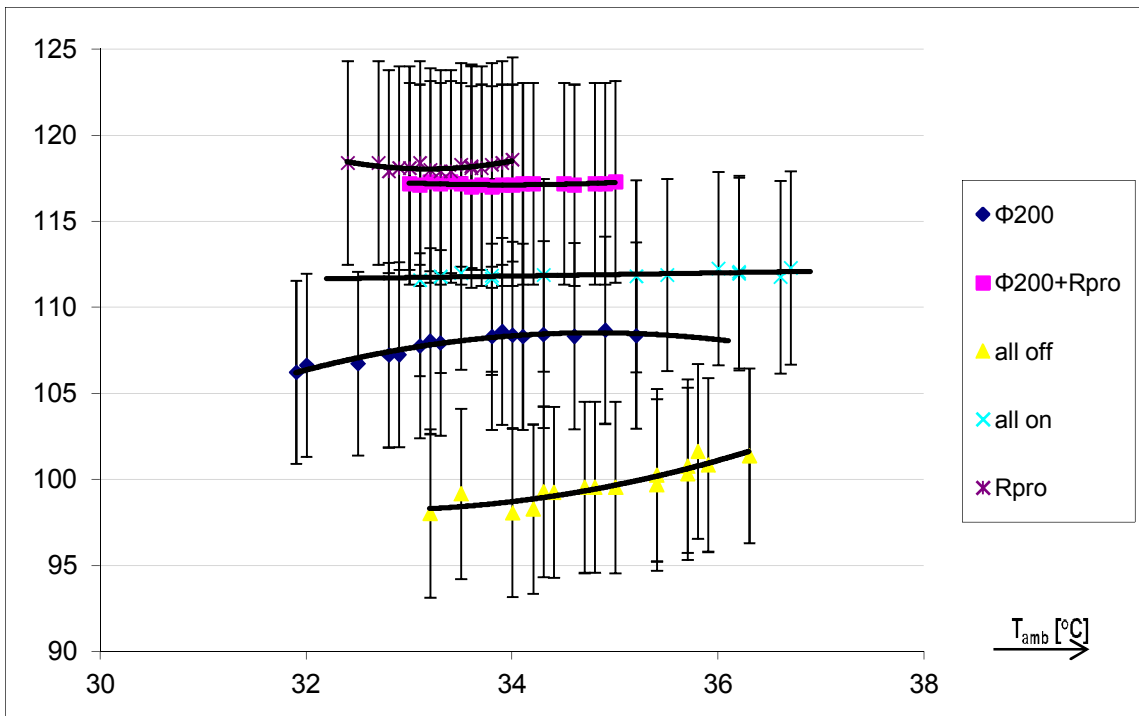
Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος



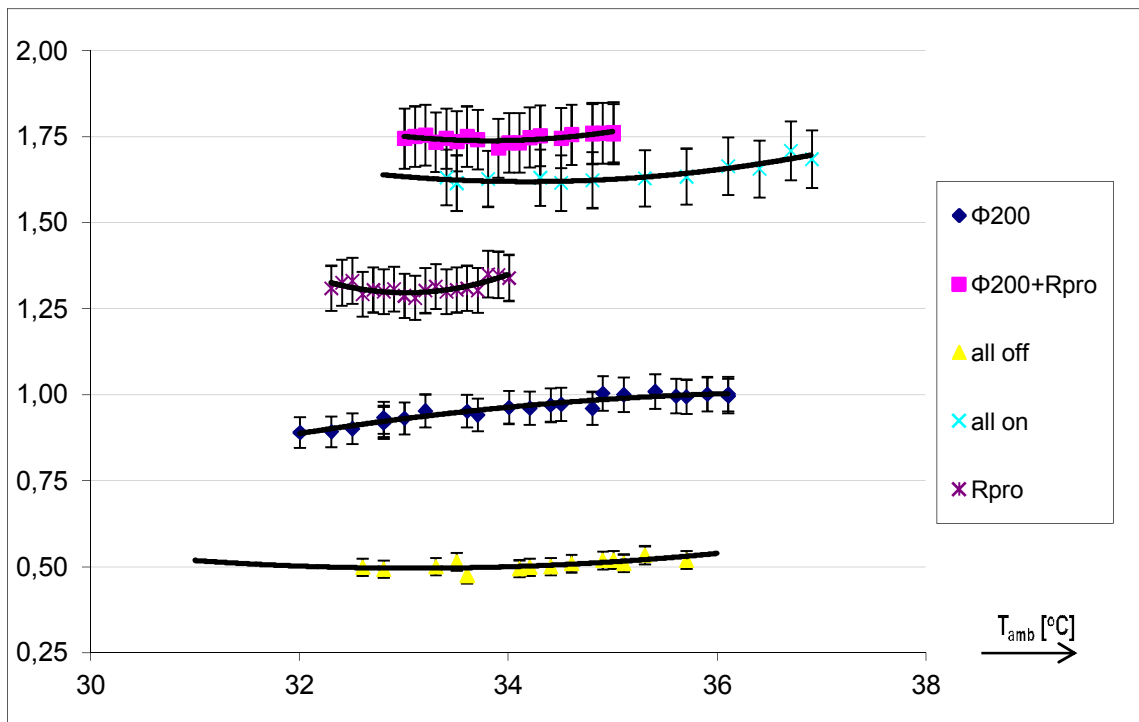


*Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*

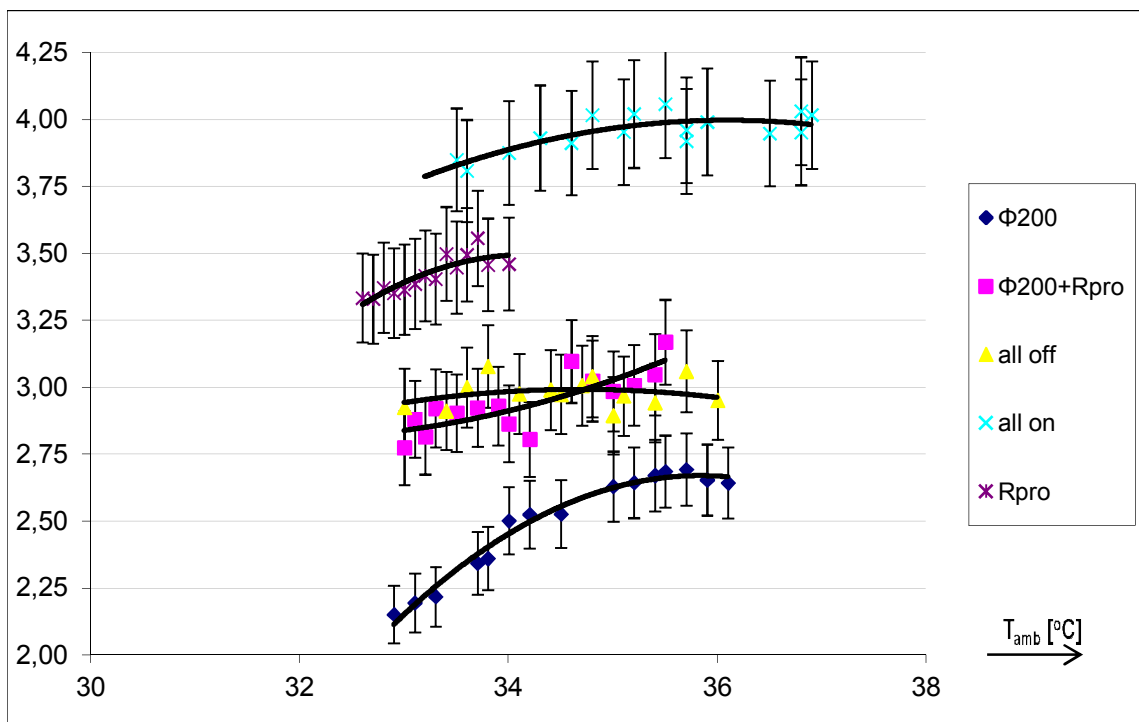
Στα επόμενα διαγράμματα, φαίνονται όλα τα σενάρια, συγκεντρωμένα για την κάθε τιμή σε ένα διάγραμμα, για την χαμηλή ταχύτητα του ανεμιστήρα.



*Διαγράμματα βαθμού απόδοσης*

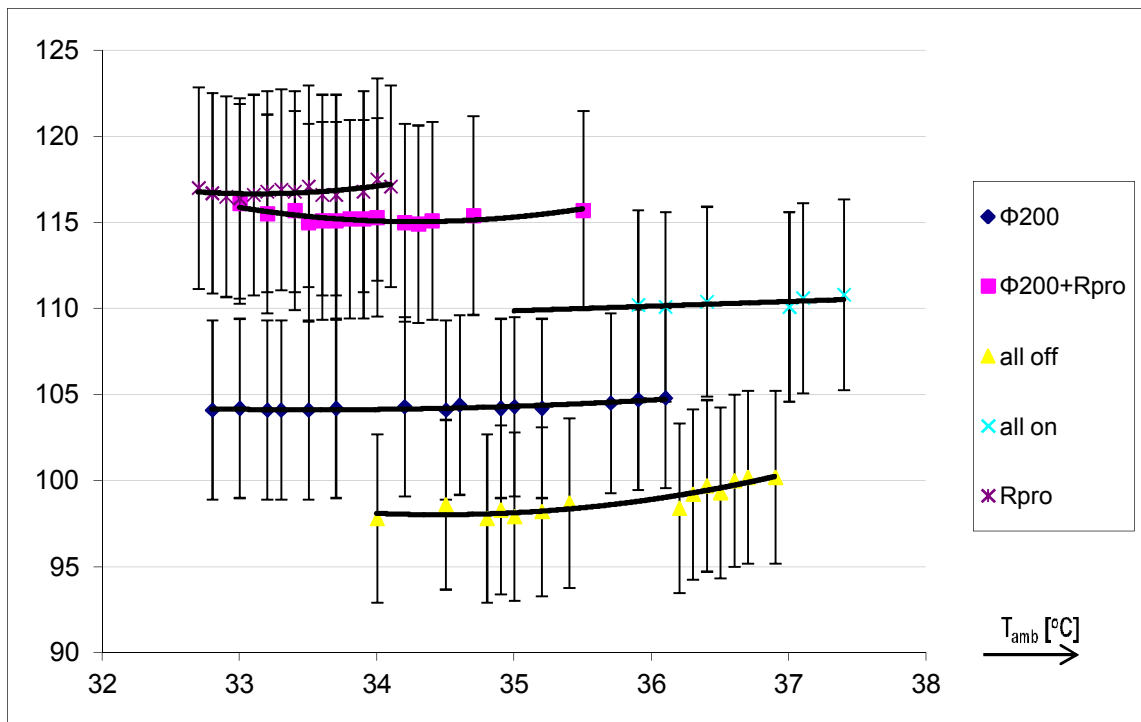


Διαγράμματα ψυκτικής ισχύος

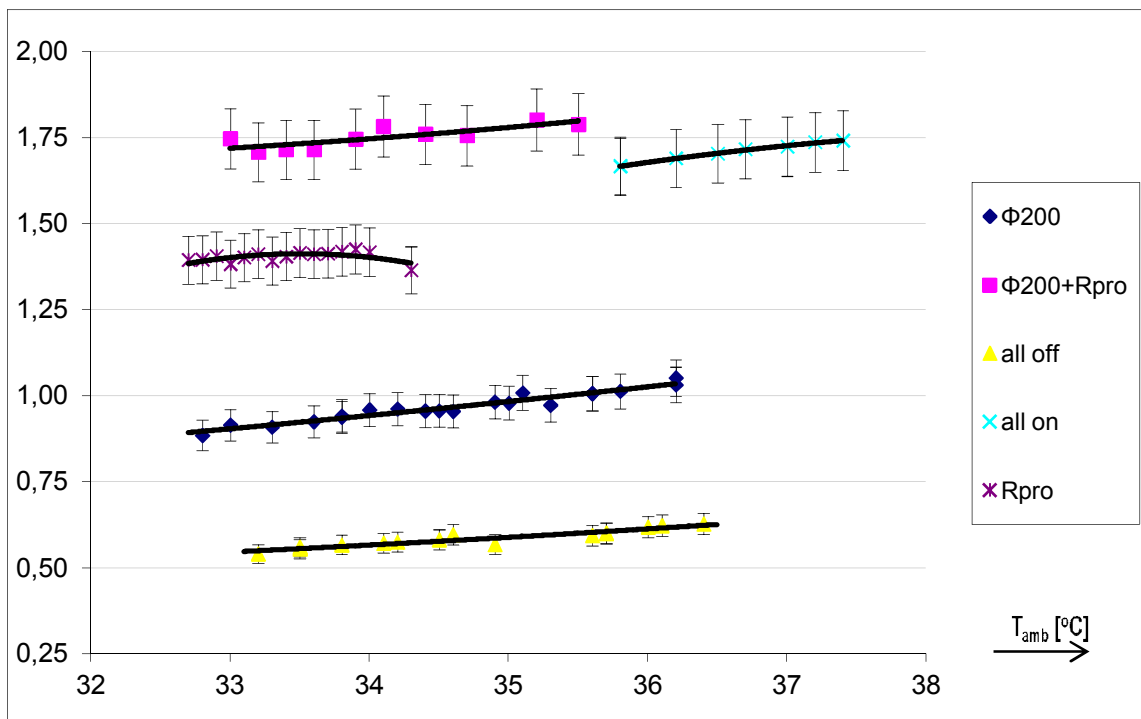


Διαγράμματα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού

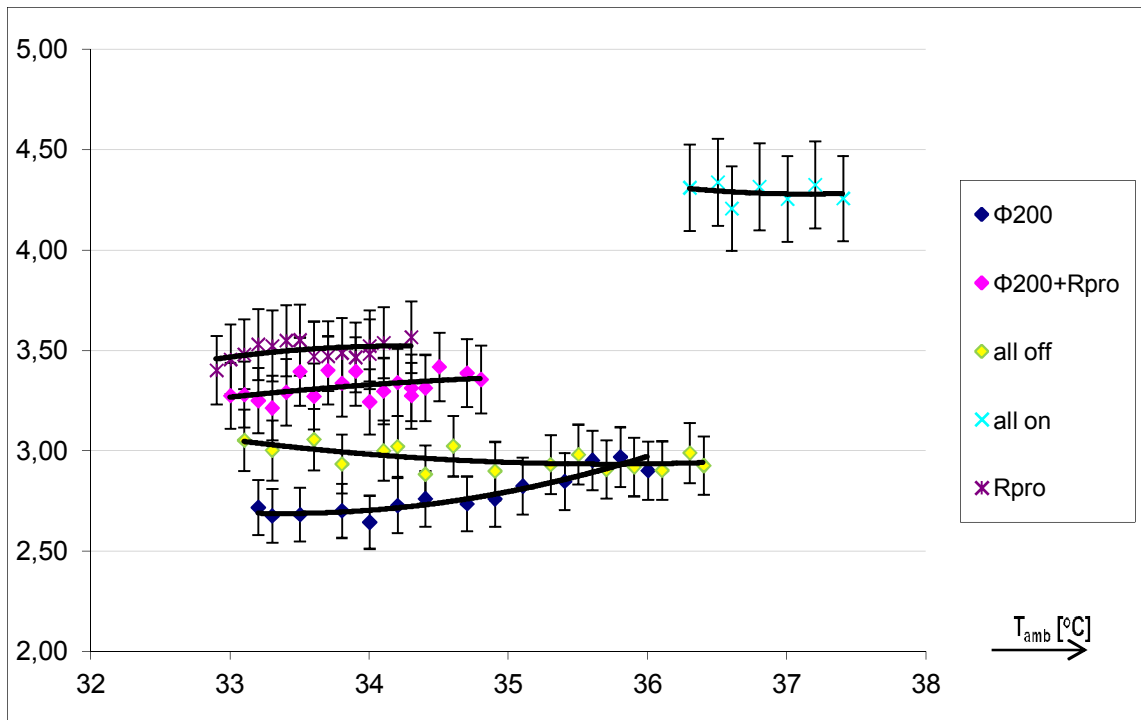
Ακολουθούν συγκεντρωμένα τα διαγράμματα για την υψηλή ταχύτητα.



