



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

**Πειραματική μελέτη συστήματος υγρού ξηραντικού
για αφύγρανση και ψύξη στην Αθήνα**

**Experimental investigation of a liquid desiccant
system for dehumidification and cooling in Athens**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αραβή Χαράλαμπου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια
Κορωνάκη Ειρήνη, Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα
Απρίλιος 2014

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε πειραματικά η διάταξη συστήματος υγρού ξηραντικού στοιχείου, εσωτερικά ψυγμένου, αντίθετης ροής που είναι εγκατεστημένη στο εργαστήριο του Τομέα Θερμότητας. Ως υγρό ξηραντικό στοιχείο χρησιμοποιείται το χλωριούχο λίθιο (LiCl) και έχουμε μελετήσει την μεταβολή του ρυθμού αφύγρανσης με την μεταβολή της παροχής εισόδου του αέρα και της παροχής και συγκέντρωσης του υγρού ξηραντικού διαλύματος.

Μέσα στον αφυγραντήρα αντίθετης ροής, το ισχυρό ξηραντικό διάλυμα ($\text{LiCl-H}_2\text{O}$), προερχόμενο από της υψηλής συγκέντρωσης δεξαμενή αποθήκευσης, πέφτει από το πάνω μέρος της συσκευής. Ο υγρός αέρας περιβάλλοντος εισέρχεται στο αφυγραντήρα από το κάτω μέρος στη συσκευής και η υγρασία μεταφέρεται από τον αέρα στο ξηραντικό. Η διαδικασία απορρόφησης ψύχεται από νερό, από τον εξατμιστικό ψύκτη, που ρέει μέσα στα φύλλα πολυπροπυλενίου. Το τέλος της διαδικασίας βρίσκει τον αέρα χωρίς υγρασία και ψυγμένο, ενώ το ξηραντικό διάλυμα αραιωμένο και αποθηκευμένο στη δεξαμενή αποθήκευσης χαμηλής συγκέντρωσης.

Μετά την αφύγρανση, το αραιωμένο ξηραντικό πρέπει να ανακτήσει την αρχική του συγκέντρωση. Για αυτό ρέει μέσα στον αναγεννητή στον οποίο νερό θέρμανσης κυκλοφορεί διαμέσου των φύλλων πολυπροπυλενίου και παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας. Καθώς το υγρό ξηραντικό στοιχείο ζεσταίνεται, υγρός ατμός φεύγει από το χαμηλής συγκέντρωσης διάλυμα και παρασύρεται μακριά από το ρεύμα αέρα περιβάλλοντος. Στην έξοδο του αναγεννητή, το ξηραντικό στοιχείο έχει ανακτήσει την αρχική του συγκέντρωση και αποθηκεύεται στην δεξαμενή υψηλής συγκέντρωσης, έτοιμο να εισέλθει ξανά στον αφυγραντήρα.

Κατά την διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας αρχικά λαμβάνονται μετρήσεις σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας που θέλουμε να μελετήσουμε και μετά γίνεται επεξεργασία των μετρήσεων για να δούμε πως επηρεάζεται η συμπεριφορά της διάταξης.

Abstract

The present Diploma Thesis, deals with the experimental investigation of a liquid desiccant air conditioning system, internally cooled, which is installed at the National Technical University of Athens at the Laboratory of Applied Thermodynamics. As liquid desiccant we used Lithium Chloride (LiCl) and we investigated the impact of changing the air supply and the supply and concentration of the solution to the behavior of the installation.

At the absorber the strong desiccant solution ((LiCl-H₂O), from the concentrated storage tank, is sprayed on top of the dehumidifier, it flows down by gravity and comes in contact with the process air and humidity is transferred from air to the solution. The absorption process is cooled by cold water from the evaporative cooler. The end of the process finds the air cool and dehumidified and the solution diluted and stored at the diluted tank.

After absorption the diluted desiccant solution must return to its initial concentration so it enters the regenerator in which hot water supplies the necessary heat. As the liquid desiccant gets hot the excessive water content is evaporated and the hot humid air is rejected to the ambient. After the regeneration process the solution has returned to its initial concentration and it's stored at the concentrated storage tank ready for the absorption process.