Διαγράμματα βαθμού απόδοσης



Διαγράμματα ψυκτικής ισχύος



*Διαγράμματα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*

### **4.3.2: Παρατηρήσεις πάνω στα διαγράμματα**

#### **4.3.2.1: Σχολιασμός Βαθμού Απόδοσης**

Όπως, εύκολα, παρατηρείται από τα διαγράμματα, σε όλες τις περιπτώσεις η μονάδα λειτουργεί με υψηλότερο βαθμό απόδοσης στην χαμηλή ταχύτητα. Επιπλέον, στο συγκεντρωτικό διάγραμμα του βαθμού απόδοσης φαίνεται πως ο μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης συναντάται στο σενάριο με αναμμένη την αντίσταση  $R_{pro}$ , την αντίσταση δηλαδή του παραγόμενου ρεύματος. Αν και η θερμοκρασία του παραγόμενου ρεύματος, στο σενάριο όπου είναι σε λειτουργία εκτός της αντίστασης  $R_{pro}$  και η αντίσταση  $\varnothing 200$ , είναι μεγαλύτερη από αυτήν στο σενάριο στο οποίο είναι αναμμένη μόνο η  $R_{pro}$ , ο βαθμός απόδοσης είναι μικρότερος αφού υφίσταται προθέρμανση και το εργαζόμενο ρεύμα αέρα, με αποτέλεσμα η μετάδοση θερμότητας να γίνεται με μικρότερο βαθμό εξαιτίας της μικρής θερμοκρασιακής διαφοράς στα δύο ρεύματα. Από αυτό συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνει η θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη, τόσο αυξάνεται ο βαθμός απόδοσής του, αφού βέβαια, αυτός εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου εξόδου του παραγόμενου ή καλύτερα ψυχόμενου ρεύματος. Βέβαια, αν και ο μέγιστος βαθμός απόδοσης επετεύχθη στο σενάριο με αναμμένη την θερμική αντίσταση του παραγόμενου ρεύματος  $R_{pro}$ , με ψύξη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά  $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , αυτό δεν σημαίνει πως είναι ουσιαστικά και η πιο αποδοτική λύση, εφόσον δαπανήθηκε ενέργεια ενός  $1\text{ kw}$  για να κερδηθεί μόλις  $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε σχέση με το σενάριο των κλειστών αντιστάσεων, όπου επετεύχθη μείωση θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά  $11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ενώ προσφέρθηκαν  $0,5\text{ kw}$  ψυκτικής ισχύος σε αντίθεση με την περίπτωση της αντίστασης, όπου κερδήθηκαν μόλις  $0,225\text{ kw}$  ψυκτικής ισχύος. Συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος, πως η κατανάλωση  $1\text{ kw}$ , κοστίζει πολύ περισσότερο από αυτήν που κερδήθηκε, την καθιστά οικονομικά και ενεργειακά ασύμφορη. Ενδεικτικά, για το σενάριο χωρίς αντιστάσεις σε λειτουργία, αν λειτουργούσε, δηλαδή, η μονάδα υπό φυσιολογικές συνθήκες, για μια μέρα με θερμοκρασία περιβάλλοντος στους  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , πετυχαίνεται μείωση της θερμοκρασίας στους  $22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , δηλαδή θερμοκρασιακή μεταβολή  $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  και βαθμό απόδοσης  $\eta=99,5\%$ .

Γενικά ο βαθμός απόδοσης πρέπει να παρουσιάζει ανοδική τάση στα διαγράμματα, αφού αυξανόμενη της θερμοκρασίας αυξάνεται η θερμοκρασιακή διαφορά, άρα και ο βαθμός απόδοσης του εναλλάκτη. Όπου, βέβαια, παρατηρείται σταθερότητα ή και πτώση του βαθμού απόδοσης, οφείλετε στα διάφορα σφάλματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια λήψης των μετρήσεων. Επιπλέον, αυτό μπορεί να οφείλεται σε αδυναμία της συγκεκριμένης μονάδος να ανταπεξέλθει σε ένα σχετικά μεγαλύτερο θερμοκρασιακό εύρος. Αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος μπορεί να γίνει με αύξηση της επιφάνειας θερμοκρασιακής συναλλαγής του εναλλάκτη, είτε με αύξηση των επιπέδων των καναλιών, είτε με επιμήκυνση των εργαζόμενων καναλιών και πρόσθεση ψυχόμενων για τον ήδη υπάρχοντα αριθμό επιπέδων.

#### **4.3.2.2: Σχολιασμός Ψυκτικής Ισχύος**

Είναι γνωστό από τον τύπο της ψυκτικής ισχύος ότι  $Q_c = -m_{pro}(h_{pro_{out}} - h_{pro_{in}})$ . Επομένως γίνεται εύκολα κατανοητό πως η ισχύς εξαρτάται άμεσα από την παροχή αέρα στον εναλλάκτη. Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται εμφανώς αυτή η εξάρτηση, αφού η ισχύς είναι μεγαλύτερη για εκείνες τις τιμές της υψηλής ταχύτητας του ανεμιστήρα, όπου υψηλότερη ταχύτητα συνεπάγεται και υψηλότερη παροχή. Επίσης, για δεδομένη παροχή, η ψυκτική ισχύς επηρεάζεται και από την θερμοκρασιακή διαφορά εισόδου-εξόδου από τον εναλλάκτη. Έτσι, στα σενάρια με τις υψηλότερες θερμοκρασίες, τα οποία είναι εκείνο με όλες τις αντιστάσεις σε λειτουργία και εκείνο με τις Ø200 και R<sub>pro</sub>, συναντάται η μεγαλύτερη ισχύς, με το δεύτερο να υπερτερεί του πρώτου, αφού η μεγάλη θερμοκρασία στην είσοδο και η μικρή θερμοκρασία στην έξοδο, μεταφράζονται σε υψηλή και αντίστοιχα χαμηλή ενθαλπία, η μεγάλη διαφορά των οποίων αυξάνει την ψυκτική ισχύ. Η ελάχιστη διαφορά στα δύο αυτά σενάρια, οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη του παραγόμενου ρεύματος, για το σενάριο με όλες τις αντιστάσεις σε λειτουργία, είναι ελαφρώς υψηλότερη από αυτή του δεύτερου σεναρίου, εξαιτίας της μικρότερης συναλλαγής θερμοκρασίας η οποία οφείλεται στο θερμότερο εργαζόμενο ρεύμα αέρα. Όμως, παρόλο που στα διαγράμματα, η ψυκτική ισχύς παρουσιάζεται μεγαλύτερη όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και φαινομενικά υπάρχει κέρδος ισχύος, ουσιαστικά δαπανάται περισσότερη ενέργεια από αυτή που προσλαμβάνεται, εφόσον για να κερδηθούν 1,8 ή ακόμα και 2 kw ψυκτικής ισχύος, έχουν δαπανηθεί προηγουμένως 2 kw ενέργειας στις θερμικές αντιστάσεις για την προθέρμανση του αέρα. Επομένως, το σενάριο με όλες τις αντιστάσεις κλειστές είναι και πάλι το πιο προσοδοφόρο.

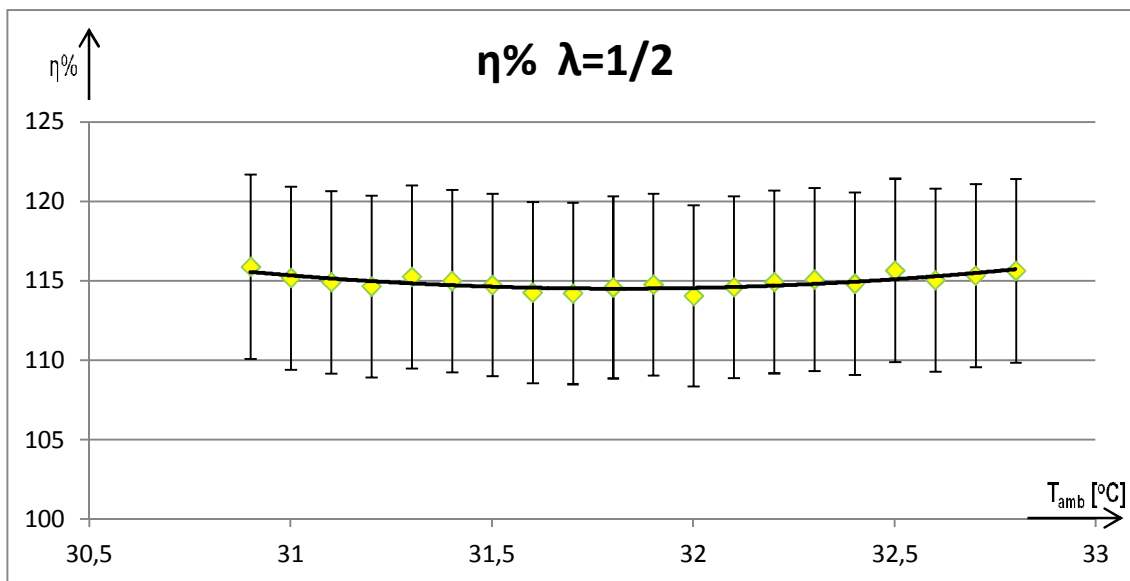
#### **4.3.2.3: Σχολιασμός Ειδικού Συντελεστή Κατανάλωσης Νερού**

Στην αρχή του κεφαλαίου αναλύθηκε ο τύπος του ειδικού συντελεστή κατανάλωσης νερού, από τον οποίο συμπεραίνεται ότι ο swc εξαρτάται τόσο από την παροχή αέρα όσο και από την θερμοκρασία. Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρείται πως στην υψηλή ταχύτητα, άρα και υψηλή παροχή, ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος από αυτόν στην χαμηλή ταχύτητα, εκτός του διαγράμματος της περίπτωσης των κλειστών αντιστάσεων που υπεισέρχεται και ο παρονομαστής της θερμοκρασίας. Γενικά, παρατηρείται πως σε υψηλή ταχύτητα και θερμοκρασία, ο εναλλάκτης εξατμίζει περισσότερο νερό που συνεπάγεται σε μεγαλύτερη κατανάλωση αυτού, άρα και υψηλό συντελεστή swc. Στο παρόν πείραμα, ο μεγαλύτερος συντελεστής συναντάται, προφανώς, στο σενάριο με όλες τις αντιστάσεις σε λειτουργία, για την υψηλή ταχύτητα. Βέβαια, αν εξεταστεί ο swc ως προς την πιο αποδοτική περίπτωση, η οποία είναι αυτή των κλειστών αντιστάσεων, παρατηρείται ότι ο εναλλάκτης είναι πολύ πιο οικονομικός, όσον αφορά την κατανάλωση νερού.

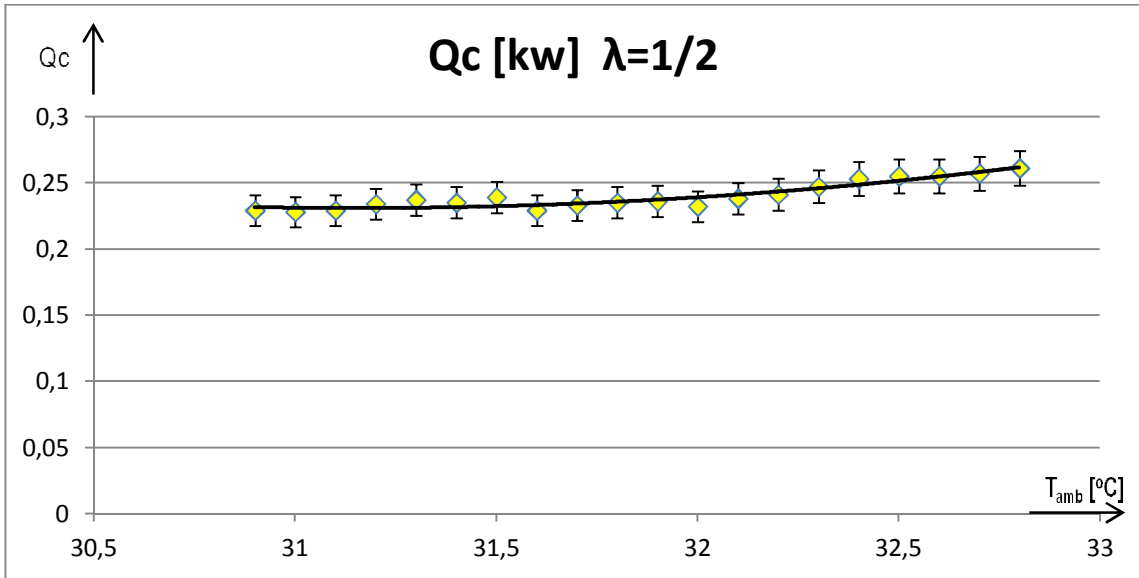
### 4.3.3: Ως προς τις παροχές

Στην συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα της πειραματικής διαδικασίας, με βάση την παραμετροποίηση ως προς τις παροχές του παραγόμενου ρεύματος. Έτσι, αυξομειώνοντας την παροχή με την χρήση των dampers, επετεύχθησαν τα σενάρια με τους λόγους παροχής που ακολουθούν, μόνο που σε αυτή τη σειρά σεναρίων ο ανεμιστήρας λειτουργούσε για όλες τις μετρήσεις στην χαμηλή ταχύτητα. Στα παρακάτω σενάρια χρησιμοποιείται ο όρος  $\lambda$ , που είναι ο λόγος  $\lambda = \frac{\text{παροχή product}}{\text{παροχή working}}$ .

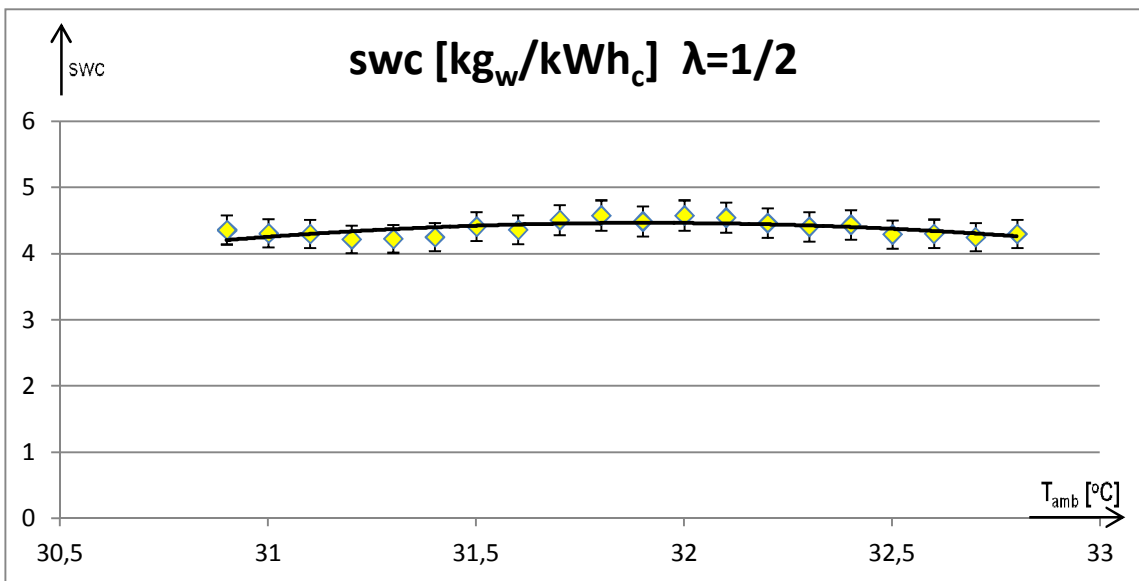
#### 4.3.3.1: Σενάριο: Μειωμένη παροχή product $\lambda=1/2$



Διάγραμμα βαθμού απόδοσης



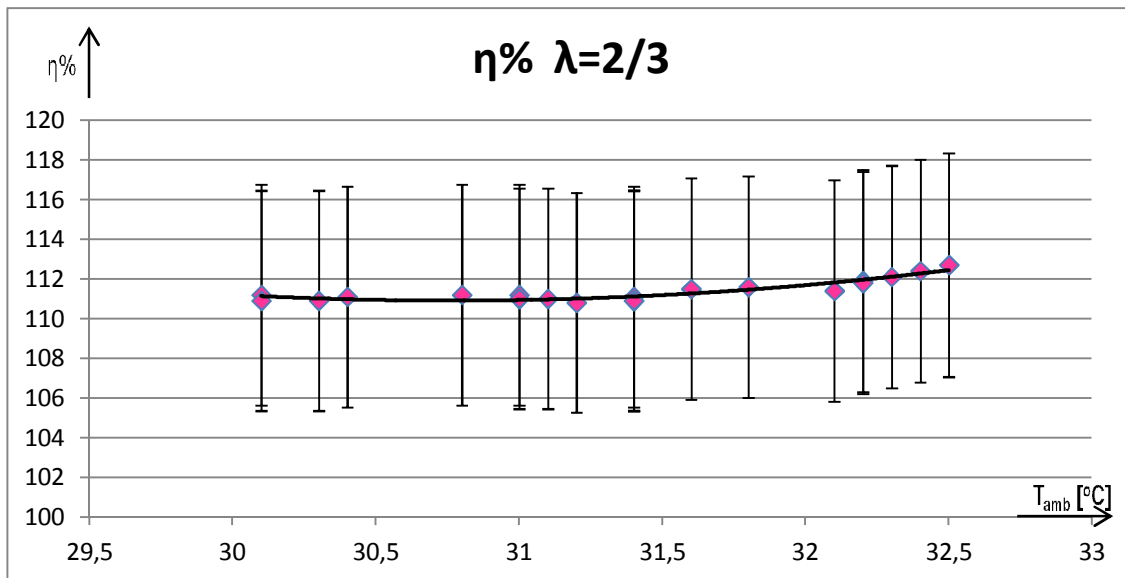
*Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος*



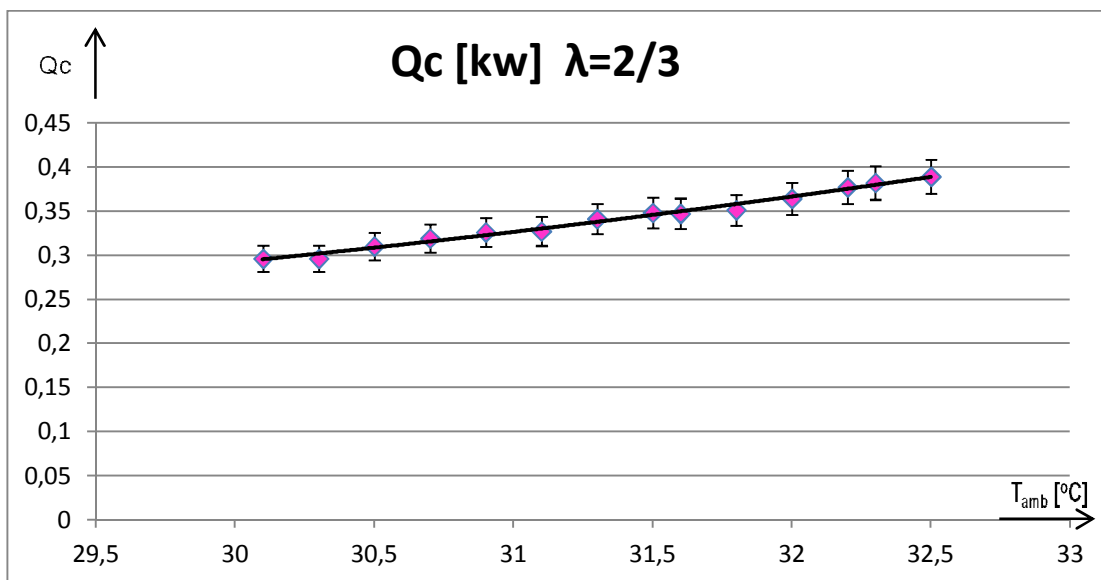
*Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*



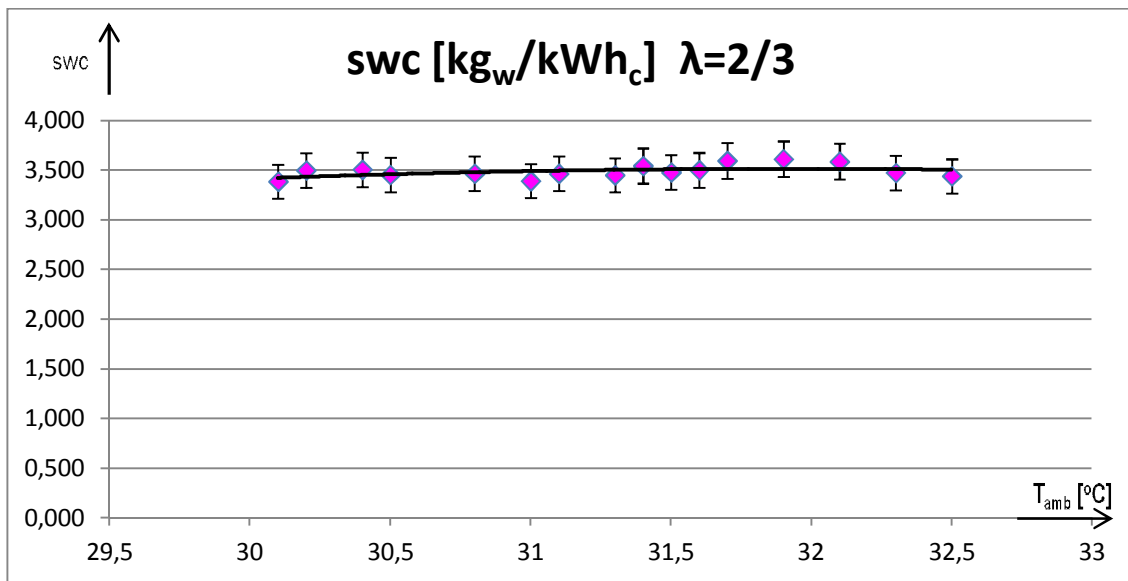
4.3.3.2: Σενάριο: Μειωμένη παροχή product  $\lambda=2/3$



Διάγραμμα βαθμού απόδοσης

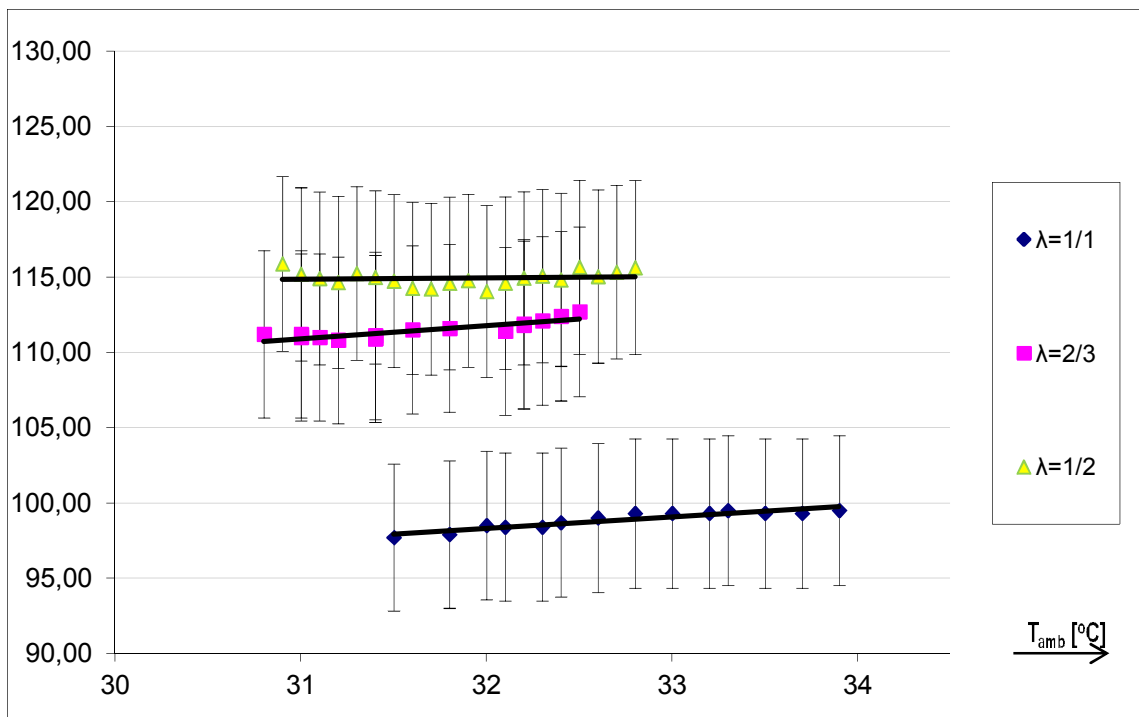


Διάγραμμα ψυκτικής ισχύος

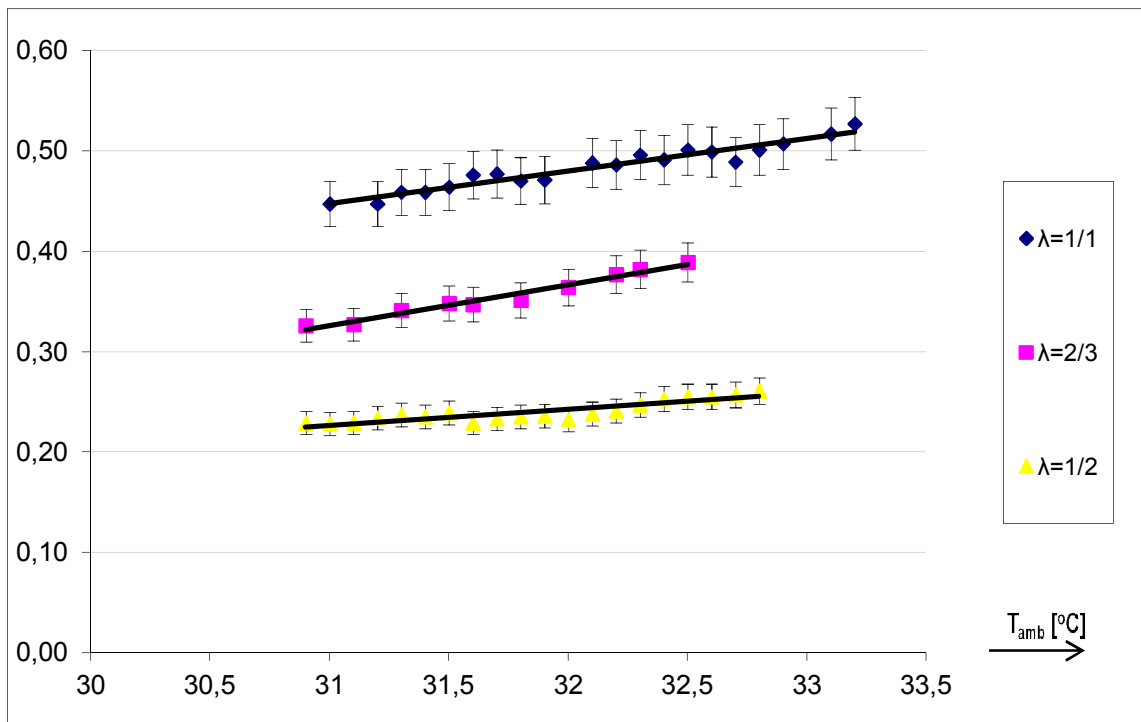


*Διάγραμμα συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού*

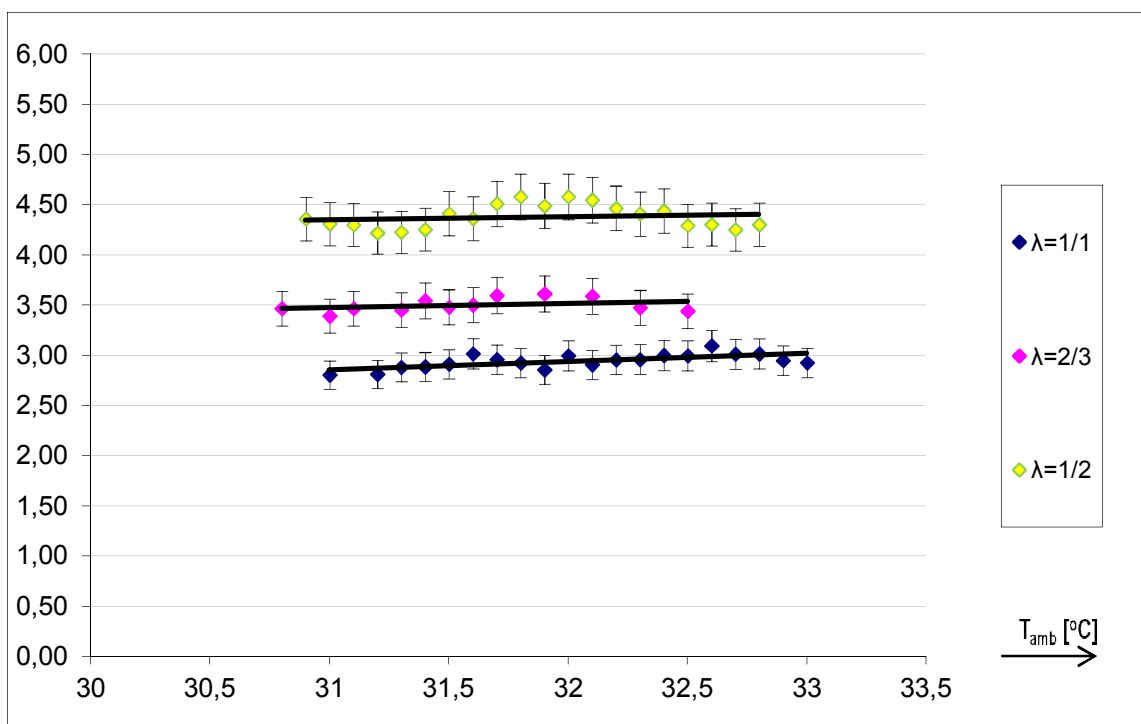
Ακλουθούν συγκεντρωτικά διαγράμματα του βαθμού απόδοσης, της ψυκτικής ισχύος και του ειδικού συντελεστή κατανάλωσης νερού, για τα σενάρια λειτουργίας 1/1, 1/2 και 2/3.



*Συγκεντρωτικό διάγραμμα βαθμού απόδοσης*



Συγκεντρωτικό διάγραμμα ψυκτικής ισχύος



Συγκεντρωτικό διάγραμμα ειδικού συντελεστή κατανάλωσης νερού

#### **4.3.4: Παρατηρήσεις πάνω στα διαγράμματα**

Για την συγκεκριμένη σειρά σεναρίων ο βαθμός απόδοσης παρατηρείται υψηλότερος στην περίπτωση του λόγου αέρα  $\lambda=1/2$ , στην μικρότερη δηλαδή παροχή του παραγόμενου ρεύματος. Ο αυξημένος αυτός βαθμός απόδοσης, οφείλεται στο γεγονός ότι η δεδομένη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης παραλαμβάνεται από μικρότερη μάζα ψυχόμενου ρεύματος. Το ίδιο ισχύει και για το σενάριο  $\lambda=2/3$  αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η ψυκτική ισχύς, όπως αναμενόταν, είναι μεγαλύτερη στο σενάριο με παροχή 1/1, διότι στην περίπτωση που υποδιπλασιάζεται η παροχή στο παραγόμενο ρεύμα θα έπρεπε η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου εξόδου στο ίδιο ρεύμα να διπλασιαζόταν, για να παρέμενε σταθερή η ψυκτική ισχύς, κάτι που βέβαια δεν συμβαίνει. Επίσης, ο λόγος παροχής επηρεάζει και τον συντελεστή ειδικής κατανάλωσης νερού, εφόσον στον τύπο υπολογισμού του εμπεριέχεται το κλάσμα  $\frac{\text{παροχή working}}{\text{παροχή product}}$ . Άρα ο λόγος της περίπτωσης  $\lambda=1/2$  είναι αυτός που δίνει το μεγαλύτερο αποτέλεσμα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα υπολογίστηκαν στο λογισμικό Mathcad. Τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν δημιουργήθηκαν στο λογισμικό Microsoft office excel.

#### **4.4: Δεδομένα και αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας**

Τα δεδομένα όλων των παραπάνω διαγραμμάτων επεξεργάστηκαν στο λογισμικό Mathcad με βάση τους τύπους που αναφέρονται στην αρχή αυτού του κεφαλαίου. Στην συνέχεια παρατίθενται τα δεδομένα από την λήψη των μετρήσεων, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία αυτών. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι περιπτώσεις, οι οποίες είναι πιο κοντά στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και ουσιαστικά από οικονομικής, ενεργειακής και τεχνικής άποψης οι αποδοτικότερες, οι οποίες είναι η περίπτωση των κλειστών αντιστάσεων, παραμετροποιημένη ως προς την υψηλή-χαμηλή ταχύτητα του ανεμιστήρα και η περίπτωση της μειωμένης παροχής στο ψυχόμενο ρεύμα με λόγο  $\lambda=1/2$ . Επίσης, για λόγους επιστημονικού ενδιαφέροντος, για την εξέταση των ψυκτικών δυνατοτήτων της εξαμιστικής μονάδας Maisotsenko, παρατίθενται τα αποτελέσματα του σεναρίου, στο οποίο βρίσκεται σε λειτουργία η αντίσταση Rpro. Οι τιμές στα δεδομένα και αποτελέσματα που ακολουθούν είναι ενδεικτικές για το θερμοκρασιακό εύρος της ημέρας των μετρήσεων των συγκεκριμένων σεναρίων, τα οποία επιλέχτηκαν από τα αντίστοιχα νέφη δεδομένων.