For this experimental process we take measurements in the various operation conditions we mentioned earlier and through the assessment of the experimental results we analyze how it affects the behavior of the installation.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1^ο- Στοιχεία Θεωρίας	6
1.1 Ξηραντικό.....	6
1.1.1 Είδη υγρών ξηραντικών και διαφορές.....	6
1.2 Πύργος απορρόφησης.....	8
1.3 Εξατμιστικός ψύκτης.....	10
1.4 Αναγεννητής.....	11
1.4.1 Πύργοι αναγέννησης.....	11
1.5 Παράμετροι λειτουργίας και αποδοτικότητας.....	13
1.5.1 Θερμοκρασία υγρού ψύξης.....	13
1.5.2 Θερμοκρασία εισόδου αέρα.....	13
1.5.3 Σχετική υγρασία αέρα εισόδου.....	13
1.5.4 Παροχή αέρα.....	14
1.5.4 Συγκέντρωση ξηραντικού διαλύματος.....	14
1.5.5 Παροχή ξηραντικού διαλύματος.....	14
Κεφάλαιο 2^ο- Πειραματική Διάταξη	15
2.1 Σύντομη περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας.....	16
2.2 Περιγραφή Κύριων Συνιστωσών της Πειραματικής Διάταξης.....	18
2.2.1 Γεωμετρία πύργου αφύγρανσης.....	18
2.2.1.1 Στοιχεία πύργου αφύγρανσης.....	19
2.2.2 Γεωμετρία πύργου αναγέννησης.....	26
2.2.2.1 Στοιχεία πύργου αφύγρανσης.....	26
2.2.3 Γεωμετρία εξατμιστικού ψύκτη.....	33
2.2.3.1 Στοιχεία εξατμιστικού ψύκτη.....	33
2.2.4 Δεξαμενές συγκέντρωσης υγρού ξηραντικού.....	37
2.2.4.1 Μαγνητικές βαλβίδες.....	37
2.3 Σύντομη περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας.....	39
2.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	40
Κεφάλαιο 3^ο- Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων	42
3.1 Παραμετρική ανάλυση με μεταβολή της παροχή αέρα.....	42
3.1.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για μεταβολή παροχής αέρα.....	52

3.2 Παραμετρική ανάλυση με μεταβολή της συγκέντρωσης διαλύματος LiCl-H ₂ O	55
3.2.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για μεταβολή συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H ₂ O	61
3.3 Παραμετρική ανάλυση με μεταβολή της παροχής διαλύματος LiCl-H ₂ O	65
3.3.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για μεταβολή παροχής διαλύματος LiCl-H ₂ O	74
Κεφάλαιο 4^ο- Σφάλματα	76
4.1 Ακρίβεια μέτρησης	76
4.1.1 Συστηματικά σφάλματα.....	76
4.1.2 Τυχαία σφάλματα	76
4.2 Διαδικασία υπολογισμού σφαλμάτων πειράματος	77
4.3 Αποτελέσματα σφαλμάτων	79
Κεφάλαιο 5^ο Συμπεράσματα.....	84
Βιβλιογραφία.....	85

Εισαγωγή

Κλιματισμός μπορεί να οριστεί οποιαδήποτε μορφή τεχνολογίας ψύξης, θέρμανσης, εξαερισμού ή απολύμανσης που προσφέρει τη δυνατότητα μεταβολής των ιδιοτήτων του αέρα – και πρώτα απ’ όλα της θερμοκρασίας και της υγρασίας του – για να επιτευχθούν ευνοϊκότερες συνθήκες σε ένα χώρο. Αναμφισβήτητα, τα συστήματα κλιματισμού αποτελούν ένα σημαντικό επίτευγμα της τεχνολογίας, αφού έχουν βελτιώσει αισθητά την ποιότητα ζωής μας.