#### **4.4.1: Δεδομένα και αποτελέσματα σεναρίου κλειστών αντιστάσεων**

##### **4.4.1.1: Χαμηλή ταχύτητα**

Rh amb	T amb	RH pro-in	T pro-in	RH pro-out	T pro-out	RH wor-in	T wor-in	RH wor-out	T wor-out
32.70	32.60	30.40	33.40	60.60	20.50	30.80	33.40	78.90	29.70
33.40	32.80	31.00	33.50	61.60	20.70	31.50	33.50	81.60	29.90
32.60	33.30	30.40	33.90	61.00	20.90	31.00	33.90	81.80	30.00
34.40	33.50	32.10	34.10	63.60	21.10	32.60	34.10	82.40	30.20
35.20	34.20	33.00	34.70	65.90	21.80	33.70	34.70	83.20	30.60
36.60	33.60	34.10	34.20	64.80	22.10	34.70	34.20	82.90	30.50
35.60	34.10	33.40	34.70	64.50	22.20	34.00	34.70	82.70	30.90
35.60	34.40	33.40	34.90	65.30	22.20	34.00	34.90	82.90	31.00
33.90	34.60	31.60	35.10	62.70	22.10	32.20	35.10	82.30	31.00
34.30	35.00	32.20	35.50	65.10	22.20	32.90	35.40	83.20	31.20
32.90	34.90	30.70	35.50	62.50	22.10	31.30	35.50	81.80	31.40
32.70	35.30	30.50	35.80	62.80	22.10	31.10	35.80	82.10	31.60
33.50	35.10	31.20	35.60	64.10	22.20	31.70	35.60	80.40	31.40
32.40	35.70	30.30	36.10	63.90	22.30	30.90	36.10	81.50	31.60

***Πίνακας δεδομένων μετρήσεων***

Twb pro_in	h pro_in	v pro_out	Twb pro_out	h pro_out	Twb wor_in	W wor_in	v wor_out	Twb wor_out	W wor_out
20.478	58.551	0.874	15.657	43.706	20.574	9,89E+00	0.874	26.638	0.021
20.693	59.3	0.874	15.965	44.593	20.813	0.01	0.874	27.24	0.022
20.834	59.782	0.875	16.058	44.859	20.98	0.01	0.875	27.366	0.022
21.391	61.759	0.876	16.585	46.408	21.511	0.011	0.876	27.647	0.023
22.046	64.134	0.878	17.516	49.216	22.216	0.012	0.878	28.15	0.023
21.943	63.771	0.877	17.631	49.564	22.085	0.012	0.877	28.009	0.023
22.143	64.495	0.878	17.678	49.707	22.289	0.012	0.878	28.359	0.024
22.29	65.036	0.879	17.788	50.053	22.436	0.012	0.879	28.485	0.024
21.992	63.918	0.879	17.339	48.663	22.141	0.011	0.879	28.393	0.024
22.432	65.546	0.881	17.761	49.966	22.534	0.012	0.88	28.722	0.024
22.053	64.13	0.88	17.311	48.578	22.206	0.011	0.88	28.695	0.024
22.217	64.728	0.881	17.353	48.706	22.371	0.011	0.881	28.932	0.024
22.252	64.867	0.881	17.622	49.534	22.379	0.012	0.881	28.474	0.024
22.38	65.326	0.882	17.682	49.719	22.535	0.012	0.882	28.837	0.024

*Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων*

W pro_in	W pro_out	m pro	m wor	m <sub>w</sub>	η	Qc	swc
9,76E+00	9,10E+00	0.034	0.035	1.399	99.8	0.499	2.803
0.01	9,37E+00	0.034	0.035	1.489	99.9	0.494	3.012
0.01	9,39E+00	0.034	0.035	1.502	99.5	0.501	2.999
0.011	9,92E+00	0.034	0.035	1.472	102.3	0.515	2.86
0.011	0.011	0.033	0.035	1.469	101.9	0.499	2.945
0.011	0.011	0.033	0.035	1.441	98.7	0.476	3.028
0.012	0.011	0.033	0.035	1.49	99.5	0.495	3.013
0.012	0.011	0.033	0.035	1.497	100.7	0.501	2.99
0.011	0.01	0.033	0.035	1.539	99.2	0.51	3.02
0.012	0.011	0.033	0.035	1.55	101.8	0.52	2.983
0.011	0.01	0.033	0.035	1.598	99.7	0.519	3.08
0.011	0.01	0.033	0.035	1.629	100.9	0.534	3.051
0.011	0.011	0.033	0.035	1.517	100.4	0.511	2.967
0.011	0.011	0.033	0.035	1.59	100.6	0.52	3.059

*Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων*



4.4.1.2: Υψηλή ταχύτητα

Rh amb	T amb	RH pro-in	T pro-in	RH pro-out	T pro-out	RH wor-in	T wor-in	RH wor-out	T wor-out
31.40	35.60	29.20	36.10	59.70	22.30	29.70	36.10	80.90	31.80
30.00	36.40	28.00	36.90	59.40	22.30	28.60	36.90	80.80	32.10
30.30	36.00	28.20	36.70	59.30	22.30	28.70	36.70	80.90	32.00
31.30	35.70	29.00	36.30	60.00	22.30	29.40	36.30	80.10	31.90
31.20	35.70	28.90	36.40	60.90	22.20	29.40	36.40	80.10	31.80
30.00	36.10	27.90	36.60	59.00	22.10	28.40	36.60	78.70	31.90
31.10	34.90	28.70	35.80	60.30	22.00	29.00	35.80	79.10	31.80
30.50	34.60	28.10	35.40	57.70	21.50	28.40	35.40	80.00	31.40
30.40	34.50	27.90	35.30	57.10	21.60	28.30	35.30	80.50	31.20
30.90	34.20	28.30	35.00	57.90	21.40	28.60	35.10	78.40	31.20
31.10	34.10	28.50	34.90	58.00	21.40	28.90	34.90	79.20	31.10
32.20	33.50	29.50	34.40	58.60	21.30	29.90	34.40	79.50	30.80
31.80	33.80	29.10	34.60	58.50	21.30	29.50	34.60	79.30	30.80
32.10	33.20	29.40	34.10	58.50	21.20	29.70	34.10	79.40	30.60
34.50	33.50	31.60	34.20	62.30	21.30	31.90	34.30	81.40	30.40

*Πίνακας δεδομένων μετρήσεων*

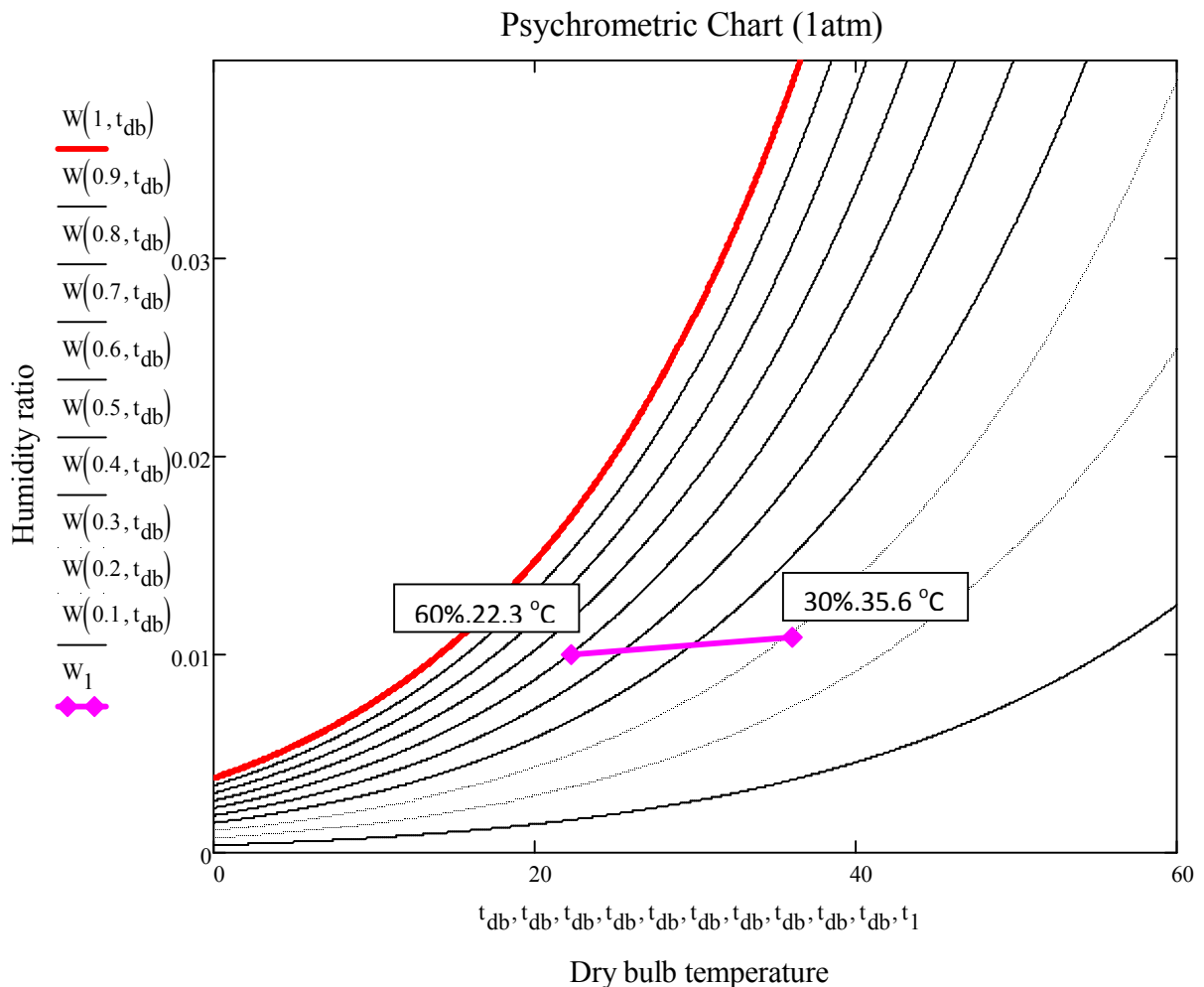
Twb pro_in	h pro_in	v pro_out	Twb pro_out	h pro_out	Twb wor_in	W wor_in	v wor_out	Twb wor_out	W wor_out
22.093	64.253	0.882	17.09	47.896	22.224	0.011	0.882	28.932	0.024
22.334	65.123	0.884	17.047	47.766	22.497	0.011	0.884	29.2	0.025
22.248	64.81	0.884	17.033	47.722	22.383	0.011	0.884	29.121	0.025
22.181	64.575	0.883	17.133	48.026	22.287	0.011	0.883	28.899	0.024
22.225	64.735	0.883	17.174	48.154	22.358	0.011	0.883	28.805	0.024
22.098	64.253	0.883	16.818	47.078	22.232	0.011	0.883	28.674	0.024
21.75	63.002	0.881	16.916	47.375	21.829	0.011	0.881	28.644	0.024
21.314	61.433	0.88	16.12	45.021	21.392	0.01	0.88	28.411	0.023
21.192	61	0.879	16.12	45.021	21.296	0.01	0.879	28.301	0.023
21.086	60.633	0.878	16.062	44.856	21.233	0.01	0.879	27.968	0.023
21.067	60.57	0.878	16.076	44.897	21.169	0.01	0.878	28.001	0.023
20.968	60.235	0.877	16.074	44.894	21.067	0.01	0.877	27.766	0.022
21.009	60.373	0.877	16.06	44.853	21.109	0.01	0.877	27.735	0.022
20.731	59.41	0.876	15.974	44.605	20.805	9,91E+00	0.876	27.562	0.022
21.342	61.579	0.876	16.584	46.399	21.487	0.011	0.877	27.684	0.022

*Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων*



W pro_in	W pro_out	m pro	m wor	m <sub>w</sub>	η	Qc	swc
0.011	0.01	0.036	0.038	1.791	98.5	0.593	3.021
0.011	9,97E+00	0.036	0.038	1.831	100.2	0.627	2.918
0.011	9,96E+00	0.036	0.038	1.829	99.6	0.618	2.958
0.011	0.01	0.036	0.038	1.774	99.2	0.599	2.96
0.011	0.01	0.036	0.038	1.746	100.2	0.6	2.908
0.011	9,78E+00	0.036	0.038	1.741	100.0	0.622	2.8
0.011	9,94E+00	0.036	0.038	1.778	98.2	0.567	3.135
0.01	9,22E+00	0.036	0.038	1.804	98.7	0.596	3.025
9,95E+00	9,18E+00	0.036	0.038	1.801	97.1	0.581	3.1
9,93E+00	9.19e-3	0.036	0.038	1.717	97.7	0.574	2.99
9,95E+00	9,21E+00	0.036	0.038	1.733	97.6	0.571	3.037
0.01	9,25E+00	0.036	0.038	1.684	97.5	0.559	3.011
9,99E+00	9,23E+00	0.036	0.038	1.679	97.9	0.566	2.968
9,81E+00	9,17E+00	0.037	0.038	1.679	96.5	0.54	3.106
0.011	9,84E+00	0.036	0.038	1.6	100.3	0.554	2.891

Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων



Ενδεικτική μεταβολή κάποιου σημείου σε διάγραμμα ψυχομετρικού χάρτη

**4.4.2: Δεδομένα και αποτελέσματα σεναρίου με λόγο παροχών  $\lambda=1/2$**

Rh amb	T amb	RH pro-in	T pro-in	RH pro-out	T pro-out	RH wor-in	T wor-in	RH wor-out	T wor-out
37.60	30.30	34.40	30.90	75.80	17.80	34.50	31.20	90.20	25.20
37.20	30.60	34.30	31.00	75.60	17.90	34.40	31.40	90.40	25.20
36.40	30.70	33.70	31.10	74.00	18.00	33.60	31.60	90.00	25.40
36.60	30.90	33.90	31.20	74.40	18.00	33.80	31.70	90.00	25.30
36.30	31.00	33.90	31.30	74.60	18.00	33.60	31.70	89.90	25.20
36.60	31.00	34.00	31.40	75.10	18.10	33.80	31.90	89.90	25.30
37.10	30.90	34.30	31.50	75.70	18.10	34.10	31.90	90.20	25.50
36.70	31.30	34.20	31.60	75.70	18.40	34.00	32.10	90.30	25.60
36.50	31.20	33.90	31.70	75.10	18.40	33.60	32.10	90.20	25.50
37.00	31.30	34.00	31.80	75.70	18.40	33.90	32.10	90.50	26.10
37.10	31.30	34.00	31.90	76.10	18.40	33.90	32.20	90.20	25.90
36.20	31.50	33.40	32.00	75.40	18.50	33.20	32.40	90.20	26.00
35.80	31.60	33.00	32.10	75.00	18.40	32.80	32.50	90.20	25.90
35.00	31.80	32.30	32.20	74.40	18.30	32.10	32.60	90.10	26.00
34.60	31.70	31.70	32.30	74.20	18.10	31.60	32.70	90.00	26.00
34.30	31.90	31.70	32.40	74.60	18.00	31.50	32.80	89.80	25.90
32.90	32.10	30.20	32.50	73.00	17.80	30.00	33.00	89.70	25.80
32.40	32.30	30.00	32.60	73.10	17.80	29.60	33.10	89.70	25.70
32.20	32.20	29.80	32.70	73.00	17.80	29.40	33.10	90.10	25.70
31.40	32.40	29.10	32.80	72.00	17.70	28.70	33.30	89.40	25.70

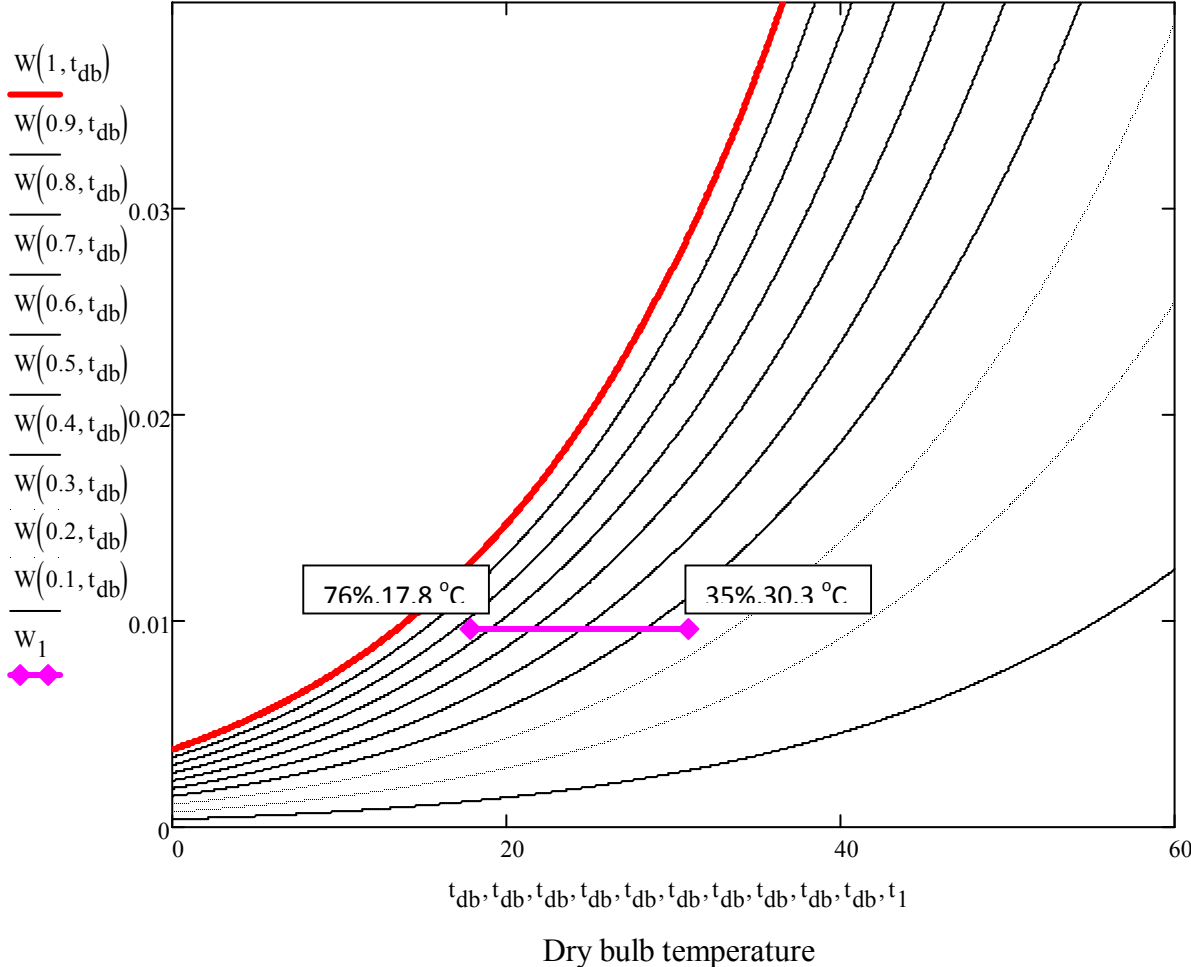
**Πίνακας δεδομένων μετρήσεων**

Twb pro_in	h pro_in	v pro_out	Twb pro_out	h pro_out	Twb wor_in	W wor_in	v wor_out	Twb wor_out	W wor_out
19.574	55.555	0.866	15.132	42.281	19.817	9,78E+00	0.867	23.943	0.018
19.626	55.726	0.867	15.201	42.474	19.943	9,86E+00	0.868	23.969	0.018
19.569	55.532	0.867	15.106	42.204	19.914	9,74E+00	0.869	24.111	0.018
19.687	55.922	0.867	15.153	42.337	20.032	9,86E+00	0.869	24.014	0.018
19.76	56.166	0.868	15.177	42.403	19.988	9,80E+00	0.869	23.904	0.018
19.856	56.486	0.868	15.327	42.827	20.179	9,97E+00	0.869	24.001	0.018
19.995	56.957	0.868	15.397	43.027	20.246	0.01	0.87	24.235	0.019
20.047	57.13	0.869	15.675	43.814	20.371	0.01	0.87	24.345	0.019
20.054	57.152	0.869	15.604	43.61	20.281	0.01	0.87	24.235	0.019
20.15	57.476	0.869	15.675	43.814	20.349	0.01	0.87	24.859	0.019
20.224	57.726	0.87	15.722	43.95	20.422	0.01	0.87	24.624	0.019
20.163	57.513	0.87	15.732	43.975	20.41	0.01	0.871	24.721	0.019
20.146	57.451	0.87	15.592	43.576	20.392	0.01	0.871	24.624	0.019
20.06	57.152	0.87	15.429	43.112	20.304	9.85e-3	0.871	24.708	0.019
19.994	56.927	0.87	15.222	42.527	20.26	9,75E+00	0.872	24.695	0.019
20.067	57.169	0.871	15.177	42.403	20.308	9,77E+00	0.872	24.571	0.019
19.789	56.224	0.871	14.806	41.367	20.097	9,41E+00	0.872	24.46	0.019
19.813	56.302	0.871	14.818	41.4	20.073	9,33E+00	0.873	24.363	0.019
19.837	56.379	0.871	14.806	41.367	20.025	9.27e-3	0.873	24.416	0.019
19.741	56.052	0.872	14.598	40.791	19.996	9,15E+00	0.873	24.323	0.019

W pro_in	W pro_out	m pro	m wor	m <sub>w</sub>	η	Q <sub>c</sub>	swc
9,58E+00	9,63E+00	0.017	0.032	0.988	115.7	0.229	4.324
9,61E+00	9,66E+00	0.017	0.032	0.983	115.2	0.228	4.307
9,49E+00	9,51E+00	0.017	0.032	1.013	113.6	0.229	4.414
9,61E+00	9,57E+00	0.017	0.032	0.986	114.6	0.234	4.217
9,66E+00	9,59E+00	0.017	0.032	0.977	115.3	0.237	4.128
9,75E+00	9.72e-3	0.017	0.032	0.969	115.2	0.235	4.128
9,89E+00	9,80E+00	0.017	0.032	0.992	116.5	0.239	4.146
9,92E+00	9,99E+00	0.017	0.032	0.998	114.3	0.229	4.36
9,89E+00	9,91E+00	0.017	0.032	0.996	114.2	0.233	4.282
9,97E+00	9,99E+00	0.017	0.032	1.074	115.0	0.235	4.577
0.01	0.01	0.017	0.032	1.032	115.6	0.236	4.364
9,91E+00	0.01	0.017	0.032	1.056	114.0	0.232	4.546
9,84E+00	9,89E+00	0.017	0.032	1.05	114.6	0.238	4.411
9,69E+00	9,75E+00	0.017	0.032	1.079	114.5	0.241	4.482
9,56E+00	9,60E+00	0.017	0.032	1.088	115.4	0.247	4.407
9,61E+00	9,59E+00	0.017	0.032	1.066	116.8	0.253	4.213
9,21E+00	9,26E+00	0.017	0.032	1.092	115.7	0.255	4.29
9,20E+00	9,28E+00	0.017	0.032	1.087	115.7	0.255	4.259
9,19E+00	9,26E+00	0.017	0.032	1.105	115.8	0.257	4.297
9,02E+00	9,08E+00	0.017	0.032	1.101	115.6	0.261	4.212

*Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων*

Psychrometric Chart (1atm)



Ενδεικτική μεταβολή κάποιου σημείου σε διάγραμμα ψυχομετρικού χάρτη

#### 4.4.3: Δεδομένα και αποτελέσματα σεναρίου αντίστασης Rpro

##### 4.4.3.1: Χαμηλή ταχύτητα

Rh amb	t amb	RH pro-in	T pro-in	RH pro-out	T pro-out	RH wor-in	T wor-in	RH wor-out	T wor-out
26.80	32.50	6.52	60.20	48.30	20.30	24.10	33.40	80.40	40.00
26.40	32.70	6.436	60.40	48.00	20.80	23.80	33.80	84.20	40.10
27.00	32.40	6.502	60.30	48.00	20.50	24.00	33.60	83.30	40.10
27.10	32.30	6.489	60.30	48.70	20.60	24.10	33.50	81.90	40.10
29.90	32.60	7.282	60.30	55.00	20.90	26.70	33.80	84.90	40.30
30.10	32.90	7.387	60.50	55.20	21.00	27.00	33.90	85.40	40.40
30.10	33.00	7.327	60.80	54.20	21.60	27.00	34.10	83.80	40.70
29.60	33.10	7.179	61.00	53.90	21.70	26.50	34.20	83.00	40.70
29.30	32.80	7.117	60.60	52.30	21.30	26.20	33.90	83.80	40.60
29.00	33.30	7.113	61.00	53.00	21.30	26.10	34.30	83.90	40.50
27.80	33.60	6.839	61.30	51.40	21.50	25.00	34.70	84.40	40.90
28.20	33.50	6.931	61.20	52.10	21.50	25.30	34.60	85.00	41.00
28.70	33.20	6.968	61.10	52.70	21.40	25.70	34.40	85.10	41.00
28.30	34.00	7.022	61.60	52.60	21.40	25.60	34.80	85.00	40.80
27.80	33.70	6.846	61.40	51.90	21.60	25.10	34.70	84.80	41.00
27.70	33.40	6.708	61.40	51.00	21.60	24.80	34.60	84.60	40.80
27.50	33.80	6.748	61.60	50.50	21.20	24.60	34.80	83.90	41.00
27.40	33.90	6.73	61.70	51.00	21.20	24.60	34.80	83.90	40.90

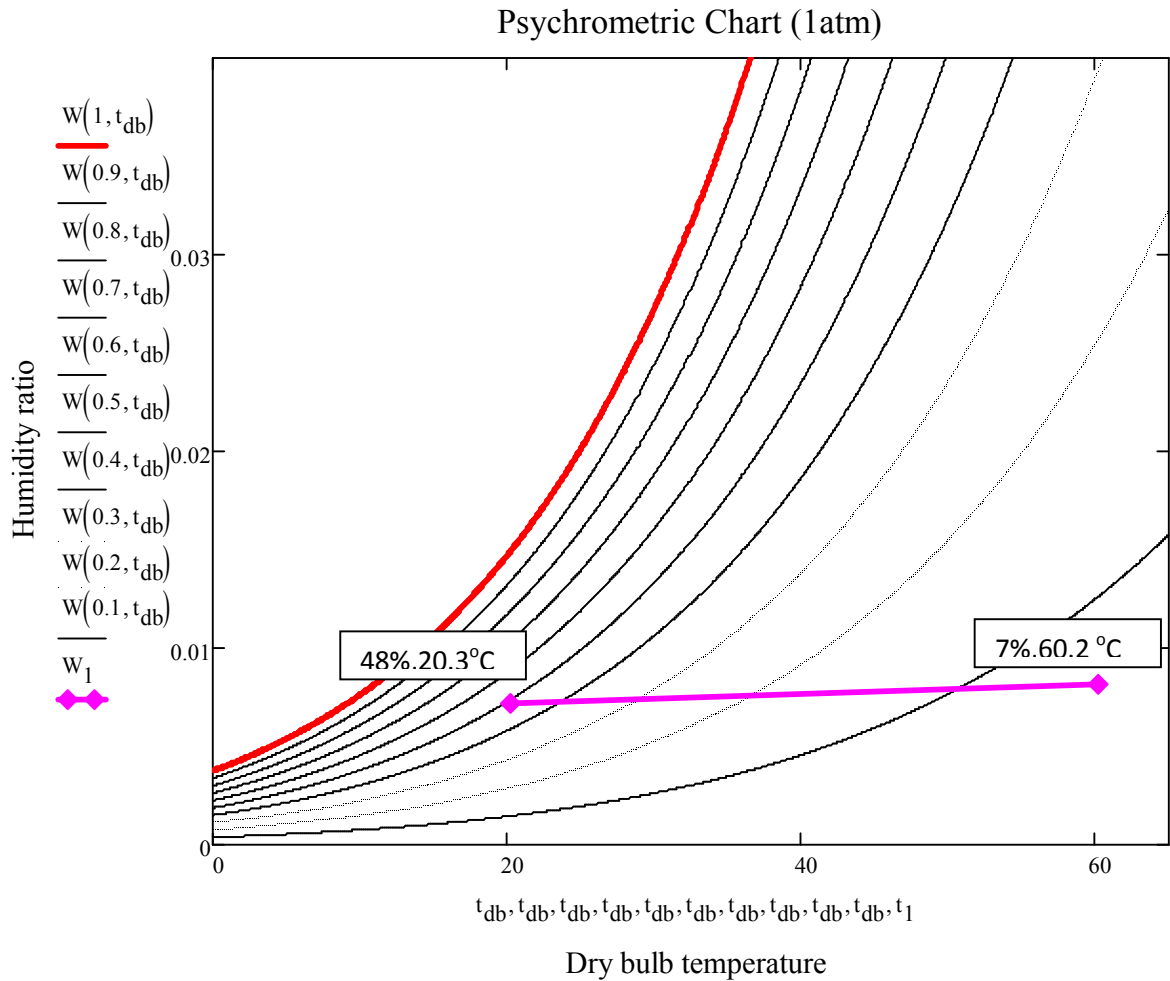
*Πίνακας δεδομένων μετρήσεων*

Twb pro_in	h pro_in	v pro_out	Twb pro_out	h pro_out	Twb wor_in	W wor_in	v wor_out	Twb wor_out	W wor_out
26.641	81.801	0.949	13.791	38.533	18.919	7,71E+00	0.873	36.622	0.039
26.671	81.925	0.95	14.154	39.499	19.108	7,79E+00	0.874	37.409	0.041
26.674	81.944	0.949	13.91	38.849	19.027	7,76E+00	0.873	37.246	0.04
26.664	81.9	0.949	14.092	39.336	18.986	7,75E+00	0.873	36.992	0.04
27.245	84.539	0.95	15.231	42.481	19.848	8,75E+00	0.874	37.726	0.042
27.417	85.322	0.951	15.344	42.797	19.992	8,90E+00	0.875	37.912	0.042
27.517	85.771	0.952	15.707	43.821	20.13	9,00E+00	0.875	37.912	0.042
27.503	85.697	0.952	15.748	43.935	20.072	8,88E+00	0.875	37.766	0.042
27.267	84.627	0.951	15.184	42.336	19.79	8,63e-3	0.875	37.816	0.042
27.454	85.47	0.952	15.284	42.62	20.038	8,79E+00	0.876	37.738	0.042
27.39	85.16	0.953	15.219	42.432	20.023	8,61E+00	0.877	38.213	0.043
27.412	85.268	0.953	15.321	42.719	20.034	8,67E+00	0.877	38.418	0.043
27.393	85.184	0.952	15.324	42.732	20.003	8,71E+00	0.876	38.436	0.044
27.669	86.446	0.954	15.31	42.691	20.248	8,87E+00	0.877	38.226	0.043
27.442	85.397	0.953	15.375	42.87	20.049	8,64E+00	0.877	38.382	0.043
27.338	84.913	0.953	15.244	42.498	19.903	8,49E+00	0.876	38.153	0.043
27.461	85.476	0.954	14.842	41.38	19.985	8,52E+00	0.877	38.218	0.043
27.494	85.624	0.954	14.914	41.581	19.985	8,52E+00	0.877	38.122	0.043

**Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων**

W pro_in	W pro_out	m pro	m wor	m <sub>w</sub>	η	Qc	swc
8,15E+00	7,14E+00	0.031	0.038	4.237	118.9	1.332	3.181
8,12E+00	7,32E+00	0.031	0.038	4.518	117.4	1.305	3.462
8,17E+00	7,19E+00	0.031	0.038	4.461	118.4	1.326	3.364
8,15E+00	7,34E+00	0.031	0.038	4.365	118.0	1.31	3.332
9,16E+00	8,46E+00	0.031	0.038	4.498	119.2	1.293	3.477
9,39E+00	8.54e-3	0.031	0.038	4.544	119.4	1.307	3.477
9,44E+00	8,70E+00	0.031	0.038	4.509	117.8	1.288	3.5
9,33E+00	8,71E+00	0.031	0.038	4.465	117.3	1.282	3.484
9.08e-3	8,24E+00	0.031	0.038	4.53	117.9	1.3	3.486
9,25E+00	8.35e-3	0.031	0.038	4.477	118.3	1.315	3.404
9,01E+00	8,20E+00	0.031	0.038	4.663	117.4	1.31	3.559
9.09e-3	8,31E+00	0.031	0.038	4.735	117.5	1.305	3.628
9,10E+00	8,35E+00	0.031	0.038	4.74	117.8	1.303	3.639
9,38E+00	8,34E+00	0.031	0.038	4.637	118.5	1.34	3.46
9,06E+00	8,33E+00	0.031	0.038	4.721	117.2	1.304	3.622
8,88E+00	8,18E+00	0.031	0.038	4.663	116.8	1.3	3.586
9,01E+00	7,90E+00	0.031	0.038	4.671	118.3	1.351	3.457
9.03e-3	7,98E+00	0.031	0.038	4.638	118.4	1.349	3.438

**Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων**



***Ενδεικτική μεταβολή κάποιου σημείου σε διάγραμμα ψυχομετρικού χάρτη***

Στον παραπάνω ψυχομετρικό χάρτη, αλλά όπως και στους προηγούμενους η μικρή φθίνουσα κλίση οφείλεται σε σφάλματα των μετρήσεων. Σε αυτό το σενάριο παρατηρείται ιδιαίτερα υψηλός βαθμός απόδοσης κοντά στο 119 % ,με θερμοκρασιακή διαφορά 42 °C, κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο αποδοτικά λειτουργεί ο εναλλάκτης. Βέβαια ο υψηλός βαθμός απόδοσης επετεύχθη με προθέρμανση του παραγόμενου ρεύματος. Οι τιμές αυτές της εισόδου στον εναλλάκτη, της θερμοκρασίας και υγρασίας, δεν συναντώνται σε φυσιολογικές κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας. Ωστόσο, στόχος ήταν να διαπιστωθούν οι ικανότητες του εναλλάκτη και να τονιστεί ο τρόπος λειτουργίας του, αφού περίπου ίδιες συνθήκες εξόδου είναι δυνατό να επιτευχθούν χωρίς προθέρμανση και χωρίς την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργεια σε θερμικές αντιστάσεις.