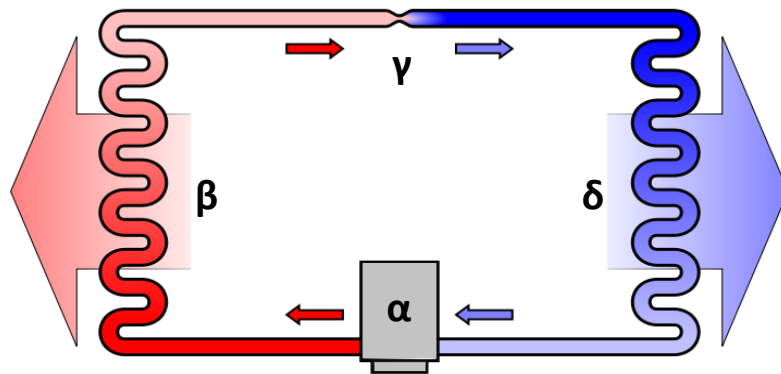
Το πρώτο σύγχρονο σύστημα κλιματισμού, κατασκευάστηκε το 1902 από τον Willis Haviland Carrier, για την εκδοτική εταιρεία Sackett-Wilhelms Lithographing and Publishing Company στο Brooklyn της Νέας Υόρκης. Ο Willis Carrier, κλήθηκε να λύσει το πρόβλημα υγρασίας που αντιμετώπιζε η εταιρεία κατά τους ζεστούς καλοκαιρινούς μήνες, όπου το χαρτί που χρησιμοποιούσαν στην εκτύπωση, απορροφούσε υγρασία από τον αέρα, καθιστώντας δύσκολη την εφαρμογή του μελανιού σε αυτό. Ο Carrier έλυσε το πρόβλημα χρησιμοποιώντας αγωγούς κρύου νερού. Ο αέρας του κτηρίου περνούσε ανάμεσά τους με αποτέλεσμα να ψύχεται. Με αυτό τον τρόπο κατάφερε να ελέγξει την υγρασία στο εσωτερικό του κτηρίου και έτσι να σταθεροποιήσει το ποσοστό υγρασίας στο χαρτί, και ταυτόχρονα να επιτύχει μείωση της θερμοκρασίας μέσα στο κτήριο.

Το 1906, ο Stuart Warren Cramer, ψάχνοντας νέους τρόπους να προσθέσει υγρασία στον αέρα, για να διευκολύνει την επεξεργασία των κλωστών στο κλωστοϋφαντουργείο του, συνδύασε υγρασία και εξαερισμό. Αυτή η τεχνική χρησιμοποίησης της εξάτμισης του νερού στον αέρα για τον έλεγχο της υγρασίας και τη μείωση της θερμοκρασίας, είναι γνωστή και ως εξατμιστική ψύξη. Αυτή η μέθοδος υιοθετήθηκε και από τον Willis Carrier, για μετέπειτα εφαρμογές, ενώ αργότερα ο DuBose την εφάρμοσε στην κατασκευή οικιακών συστημάτων κλιματισμού [1].

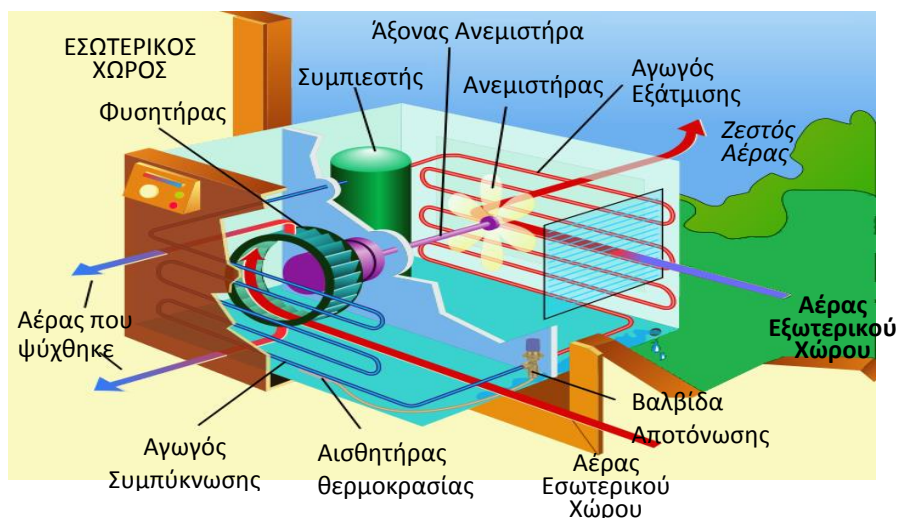
Παρόλα αυτά, τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού σήμερα, μειώνουν τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα στο χώρο, χρησιμοποιώντας μια πολύ απλή επιστημονική αρχή: Όταν ένα ρευστό, περνά από την υγρή φάση στην αέρια, απορροφά θερμότητα, με αποτέλεσμα, ένα φορτίο ψύξης, γνωστό και ως λανθάνον φορτίο. Τα συστήματα κλιματισμού εκμεταλλεύονται αυτή την ιδιότητα της αλλαγής φάσης, εξαναγκάζοντας ειδικά χημικά να υπερψύχονται και να αναθερμαίνονται ξανά και ξανά σε ένα κλειστό σύστημα αγωγών, μέσω συμπίεσης και αποτόνωσης.

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διαδικασία λέγονται ψυκτικά υγρά και έχουν ιδιότητες που τους επιτρέπουν την αλλαγή φάσης, σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Παλαιότερα, χρησιμοποιούνταν ψυκτικά υγρά που ήταν εύφλεκτα ή τοξικά, όπως η αμμωνία, μεθυλοχλωρίδιο ή προπάνιο. Στο πρόβλημα αυτό, ήρθε να δώσει λύση, ο Thomas Midgley, Jr., ο οποίος το 1928 ανακάλυψε ένα μη τοξικό και μη εύφλεκτο αέριο, το Freon. Το Freon είναι το όνομα που αντιστοιχεί σε οποιοδήποτε ψυκτικό υγρό που είναι Χλωροφθοράνθρακας (Chlorofluorocarbon – CFC), Υδροχλωροφθοράνθρακας (Hydrochlorofluorocarbon – HCFC) ή Υδροφθοράνθρακας (Hydrofluorocarbon – HFC). Κάθε ψυκτικό υγρό έχει ένα αριθμό που δείχνει τη χημική σύνθεση (R-11, R-12, R-22, R-134A) [2].

Στα κοινά συστήματα κλιματισμού, το ψυκτικό περνά μέσα από το Συμπιεστή (Σχήμα 1-α) ο οποίος ανεβάζει την πίεσή του και ταυτόχρονα προωθεί την κυκλοφορία του. Το ψυκτικό βρίσκεται σε αέρια φάση εισερχόμενο στο συμπιεστή και κατά την έξοδό του, η πίεση και η θερμοκρασία του έχουν αυξηθεί. Σε δεύτερη φάση, το αεριοποιημένο ψυκτικό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας, προχωράει στον αγωγό συμπίκνωσης (Σχήμα 1-β), ο οποίος είναι εκτεθειμένος σε κύμα αέρα ψύξης (Σχήμα 2), με αποτέλεσμα η θερμική ενέργεια να διαχέεται προς το εξωτερικό του δωματίου υπό τη μορφή ζεστού αέρα και το αεριοποιημένο ψυκτικό να συμπυκνώνεται. Δηλαδή, εξερχόμενο το ψυκτικό από τον αγωγό συμπίκνωσης, βρίσκεται πλέον στην υγρή φάση. Ακολούθως προχωρά στη βαλβίδα αποτόνωσης (Σχήμα 1-γ), όπου η πίεση του ψυκτικού υγρού πέφτει. Το ψυκτικό υγρό χαμηλής πίεσης εισέρχεται στον αγωγό εξάτμισης (Σχήμα 1-δ), όπου εξατμίζεται. Με αυτή την αλλαγή φάσης από υγρό σε αέριο, το ψυκτικό απορροφά θερμική ενέργεια, δημιουργώντας έτσι ένα φορτίο ψύξης. Εξωτερικά ο αγωγός εξάτμισης έρχεται σε επαφή με αέρα ο οποίος μέσω ενός φυσητήρα προωθείται στο εσωτερικό του χώρου που ψύχεται (Σχήμα 2). Εξερχόμενο από τον αγωγό εξάτμισης, το ψυκτικό βρίσκεται σε αέρια φάση. Στη συνέχεια προχωράει στο Συμπιεστή για να επαναλάβει τον ίδιο κύκλο ξανά.



Σχήμα 1 Απλό διάγραμμα κύκλου ψύξης: α. Συμπιεστής, β. Αγωγός Συμπύκνωσης γ. Βαλβίδα Αποτόνωσης, δ. Αγωγός Εξάτμισης