#### 4.4.3.2: Υψηλή ταχύτητα

Rh amb	T amb	RH pro-in	T pro-in	RH pro-out	T pro-out	RH wor-in	T wor-in	RH wor-out	T wor-out
27.90	34.30	7.37	60.60	52.30	22.00	25.20	35.10	83.60	41.10
22.30	32.70	5.747	59.20	41.60	19.90	19.40	34.10	80.80	40.00
22.40	32.90	5.811	59.30	41.70	19.90	19.50	34.10	82.70	40.10
24.20	33.10	6.232	59.70	45.90	20.20	21.30	34.30	81.20	40.20
22.90	33.00	5.864	59.70	43.20	20.40	20.20	34.30	81.30	40.30
22.80	32.80	5.827	59.50	42.00	20.20	19.80	34.10	82.40	40.20
22.30	33.20	5.802	59.60	41.50	20.10	19.50	34.30	81.20	40.20
22.40	34.00	6.038	59.80	43.40	20.20	19.80	34.90	80.70	40.30
18.90	33.90	5.114	59.60	37.00	19.60	16.60	34.90	80.50	39.90
21.40	33.80	5.785	59.50	41.90	19.80	18.80	34.80	82.20	40.10
21.40	33.70	5.726	59.60	41.80	19.90	18.80	34.80	81.40	39.90
21.50	33.60	5.747	59.50	41.60	19.90	18.90	34.70	81.50	39.90
22.40	33.50	5.927	59.60	42.30	20.10	19.70	34.50	81.90	40.10
23.10	33.40	6.135	59.40	43.40	20.20	20.30	34.50	82.10	40.00
23.90	33.30	6.371	59.20	44.90	20.30	21.00	34.40	82.30	39.80

Πίνακας δεδομένων μετρήσεων

Twb pro_in	h pro_in	v pro_out	Twb pro_out	h pro_out	Twb wor_in	W wor_in	v wor_out	Twb wor_out	W wor_out
27.452	85.482	0.951	15.765	43.978	20.346	8,88E+00	0.878	38.259	0.043
25.619	77.371	0.946	12.512	35.203	18.133	6,44E+00	0.874	36.695	0.039
25.71	77.759	0.946	12.527	35.24	18.161	6,47E+00	0.874	37.138	0.04
26.2	79.868	0.947	13.368	37.413	18.775	7,16E+00	0.875	36.959	0.04
25.928	78.682	0.947	13.137	36.803	18.478	6,78E+00	0.875	37.073	0.04
25.811	78.186	0.947	12.804	35.946	18.242	6,57E+00	0.874	37.179	0.04
25.838	78.294	0.947	12.653	35.56	18.286	6,55E+00	0.875	36.959	0.04
26.102	79.435	0.948	13.008	36.472	18.746	6,88E+00	0.876	36.962	0.04
25.322	76.093	0.946	11.612	32.953	17.84	5,75E+00	0.876	36.545	0.039
25.78	78.052	0.946	12.477	35.117	18.404	6,49E+00	0.876	37.047	0.04
25.781	78.051	0.947	12.541	35.277	18.404	6,49E+00	0.876	36.71	0.039
25.752	77.931	0.946	12.512	35.203	18.37	6,49E+00	0.876	36.728	0.039
25.93	78.695	0.947	12.77	35.859	18.467	6,69E+00	0.875	36.992	0.04
25.993	78.976	0.946	13.008	36.472	18.632	6,90E+00	0.875	36.933	0.04
26.073	79.334	0.946	13.304	37.243	18.758	7,10E+00	0.875	36.778	0.039

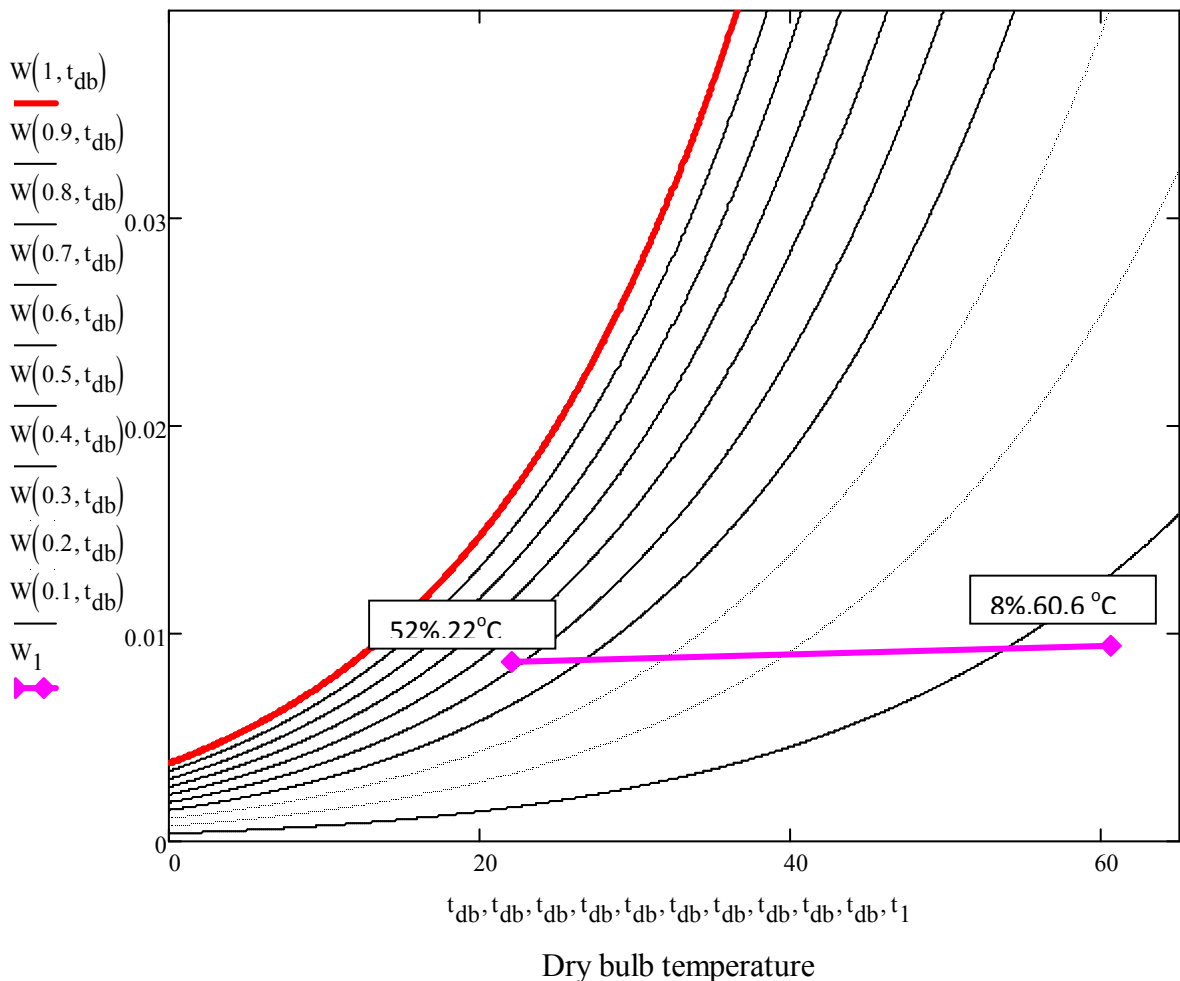
Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων



W pro_in	W pro_out	m pro	m wor	m w	$\eta$	Qc	swc
9,41E+00	8,60E+00	0.033	0.04	4.868	116.4	1.364	3.568
6,85E+00	5,99E+00	0.033	0.04	4.663	117.0	1.394	3.345
6,96E+00	6,00E+00	0.033	0.04	4.83	117.3	1.405	3.437
7,61E+00	6,74e-3	0.033	0.04	4.648	117.9	1.401	3.318
7,16E+00	6,42E+00	0.033	0.04	4.742	116.4	1.382	3.431
7,04E+00	6,16E+00	0.033	0.04	4.826	116.7	1.395	3.459
7,05E+00	6,05e-3	0.033	0.04	4.737	117.0	1.411	3.358
7,40E+00	6,37E+00	0.033	0.04	4.675	117.5	1.417	3.298
6,20E+00	5,22E+00	0.033	0.04	4.697	116.7	1.425	3.296
6,99E+00	6,00E+00	0.033	0.04	4.78	117.7	1.418	3.371
6,95E+00	6,02E+00	0.033	0.04	4.657	117.4	1.412	3.298
6,95E+00	5,99E+00	0.033	0.04	4.666	117.3	1.411	3.307
7,20E+00	6,17E+00	0.033	0.04	4.733	117.3	1.414	3.347
7,38E+00	6,37E+00	0.033	0.04	4.685	117.3	1.404	3.338
7.6e-3	6,63E+00	0.033	0.04	4.608	117.4	1.391	3.313

*Πίνακας αποτελεσμάτων επεξεργασίας δεδομένων*

Psychrometric Chart (1atm)



*Ενδεικτική μεταβολή κάποιου σημείου σε διάγραμμα ψυχομετρικού χάρτη*

Όπως διαπιστώθηκε και από τις μεταβολές στον ψυχομετρικό χάρτη ο εναλλάκτης λειτουργεί καλύτερα σε περιβάλλον με υψηλή εξωτερική θερμοκρασία και σχετικά χαμηλή υγρασία, σε θερμές και ξηρές δηλαδή κλιματολογικές συνθήκες. Σε όλες τις περιπτώσεις επιτυγχάνεται ικανοποιητική θερμοκρασία εξόδου, αλλά επίσης ικανοποιητική είναι και η σχετική υγρασία, αφού είναι μέσα στα ανεκτά όρια όσον αφορά τις συνθήκες άνεσης που πρέπει να επικρατούν σε ένα χώρο. Ιδιαίτερα για την πιο ενδιαφέρουσα περίπτωση, αυτή της προσομοίωσης σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας χωρίς προθερμάνσεις και τροποποιήσεις στους λόγους παροχών, επιτυγχάνεται θερμοκρασιακή πτώση της τάξης των 12 °C , με σχετική υγρασία εξόδου περίπου 62% , κατά την οποία ο άνθρωπος αισθάνεται ευεξία στον χώρο.

#### 4.5 Υπολογισμοί λογισμικού Mathcad

Ακολουθούν οι τύποι των παραπάνω αποτελεσμάτων όπως αυτοί συντάχθηκαν στο λογισμικό Mathcad και υπολογίστηκαν μέσω υπορουτίνας στο ίδιο πρόγραμμα.

- **Έκφραση της θερμοκρασίας υγρού βολβού  $T_{wb}=f(RH, T_{db})$**

$$F_1(RH, T_{db}, T_{wb}) := h(1, T_{wb}) - (W(1, T_{wb}) - W(RH, T_{db})) \cdot c_p \cdot T_{wb} - h(RH, T_{db})$$

$$Tw_1(RH, T_{db}, T_{wb}) := \text{root}(F_1(RH, T_{db}, T_{wb}), T_{wb})$$

$$Tw(RH, T_{db}) := Tw_1(RH, T_{db}, T_{db})$$

$$twb_{pro\_out\_k} := Tw(RH_{pro\_out\_k}, t_{pro\_out\_k})$$

$$twb_{pro\_in\_k} := Tw(RH_{pro\_in\_k}, t_{pro\_in\_k})$$

$$twb_{wor\_in\_k} := Tw(RH_{wor\_in\_k}, t_{wor\_in\_k})$$

$$twb_{wor\_out\_k} := Tw(RH_{wor\_out\_k}, t_{wor\_out\_k})$$

- **Έκφραση της ειδικής ενθαλπίας  $h=f(T_{db}, T_{wb})$**

$$h_{wt}(w, t) := C_{pa}(t) \cdot t + w \cdot (r + h_{2\_s} \cdot t)$$

$$h_{dw}(dbt, wbt) := h_{wt}(Wo(dbt, wbt), dbt)$$

$$h_{pro\_in\_k} := h_{dw}(t_{pro\_in\_k}, twb_{pro\_in\_k})$$

$$h_{pro\_out\_k} := h_{dw}(t_{pro\_out\_k}, twb_{pro\_out\_k})$$

- **Ειδικός όγκος**

$$v(RH, t) := \frac{1}{\rho(RH, t)}$$

**Πυκνότητα μείγματος**

$$\rho(RH, t) := \rho_1(RH, t) + \rho_2(RH, t)$$

$$\rho_1(RH, t) := \frac{p_1(RH, t)}{R_1 \cdot (t + 273.15)}$$

$$\rho_2(RH, t) := \frac{p_2(RH, t)}{R_2 \cdot (t + 273.15)}$$

$$R_1 = 287.086$$

$$R_2 = 461.889$$

$$v_{\text{pro\_out}_k} := v(RH_{\text{pro\_in}_k}, t_{\text{pro\_in}_k}) \quad v_{\text{wor\_out}_k} := v(RH_{\text{wor\_in}_k}, t_{\text{wor\_in}_k})$$

- **Έκφραση του λόγου υγρασίας  $W=f(T_{db}, T_{wb})$**

$$W_o(db, wb) := \frac{MB_2}{28.9629} \cdot \frac{RH_w(db, wb) \cdot p_s(db)}{p - RH_w(db, wb) \cdot p_s(db)}$$

$$W_{\text{wor\_in}_k} := W_o(t_{\text{wor\_in}_k}, twb_{\text{wor\_in}_k})$$

$$W_{\text{wor\_out}_k} := W_o(t_{\text{wor\_out}_k}, twb_{\text{wor\_out}_k})$$

$$W_{\text{pro\_in}_k} := W_o(t_{\text{pro\_in}_k}, twb_{\text{pro\_in}_k})$$

$$W_{\text{pro\_out}_k} := W_o(t_{\text{pro\_out}_k}, twb_{\text{pro\_out}_k})$$

- **Έκφραση παροχής μάζας**

$$m_{\text{pro}_k} := \frac{v_{\text{pro}} \cdot cs}{v_{\text{pro\_out}_1}}$$

$$m_{\text{wor}_k} := \frac{v_{\text{wor}} \cdot cs}{v_{\text{wor\_out}_1}}$$

- **Κατανάλωση νερού**

$$m_{w_k} := m_{\text{wor}_k} \cdot (W_{\text{wor\_out}_k} - W_{\text{wor\_in}_k}) \cdot 3600$$

- **Βαθμός απόδοσης**

$$\eta_k := \frac{t_{\text{pro\_in}_k} - t_{\text{pro\_out}_1}}{t_{\text{pro\_in}_k} - twb_{\text{pro\_in}_k}}$$

- **Ψυκτική Ισχύς**

$$Q_{c_k} := -m_{\text{pro}_k} \cdot (h_{\text{pro\_out}_k} - h_{\text{pro\_in}_k})$$

- **Ειδική κατανάλωση νερού**

$$swc_k := \frac{m_w}{Q_{c_1}}$$



**5.1: Οικονομική μελέτη εγκατάστασης εξατμιστικής ψυκτικής μονάδος, με χρήση του κύκλου του Maisotsenko και σύγκριση αυτής με συμβατικό κλιματιστικό**

Στην συνέχεια γίνεται μελέτη εγκατάστασης μιας εξατμιστικής ψυκτικής μονάδος σε οικιακό και εργασιακό περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα θα γίνει προσπάθεια σύγκρισής της με ένα συμβατικό κλιματιστικό. Τα δεδομένα για τα κόστη του ρεύματος και του νερού πάρθηκαν από τα αντίστοιχα τιμολόγια της ΔΕΗ και ΕΥΔΑΠ, όπου για το ρεύμα υπολογίστηκε μια μέση τιμή για την κάθε περίπτωση. Επίσης, για τα κόστη αγοράς των κλιματιστικών μονάδων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, έγινε σχετική έρευνα στο διαδίκτυο, όπου επιλέχτηκαν κλιματιστικές μονάδες σχετικά μετρίου προς χαμηλού κόστους. Βάση αυτών των στοιχείων πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω οικονομικοί ισολογισμοί.