Σχήμα 2 Τυπικό οικιακό σύστημα κλιματισμού

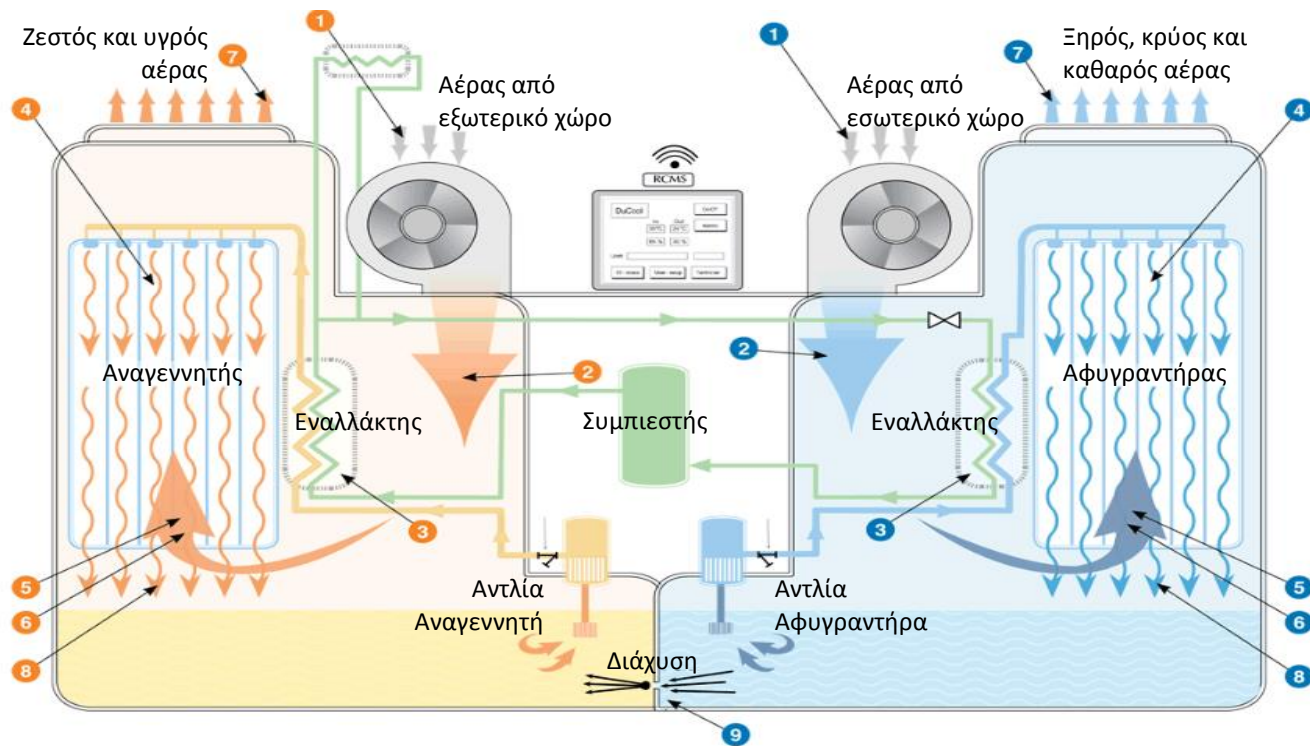
Στην παρούσα εργασία μελετούνται τα συστήματα κλιματισμού υγρού στοιχείου. Πρόκειται για συστήματα κλιματισμού, που όπως και τα συμβατικά, εκμεταλλεύονται το λανθάνον φορτίο ψύξης που προκύπτει από την απελευθέρωση θερμικής ενέργειας όταν η υγρασία στον αέρα περνά από την αέρια στην υγρή φάση. Παρόλα αυτά δεν χρησιμοποιούν συμπύεση, ούτε ψύχουν και αναθερμαίνουν το ψυκτικό, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα κατανάλωση έως και 4 φορές λιγότερης ενέργειας. Λόγω αυτής της ικανότητάς τους, τα συστήματα κλιματισμού υγρού στοιχείου άρχισαν να κινούν την προσοχή.

Στον κύκλο ψύξης υγρού στοιχείου, ένα απορροφητικό διάλυμα (υγρό στοιχείο) χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει την υγρασία από τον αέρα, που κυκλοφορεί μεταξύ δύο κρίσιμων συστημάτων: του αφυγραντήρα και του αναγεννητή (Σχήμα 3). Απορροφητικό διάλυμα (υγρό στοιχείο) ψεκάζεται πάνω στον αφυγραντήρα εσωτερικής ψύξης, και κινείται προς τα κάτω λόγω της βαρύτητας, με αποτέλεσμα να έρχεται σε επαφή με τον αέρα που θέλουμε να επεξεργαστούμε (Σχήμα 3 – 4 δεξιά). Το απορροφητικό διάλυμα και – εξ ορισμού – έχει μια ισχυρή τάση να απορροφά υγρό σε μορφή ατμού, οπότε απορροφά την υγρασία από τον αέρα (Σχήμα 3 – 5 δεξιά). Το τέλος αυτής της διαδικασίας βρίσκει τον αέρα κρύο και χωρίς υγρασία (Σχήμα 3 – 7 δεξιά). Το απορροφητικό διάλυμα, έχοντας απορροφήσει την υγρασία, είναι πλέον αραιωμένο (Σχήμα 3 – 8 δεξιά). Έτσι, για να ανακτήσει την αρχική συγκέντρωσή του, εισέρχεται στον αναγεννητή (Σχήμα 3 – 4 αριστερά). Το περιττό νερό στο διάλυμα – που προκαλεί και την αραιώση – παίρνει την απαραίτητη θερμότητα για να εξατμιστεί, από ζεστό νερό προερχόμενο από μια χαμηλής θερμοκρασίας πηγή (Σχήμα 3 – 6 αριστερά). Στο τέλος της διαδικασίας ο ζεστός υγρός αέρας απορρίπτεται στο περιβάλλον και το συμπυκνωμένο διάλυμα οδηγείται και πάλι στον αφυγραντήρα για να επαναλάβει και πάλι τον ίδιο κύκλο (Σχήμα 3 – 7, 8 αριστερά).

Η μέθοδος αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη συμβατική. Η εξάτμιση του ξηραντικού γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία (40 – 70 °C), κάτι που όπως και προαναφέρθηκε οδηγεί στη μείωση της καταναλισκόμενης από το σύστημα ενέργειας. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι ο αέρας φιλτράρεται (ούτως ώστε να του αφαιρεθεί η υγρασία και να ψυχθεί) οδηγεί στη μείωση των βακτηρίων όταν έρχονται σε επαφή με το υγρό ξηραντικό στοιχείο.

Τα συστήματα κλιματισμού υγρού στοιχείου, έχουν γίνει αντικείμενο μελέτης στο ΕΜΠ. Τα περίπλοκα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας και μάζας στον αφυγραντήρα και τον αναγεννητή, αποτέλεσαν θέμα προηγούμενης μελέτης. Βασισμένοι στη γνώση που έχει αποκτηθεί, ένα σύστημα υγρού στοιχείου έχει εγκατασταθεί στο Εργαστήριο Θερμοδυναμικής του Ε.Μ.Π για ερευνητικούς σκοπούς. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει κατασκευαστεί από την γερμανική εταιρία L-DCS.