Οι ανάγκες σε κλιματισμό θα υπολογιστούν και για τις δύο περιπτώσεις για πέντε μήνες, από Μάιο έως και Σεπτέμβριο, αλλά με μειωμένες ώρες λειτουργίας για τον πρώτο και τελευταίο μήνα. Επομένως, θεωρείτε για Μάιο και Σεπτέμβριο, 6 ώρες λειτουργίας ανά ημέρα, ενώ για τους τρεις θερμούς μήνες του καλοκαιριού 10 ώρες λειτουργίας ανά ημέρα. Συνολικά, για όλη την περίοδο κατανάλωσης έχουμε 1260 ώρες λειτουργίας.

**5.1.1: Εγκατάσταση σε οικιακό περιβάλλον**

Για ένα διαμέρισμα επομένως περίπου 100 m<sup>2</sup>, στο οποίο διαμένει μια τετραμελής οικογένεια, υπολογίζεται πως μια μέση τιμή κόστους της kwh είναι 0,12 €/kwh. Ως βάση χρησιμοποιούνται τα 60000 BTU/hr, τα οποία αρκούν να ψύξουν δύο διαμερίσματα. Στην περίπτωση του εξατμιστικού ψύκτη, χρησιμοποιείτε μια μονάδα coolerado και για τα δύο διαμερίσματα, ενώ για τα συμβατικά κλιματιστικά θα χρησιμοποιηθούν τρία, με συνολική ψυκτική ισχύ 30000 BTU για το κάθε διαμέρισμα, για παράδειγμα ένα των 12000 BTU για το σαλόνι και δύο των 9000 BTU για δύο υπνοδωμάτια. Στο αρχικό κόστος απόκτησης του εξατμιστικού ψύκτη περιλαμβάνεται το κόστος εγκατάστασης αεραγωγών, το οποίο τέθηκε στα 300€, διότι μια τέτοια εγκατάσταση θεωρήθηκε απαραίτητη για την εισαγωγή του ψυχρού αέρα στον χώρο.

Για τις 1260 ώρες λειτουργίας υπολογίζεται η κατανάλωση νερού σε 1260 hr × 56L/hr=70560 L , όπου με βάση το τιμολόγιο της ΕΥΔΑΠ, η τιμή κατανάλωσης ανά κυβικό μέτρο(€/ m<sup>3</sup>) διαμορφώνεται για τους μήνες Μάιο-Ιούνιο σε 1,85 €/ m<sup>3</sup> , για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο σε 2,59 €/ m<sup>3</sup> και για το μήνα Σεπτέμβριο σε 0,6 €/ m<sup>3</sup>. Εξαιτίας, της μεγάλης καλοκαιρινής κατανάλωσης το νερό είναι ακριβότερο τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Στην περίπτωση του εξατμιστικού ψύκτη, τέθηκε μια

μέση τιμή κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος σε 0,12 €/kwh, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΗ για οικιακούς καταναλωτές έως τον Νοέμβριο του 2011.<sup>[8],[11]</sup>

Τα οικονομικά και τεχνικά χαρακτηριστικά και των δύο περιπτώσεων παρουσιάζονται στην συνέχεια.

- **Εξατμιστική ψυκτική μονάδα**

**Ψυκτική ισχύς:**  $Q_c=60.000 \text{ BTU/hr}$

**Κατανάλωση ρεύματος:**  $P_{\text{electricity}}=710 \text{ W}$

**Κατανάλωση νερού:**  $m_w=56 \text{ L/hr}$

**Κόστος αγοράς:**  $C_{\text{coolerado}}=4.000 \text{ €}$

**Κόστος αεραγωγών:**  $C_{\text{air\_tube}}=300 \text{ €}$

- **Συμβατικά κλιματιστικά (επιτοίχια)**

**Ψυκτική ισχύς:**  $Q_c=2 \times 12.000 + 4 \times 9.000 = 60.000 \text{ BTU/hr}$

**Κατανάλωση ρεύματος:**  $P_{\text{electricity}}=2 \times 1100 + 4 \times 850 = 5600 \text{ W}$

**Κόστος αγοράς:**  $C_{AC}=2 \times 280 + 4 \times 250 = 1560 \text{ €}$

- **Κόστη κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος**

**Εξατμιστικός Ψύκτης:**  $C_{\text{el\_coolerado}}=0,12 \text{ €/kwh}$

**Συμβατικό AC:**  $C_{\text{el\_AC}}=0,12 \text{ €/kwh}$

- **Κόστος κατανάλωσης νερού**

**Μάιος-Ιούνιος (480 ώρες):**  $C_{H20\_M-I}=1,85 \text{ €/m}^3$

**Ιούλιο-Αύγουστο (600 ώρες):**  $C_{H20\_I-A}=2,59 \text{ €/m}^3$

**Σεπτέμβριο (180 ώρες):**  $C_{H20\_Σ}=0,64 \text{ €/m}^3$

- **Συνολικά περιοδικά κόστη**

$$C_{\text{all\_coolerado}} = C_{\text{el\_cool}} \cdot P_{\text{electricity\_cool}} \cdot 1260 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_M-I} \cdot 480 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_I-A} \cdot 600 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_Σ} \cdot 180 \text{ h}$$

$$C_{\text{all\_AC}} = 1260 \text{ h} \cdot C_{\text{el\_AC}} \cdot P_{\text{electricity\_AC}}$$

Στην συνέχεια, θα υπολογιστεί η καθαρή παρούσα αξία (NPV) της κάθε εγκατάστασης, για ένα χρονικό ορίζοντα 10 ετών με συντελεστή επικαιροποίησης 4%. Αυτό σημαίνει ότι θα συμψηφιστούν η παρούσα αξία αγοράς της μονάδας, με τα περιοδικά κόστη που εμφανίζονται στο τέλος κάθε περιόδου κατανάλωσης αλλά πολλαπλασιασμένα με κατάλληλο συντελεστή που μετατρέπει την αξία του τότε σε αξία του τώρα. Έτσι, θα διαπιστωθεί πια από τις δύο μονάδες είναι, τελικά, οικονομικά πιο συμφέρουσα. Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τα περιοδικά κόστη με τον ακόλουθο συντελεστή:

$$\left(\frac{P}{R}\right)_r^N = \left[\frac{(1+r)^N - 1}{r(1+r)^N}\right]$$

όπου N (years) είναι τα χρόνια τα οποία θεωρούμε ως όριο ζωής της επένδυσης και θα καταβάλλονται τα ετήσια κόστη λειτουργίας και το r (%) είναι ο συντελεστής επικαιροποίησης και αθροίζοντας το αποτέλεσμα με την παρούσα αξία απόκτησης της μονάδας.

$$NPV_{coolerado} = C_{coolerado} + C_{air\_tube} + \left(\frac{P}{R}\right)_{4\%}^{10} \cdot C_{all\_coolerado}$$

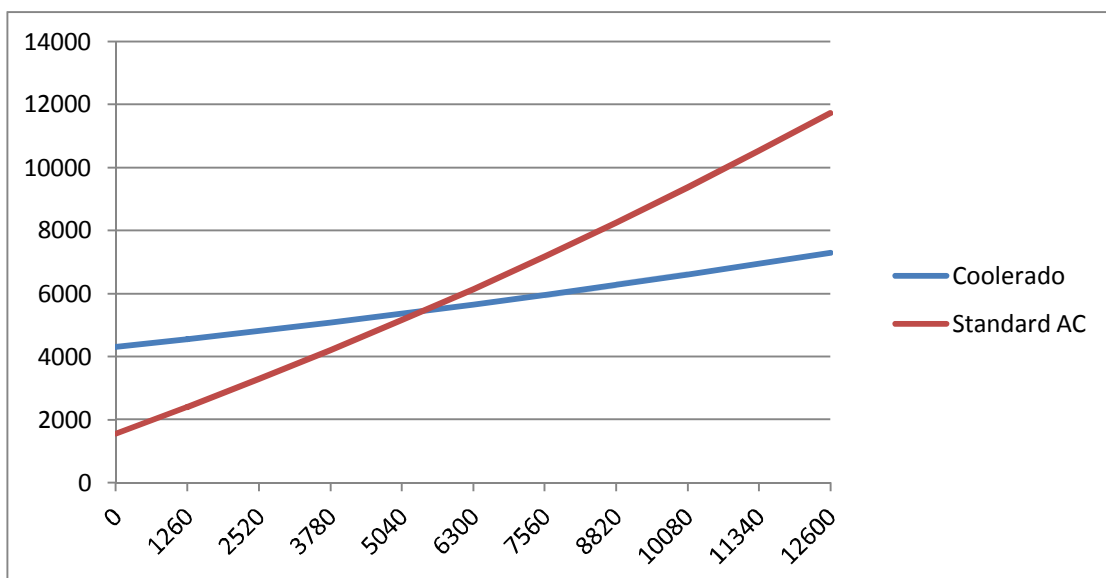
$$NPV_{standard\_AC} = C_{AC} + \left(\frac{P}{R}\right)_{4\%}^{10} \cdot C_{all\_AC}$$

Έτσι έχουμε τις δύο επόμενες τιμές για την καθαρή παρούσα αξία:

$$NPV_{coolerado} = 6.328,96 \text{ €}$$

$$NPV_{standard\_AC} = 8.427,66 \text{ €}$$

Για μια χρονική περίοδο λειτουργίας 10 ετών έχουμε το παρακάτω διάγραμμα όπου στον κατακόρυφο άξονα βρίσκονται τα κόστη και στον οριζόντιο οι ώρες λειτουργίας:



Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το διάγραμμα και από τον NPV, αν και η μονάδα εξατμιστικής ψύξης κοστίζει περισσότερο για την απόκτησή της, τελικά σε βάθος χρόνου αποδεικνύεται οικονομικότερη εξαιτίας των χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεών της, εν αντιθέσει με την συμβατική μονάδα κλιματισμού, που όπως αποδεικνύεται, αν και κοστίζει λιγότερο τώρα, έχει υψηλότερο λειτουργικό κόστος που μετά τα πέντε χρόνια ή 7000 ώρες λειτουργίας, την καθιστά οικονομικά ασύμφορη σε σχέση με τα κόστη λειτουργίας της εξατμιστικής μονάδος.

Βέβαια, όσον αφορά τις ώρες λειτουργίας, είναι μια τιμή που παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση από χρήστη σε χρήστη. Για την ασφάλεια του αποτελέσματος τέθηκαν σχετικά λίγες ώρες λειτουργίας, αλλά αν αναλογιστεί κανείς ότι πολλές φορές γίνεται αλόγιστη χρήση των κλιματιστικών συσκευών, συμπεραίνεται πως ο εξατμιστικός ψύκτης αποκτά ακόμα περισσότερο ενδιαφέρον.

### **5.1.2: Εγκατάσταση σε περιβάλλον τριτογενούς τομέα**

Ακολουθεί σύγκριση των δύο μονάδων κλιματισμού για την περίπτωση εγκατάστασης σε τριτογενή τομέα, για παράδειγμα σε έναν ενιαίο χώρο στον οποίο στεγάζονται γραφεία. Με την προοπτική ότι οι εταιρείες ύδατος και ρεύματος προσφέρουν φθηνότερες υπηρεσίες σε επαγγελματικές καταναλώσεις, είτε αυτές είναι ιδιωτικού είτε δημόσιου χαρακτήρα, οι τιμές καταναλισκόμενης ενέργειας και νερού διαμορφώνονται ως εξής. Για το ηλεκτρικό ρεύμα σε 0,10 €/kwh, για την περίπτωση επαγγελματικού τιμολογίου. Για το νερό αν η εγκατάσταση γίνει σε κτίριο ιδιωτικού δικαίου με την υπόθεση ότι ο κλιματισμός θα λειτουργεί 8 ώρες την ημέρα για 22 μέρες το μήνα, μόνο τις εργάσιμες ημέρες δηλαδή, η τιμή με βάση την προσδοκώμενη κατανάλωση αναμένεται να είναι 0,64 €/m<sup>3</sup>. Η τιμή αυτή υπολογίστηκε για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, η οποία όμως παραμένει για την υπόλοιπη περίοδο κατανάλωσης. Για την περίπτωση του δημόσιου τομέα η τιμή του νερού είναι στα 0,9972 €/m<sup>3</sup> ανεξαρτήτως μηνιαίας κατανάλωσης. Επομένως, οι ώρες λειτουργίας του κλιματισμού διαμορφώνονται σε: για τον μήνα Μάιο και Σεπτέμβριο 6 ώρες την ημέρα για 22 εργάσιμες και για τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο 8 ώρες την ημέρα (θεωρήθηκε ότι τηρείται το οκτάωρο εργασίας) για 22 μέρες τον μήνα. Συνολικά έχουμε 792 ώρες λειτουργίας.<sup>[8],[11]</sup>

Επίσης, στην περίπτωση του συμβατικού κλιματιστικού θα τοποθετηθεί μια επιδαπέδια μονάδα τύπου ντουλάπας ψυκτικής ισχύος 60.000 BTU. Τα χαρακτηριστικά των δύο μονάδων παρατίθενται στην συνέχεια.

- **Εξατμιστική ψυκτική μονάδα**  
**Ψυκτική ισχύς:**  $Q_c=60.000 \text{ BTU/hr}$   
**Κατανάλωση ρεύματος:**  $P_{\text{electricity}}=710 \text{ W}$   
**Κατανάλωση νερού:**  $m_w=56 \text{ L/hr}$



Κόστος αγοράς:  $C_{coolerado}=4.000 \text{ €}$   
 Κόστος αεραγωγών:  $C_{air\_tube}=300 \text{ €}$

- **Συμβατικό κλιματιστικό (τύπου ντουλάπας)**  
 Ψυκτική ισχύς:  $Q_c=60.000 \text{ BTU/hr}$   
 Κατανάλωση ρεύματος:  $P_{electricity}=5960 \text{ W}$   
 Κόστος αγοράς:  $C_{AC}=1840 \text{ €}$

- **Κόστη κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος**  
 Εξαμηνιαστικός Ψύκτης:  $C_{el\_coolerado}=0,10 \text{ €/kwh}$   
 Συμβατικό AC:  $C_{el\_AC}=0,10 \text{ €/kwh}$

- **Κόστος κατανάλωσης νερού**

Ιδιωτικού χαρακτήρα

Μάιος-Ιούνιος (308 ώρες):  $C_{H20\_M-I}=0,64 \text{ €/m}^3$

Ιούλιο-Αύγουστο (352 ώρες):  $C_{H20\_I-A}=0,64 \text{ €/m}^3$

Σεπτέμβριο (132 ώρες):  $C_{H20\_Σ}=0,64 \text{ €/m}^3$

Δημοσίου χαρακτήρα

Ανεξαρτήτως μηνιαίας κατανάλωσης:  $C_{H20\_Δημ}=0,99 \text{ €/m}^3$

- **Συνολικά περιοδικά κόστη**

Ιδιωτικού χαρακτήρα

$$C_{all\_coolerado} = C_{el\_cool} \cdot P_{electricity\_cool} \cdot 792 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_M-I} \cdot 308 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_I-A} \cdot 352 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_Σ} \cdot 132 \text{ h}$$

Δημοσίου χαρακτήρα

$$C_{all\_coolerado} = C_{el\_cool} \cdot P_{electricity\_cool} \cdot 792 \text{ h} + m_w \cdot C_{H20\_Δημ} \cdot 792 \text{ h}$$