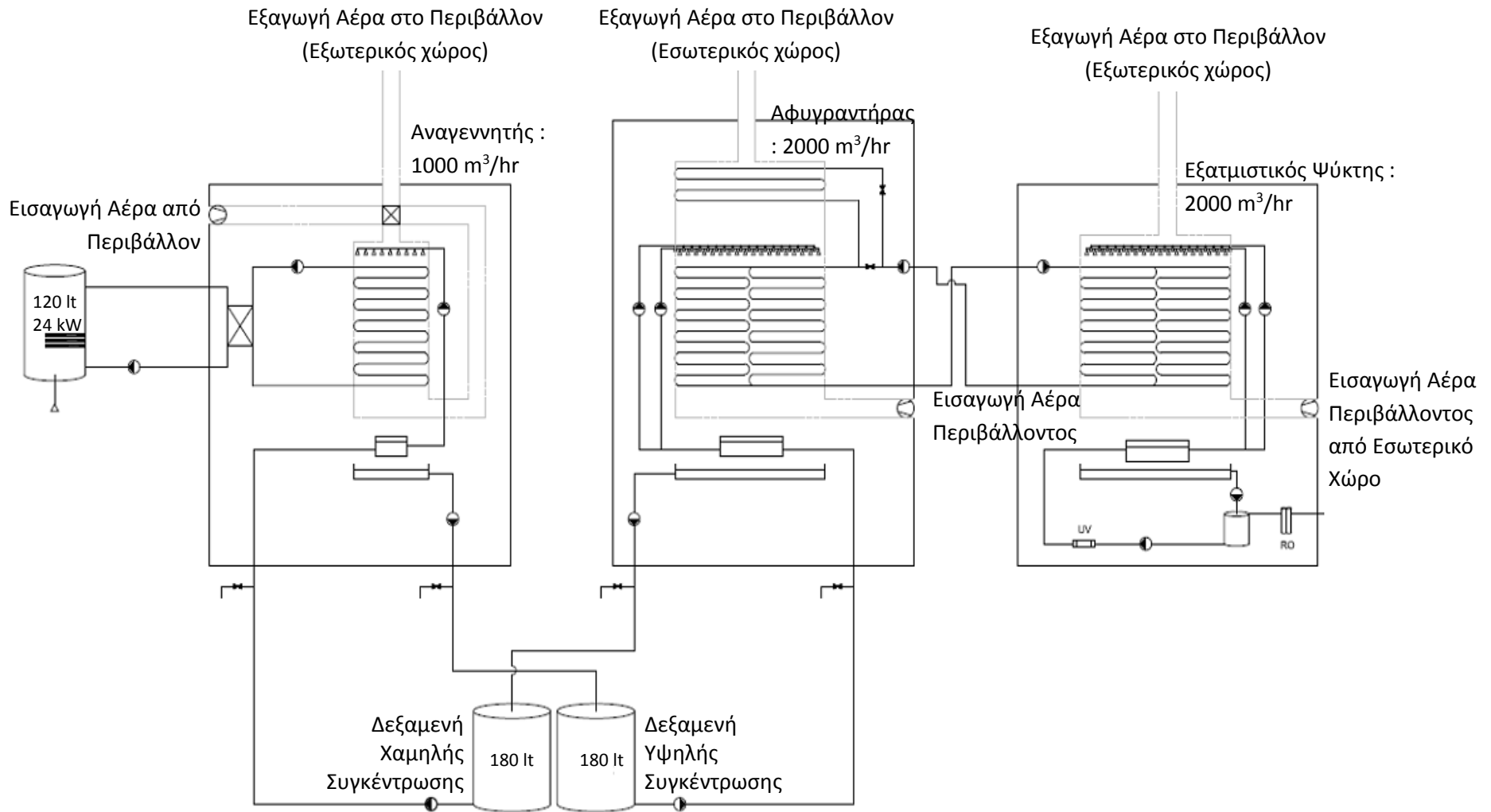
Τα κύρια μέρη του συστήματος είναι ο Αφυγραντήρας (Absorber), ο Αναγεννητής (Regenerator) και ο Εξατμιστικός Ψύκτης (Evaporative Cooler). Το σύστημα χρησιμοποιεί νερό ως ψυκτικό υγρό και LiCl διάλυμα ως ξηραντικό υγρό στοιχείο. Στο σύστημα υπάρχουν δύο δεξαμενές αποθήκευσης: μία για το συμπυκνωμένο διάλυμα ξηραντικού (υγρού στοιχείου) και μία για το αραιωμένο διάλυμα (Σχήμα 4). [3]



1. Αέρας από τον εξωτερικό χώρο εισέρχεται στο σύστημα
2. Ο αέρας θερμαίνεται με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας
3. Το υγρό στοιχείο θερμαίνεται με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμότητας
4. Το υγρό στοιχείο (πιο υψηλής θερμοκρασίας) προχωρεί και απορροφάται από το κυψελοειδές μέσον (αναγεννητής)
5. Ο εξωτερικός αέρας περνά μέσα από το κυψελοειδές μέσον (αναγεννητής) που έχει εμβαπτιστεί με το υγρό στοιχείο
6. Το υγρό στοιχείο απελευθερώνει υγρασία
7. Ο υγρός ζεστός αέρας απελευθερώνεται στο περιβάλλον
8. Το συγκεντρωμένο – πλέον – υγρό στοιχείο καταλήγει στη δεξαμενή

1. Ο προς επεξεργασία αέρας (εσωτερικού χώρου) εισέρχεται
2. Ο αέρας ψύχεται με τη βοήθεια εναλλάκτη
3. Το υγρό στοιχείο ψύχεται με τη βοήθεια εναλλάκτη
4. Το υγρό στοιχείο (χαμηλότερης θερμοκρασίας) προχωρεί και απορροφάται από το κυψελοειδές μέσο (αφυγραντήρας)
5. Ο αέρας περνά μέσα από τον αφυγραντήρα
6. Το υγρό στοιχείο απορροφά την υγρασία του αέρα και ταυτόχρονα τον καθαρίζει και τον ψύχει
7. Ο ξηρός, κρύος και καθαρός αέρας εξέρχεται και ψύχει το χώρο
8. Το αραιωμένο υγρό στοιχείο πέφτει πίσω στη δεξαμενή
9. Το υγρό στοιχείο διαχέεται στη δεξαμενή υψηλής συγκέντρωσης για να επανέλθει μέσω διεργασίας στην αρχική του κατάσταση