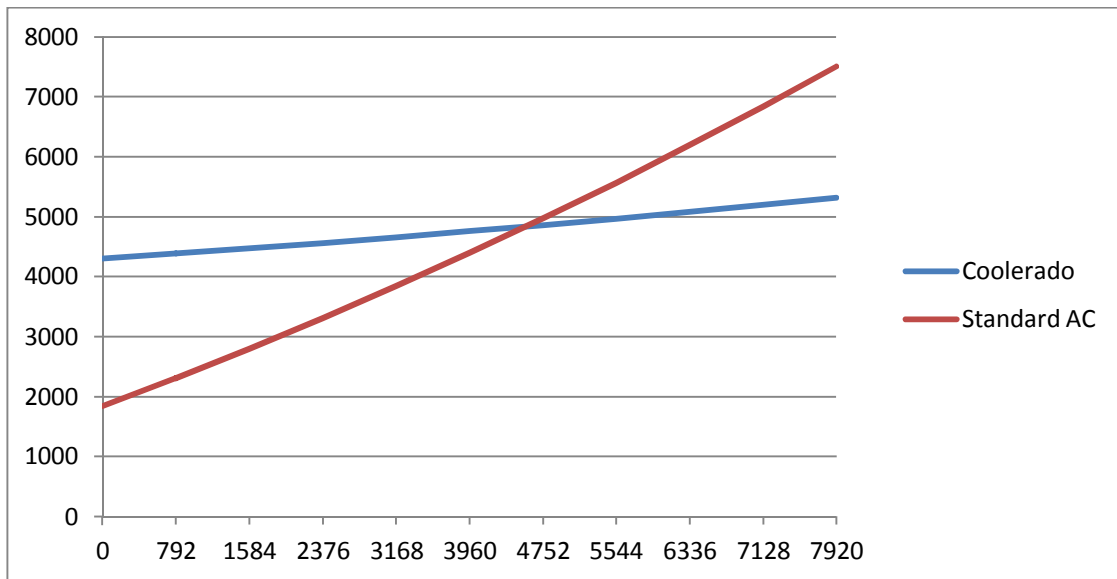
$$C_{all\_AC} = 792 \text{ h} \cdot C_{el\_AC} \cdot P_{electricity\_AC}$$

Επομένως, για τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστηκε η καθαρή παρούσα αξία των δύο περιπτώσεων κλιματισμού:

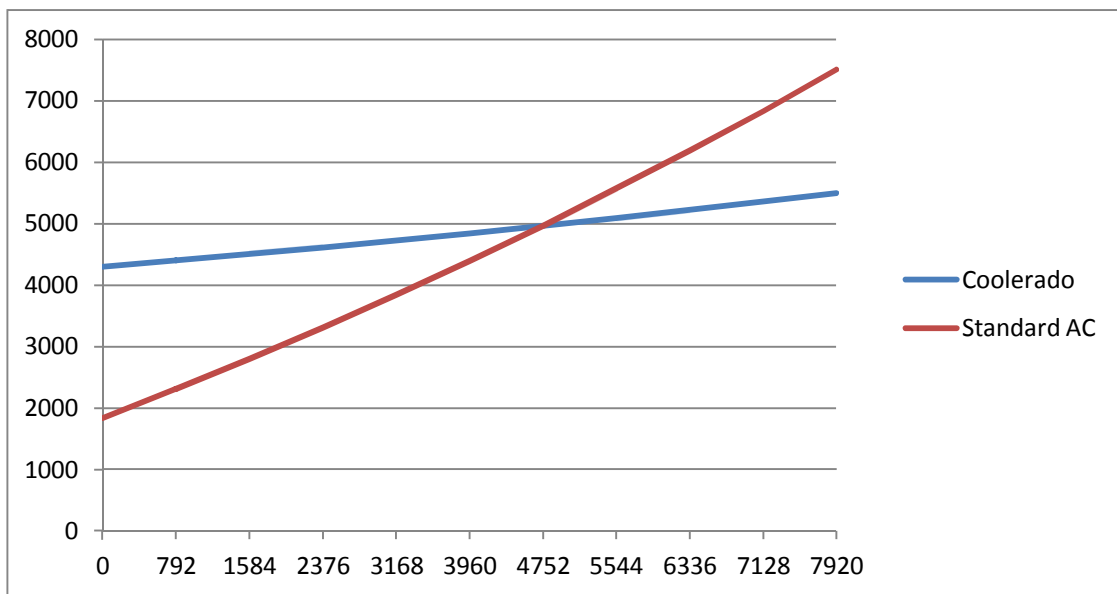
$$NPV_{coolerado} = 4.986,32 \text{ €} - NPV_{coolerado\_Δημ} = 5.112,23 \text{ €}$$

$$NPV_{standard\_AC} = 5.668,60 \text{ €}$$

Ακολουθεί σχετικό διάγραμμα, όπου φαίνεται ότι με το πέρας των πέντε ετών ή 4500 ωρών λειτουργίας, η μονάδα Coolerado είναι ανταγωνιστικότερη οικονομικά από αυτή του συμβατικού κλιματιστικού.



Στο επόμενο διάγραμμα έχουμε την περίπτωση του δημοσίου.



Το παραπάνω διάγραμμα που αφορά την περίπτωση εφαρμογής σε δημόσιο τομέα δεν διαφέρει σχεδόν καθόλου από το άλλο διάγραμμα εξαιτίας της μικρής διαφοράς του κόστους του νερού.

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι αυξανόμενων των ωρών λειτουργίας του κλιματισμού, η μονάδα εξατμιστικής ψύξης γίνεται ανταγωνιστικότερη από το συμβατικό κλιματιστικό. Η δαπανηρή κατανάλωση ρεύματος έχει ως συνέπεια τα υψηλά περιοδικά κόστη λειτουργίας, εν αντιθέσει με την φθηνότερη προσφορά ύδατος όπου μακροπρόθεσμα συντελεί σε κέρδος. Βέβαια, στην περίπτωση του τριτογενούς τομέα, το χρονικό σημείο όπου ο εξατμιστικός ψύκτης γίνεται πιο οικονομικός, μπορεί να έρθει νωρίτερα αν αναλογιστεί κανείς τις μεγάλες ανάγκες σε κλιματισμό όπως εμπορικά κέντρα, μεγάλες δημόσιες υπηρεσίες, πανεπιστήμια, νοσοκομεία.

Ωστόσο, το κόστος των αεραγωγών που προστέθηκε στην εγκατάσταση του εξατμιστικού ψύκτη, μπορεί εύκολα να ισοσκελιστεί με το αντίστοιχο κόστος κάποιας κεντρικής μονάδας κλιματισμού, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις εγκαταστάσεων σε μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα συναντώνται τέτοιου είδους εφαρμογές με επιτοίχιους αεραγωγούς.



## **6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **6.1: Συμπεράσματα – σχόλια**

Ανακεφαλαιώνοντας, γίνεται αναφορά στα σημεία τα οποία απασχόλησαν την παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς επίσης αναφέρονται οι στόχοι και τα συμπεράσματά της. Κύριος σκοπός, λοιπόν, αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατασκευή μιας πειραματικής μονάδας εξατμιστικής ψύξης με αρχή λειτουργίας τον κύκλο του Maisotsenko, παρουσίαση της κατασκευής αυτής αλλά και η επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων και αποτελεσμάτων που πάρθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία.

Αρχικά, έγινε προσπάθεια σύγκρισης των συμβατικών κλιματιστικών με τους εξατμιστικούς ψύκτες όπου παρουσιάστηκαν τα οφέλη και τα αρνητικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών συστημάτων κλιματισμού. Έπειτα, έγινε παρουσίαση των ειδών εξατμιστικής ψύξης, άμεση-έμμεση, ως προς την λειτουργία τους και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ψυκτών αυτών, καθώς έγινε και παρουσίαση ως προς την συνδυασμένη λειτουργία τους. Στην συνέχεια αναλύθηκε ο κύκλος του Maisotsenko, όπου παρουσιάστηκαν τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του και ο τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου εναλλάκτη. Ακολούθησε η παρουσίαση της πειραματικής διατάξεως εξατμιστικής ψύξης, στην οποία αναλύθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδος, τα στοιχεία παραμετροποίησης, αντιστάσεις-dumpers- ανεμιστήρας, τα μετρητικά όργανα και ο τρόπος λειτουργίας της ‘καρδιάς’ της μονάδος, δηλαδή του εναλλάκτη του Maisotsenko. Επίσης, ακολούθησε το κυριότερο μέρος της εργασίας, η επεξεργασία των μετρήσεων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και τέλος έγινε μια οικονομική ανάλυση εγκατάστασης εξατμιστικού ψύκτη.

Συμπερασματικά, τα οφέλη από μια τέτοια εξατμιστική εγκατάσταση είναι πολλά, τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά, αφού η κατανάλωση ρεύματος είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τα συμβατικά κλιματιστικά. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης μονάδας είναι ότι αντιμετωπίζει γεωγραφικούς περιορισμούς ως προς την εφαρμογή της, εφόσον για να είναι λειτουργικά αποδοτική θα πρέπει ο εξωτερικός αέρας να έχει χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Από την οικονομική ανάλυση προέκυψε ότι το υψηλό κόστος απόκτησης, σε συνδυασμό με τα εξαιρετικά χαμηλά κόστη λειτουργίας, ισοσκελίζονται και γίνονται ανταγωνιστικότερα από τα συμβατικά κλιματιστικά με τις υψηλές καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας, σχετικά γρήγορα, περίπου μέσα σε 3 με 4 χρόνια. Βέβαια αυτό εξαρτάται και από την χρήση τους, αφού όσο περισσότερες ώρες λειτουργεί μια τέτοια εξατμιστική μονάδα τόσο γρηγορότερα αποσβένει το κόστος απόκτησης.

Το κομμάτι της εργασίας που αφορούσε το στήσιμο της διατάξεως, παρουσίασε μεγάλο ενδιαφέρον, καθώς η θεωρία εφαρμοζόταν στην πράξη. Οι διάφοροι

προβληματισμοί και εμπόδια που παρουσιάζονταν ως προς την λειτουργικότητα της μονάδος κατά την διάρκεια του στησίματος, έπρεπε να ξεπεραστούν είτε επεμβαίνοντας, είτε διορθώνοντας κάτι πάνω στην διάταξη, αλλά πάντα ύστερα από συζητήσεις, συμβουλευόμενοι εμπειρότερους ανθρώπους αλλά και με πειραματισμούς, έχοντας πάντα ως γνώμονα την αρτιότητα της θεωρίας.

Το δεύτερο σημαντικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας ήταν η λήψη και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων. Στα τέλη του Ιουλίου του 2011, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από πειραματικά σενάρια στα οποία υπεισέρχονταν διάφοροι συντελεστές παραμετροποίησης. Τα δεδομένα που συλλέχτηκαν ήταν θερμοκρασίες και υγρασίες στις εισόδους και εξόδους του εναλλάκτη, θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος και ταχύτητες αέρα στις εξόδους των δύο ρευμάτων, εργαζόμενο-ψυχόμενο, του εναλλάκτη. Από την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, η οποία πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Mathcad, προέκυψαν αποτελέσματα για τον βαθμό απόδοσης, την ψυκτική ισχύς και τον ειδικό συντελεστή κατανάλωσης νερού της μονάδος. Επίσης τα αποτελέσματα αυτά συγκρίθηκαν μεταξύ τους για τις διάφορες περιπτώσεις και παρουσιάστηκαν με την βοήθεια διαγραμμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν στο λογισμικό Excel. Από τα αποτελέσματα του βαθμού απόδοσης, διαπιστώθηκε ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη τόσο αποδοτικότερα αυτός λειτουργεί. Μάλιστα, οι βαθμοί απόδοσης που επετεύχθησαν ήταν, για ένα εύρος θερμοκρασιών, από 98% έως 119% , εντός των ορίων του βαθμού απόδοσης που προτείνει ο Masotsenko, δηλαδή εντός του 95-120 % . Αυτό σημαίνει πώς όσο πιο θερμό είναι το κλίμα τόσο καλύτερα ψύχει ο εναλλάκτης, χωρίς επιπλέον πρόσδωση ενέργειας, κάτι που δεν ισχύει για τα συμβατικά κλιματιστικά. Βέβαια, για να επιτευχθεί ο βαθμός απόδοσης του 119% , καταναλώθηκε περισσότερη ενέργεια κατά την προθέρμανση του ψυχόμενου ρεύματος, από την ψυκτική ενέργεια που κερδήθηκε. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως αποτυχία για μια πιθανή βελτίωση της υπάρχουσας εμπορικής μονάδας, ωστόσο θεωρείτε πειραματική επιτυχία, εφόσον βγήκαν κάποια σαφή συμπεράσματα. Όμως, κύριο μέλημα της λειτουργίας της μονάδος είναι η θερμική άνεση στον χώρο, κάτι το οποίο παρουσιάστηκε με επιτυχία, αφού σε σχετικές μετρήσεις που έγιναν, που προσομοίωναν φυσιολογικές συνθήκες περιβάλλοντος χωρίς προθερμάνσεις, παρατηρήθηκαν ικανοποιητικά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας με βαθμό απόδοσης από 98% έως 102%. Ενδεικτικά, για συνθήκες περιβάλλοντος  $T_{amb}=35\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $RH_{amb}= 33,4\%$  , επιτυγχάνεται μείωση της θερμοκρασίας στους  $22,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  με σχετική υγρασία στο 63,3%. Όσον αφορά την ψυκτική ισχύς, αυτή αυξάνεται, όπως ήταν φυσικό και αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, με την αύξηση της ταχύτητας άρα κατά επέκταση με την αύξηση της παροχής. Στα σενάρια που διενεργήθηκαν με μειωμένη παροχή στο ψυχόμενο ρεύμα, αν και ο βαθμός απόδοσης παρουσιάζοταν υψηλότερος από αυτόν της κανονικής παροχής, η ψυκτική ισχύς μειωνόταν. Επομένως, ναι μεν κάτι τέτοιο θα αύξανε την απόδοση της μονάδος αλλά δεν θα ήταν αξιοποιήσιμο, εφόσον το κέρδος από τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης δεν θα

ισοσκελίξε το χάσιμο της ψυκτικής ισχύος. Επίσης, παρουσιάστηκαν σε ψυχομετρικό χάρτη ενδεικτικές μεταβολές της θερμοκρασιακής μεταβολής, όπου παρατηρήθηκε κάποια κλίση στην ευθεία που ενώνει τα σημεία εισόδου εξόδου από τον εναλλάκτη. Η κλίση αυτή οφείλεται σε σφάλματα που προέκυψαν κατά την λήψη των μετρήσεων αφού δεν προστίθεται ούτε αφαιρείται υγρασία στο αρχικό ρεύμα αέρα.

Από την οικονομική ανάλυση, είναι φανερό ότι μια τέτοια εγκατάσταση είναι αρκετά προσοδοφόρα για την χώρα μας και μάλιστα ακόμη περισσότερο σε εφαρμογές κτιρίων όπου η ανάγκη για κλιματισμό είναι μεγάλη και για πολλές ώρες λειτουργίας. Ακόμη, το καλοκαίρι που η ζήτηση για ενέργεια είναι μεγάλη, τέτοιες εγκαταστάσεις εξατμιστικής ψύξης έχουν την ικανότητα να μειώσουν αρκετά τον φόρτο του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Βέβαια, για την ώρα μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να φαίνεται αρκετά ελκυστική σε μια χώρα με θερμό και ξηρό καλοκαίρι, αλλά υπάρχει και το ενδεχόμενο κάποια στιγμή το νερό να είναι πολυτιμότερο της κατανάλωσης ενέργειας και έτσι οι υψηλές ανάγκες της εξατμιστικής μονάδας του Maisotsenko σε νερό, να θέσουν σε δυσμενέστερη θέση την εφαρμογή αυτής της μονάδα.





## Βιβλιογραφικές Αναφορές

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

1. Κ. Αντωνόπουλος, *Κλιματισμός (Τεύχος Α')*, 2002
2. Ξ. Κακάτσιος, *Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης*, 2006

### **Διεθνής Βιβλιογραφία**

3. *Technology Installation Review, Coolerado Cooler helps to save cooling energy and dollars*, 2005
4. *Turbine Technology, Life below the wet bulb: The Maisotsenko Cycle*, 2003
5. *ASME Turbo Expo, Maisotsenko Open Cycle used for Gas Turbine Power Generation*, 2003
6. *ASHRAE, Fundamentals*, 2009

### **Ιστότοποι**

7. <http://www.coolerado.com>
8. [http://www.eydap.gr/media/clientservice/timologio\\_2008.pdf](http://www.eydap.gr/media/clientservice/timologio_2008.pdf)
9. [http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/Analytikos\\_pinakas\\_timologiou\\_deh.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/Analytikos_pinakas_timologiou_deh.pdf)
10. <http://www.dei.gr/Default.aspx?id=55047&nt=18&lang=1>
11. [http://www.dei.gr/Documents2/DELTIA\\_TYPOU](http://www.dei.gr/Documents2/DELTIA_TYPOU)
12. [http://whirlpool.net.au/wiki/aircon\\_faq](http://whirlpool.net.au/wiki/aircon_faq)
13. [http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_conditioner](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_conditioner)
14. [http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporative\\_cooler](http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporative_cooler)
15. <http://www.airtekcorp.com/howItWorks.php>
16. [http://www.esource.com/BEA/hosted/Xcel/PA\\_42.html](http://www.esource.com/BEA/hosted/Xcel/PA_42.html)
17. [http://www.idalex.com/technology/how\\_it\\_works.htm](http://www.idalex.com/technology/how_it_works.htm)

*... στους φίλους και συνεργάτες αυτής της προσπάθειας.*