Σχήμα 3 Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας ενός τυπικού υβριδικού συστήματος κλιματισμού υγρού στοιχείου



Σχήμα 4 Σχηματική απεικόνιση του Συστήματος Κλιματισμού Υγρού Στοιχείου του Εργαστηρίου Θερμοδυναμικής του ΕΜΠ

Κεφάλαιο 1^ο

Στοιχεία Θεωρίας

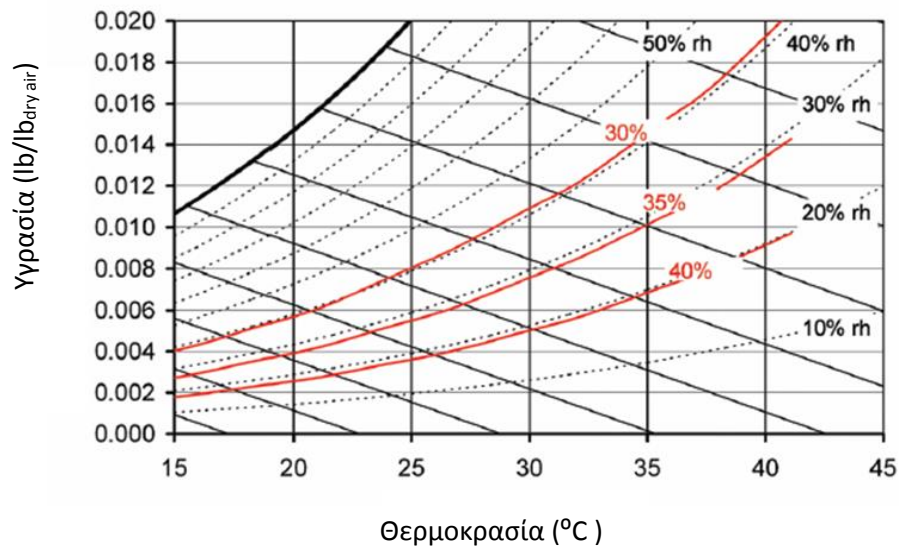
1.1 Ξηραντικό

Το ξηραντικό είναι ένα υλικό το οποίο έχει την τάση να απορροφά ή να εκροφά νερό αναλόγως αν η σχετική υγρασία ισορροπίας είναι υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη σχετική υγρασία του αέρα. Όταν το ξηραντικό απορροφάει υγρασία από τον αέρα, απορροφά και θερμότητα και κατ' επέκταση, η θερμοκρασία του ξηραντικού αυξάνεται και η θερμοκρασία του νερού μειώνεται. Αυτή η απελευθέρωση θερμότητας είναι η αντίθετη διεργασία από αυτή που έχουμε στον Εξατμιστικό Ψύκτη. Τα συγκεκριμένα υλικά μπορούν να κάνουν αυτή την διεργασία σε στερεά, υγρή και αέρια φάση. Η κινητήρια δύναμη για να έχουμε αυτή τη μεταφορά μάζας (του νερού από τον αέρα στο ξηραντικό) είναι η διαφορά στο σημείο κορεσμού μεταξύ του ξηραντικού και του αέρα.

1.1.1 Είδη υγρών ξηραντικών και διαφορές

Τυπικά υγρά ξηραντικά είναι τα αλογονούχα άλατα του χλωριούχου λιθίου (LiCl) και του βρωμιούχου λιθίου (LiBr), τα οποία σε κορεσμένα διαλύματα μπορούν να ξηράνουν τον αέρα σε 6% σχετική υγρασία. Το μειονέκτημα αυτών των ξηραντικών είναι η διαβρωτική τους δράση στα μέταλλα.

Τυπικές συγκεντρώσεις του χλωριούχου λιθίου και η ψυχομετρική του απόδοση φαίνονται στο Διάγραμμα 1. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χλωριούχου λιθίου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν λόγω της τάσης του να κρυσταλλοσκοπείται σε ψηλές συγκεντρώσεις.

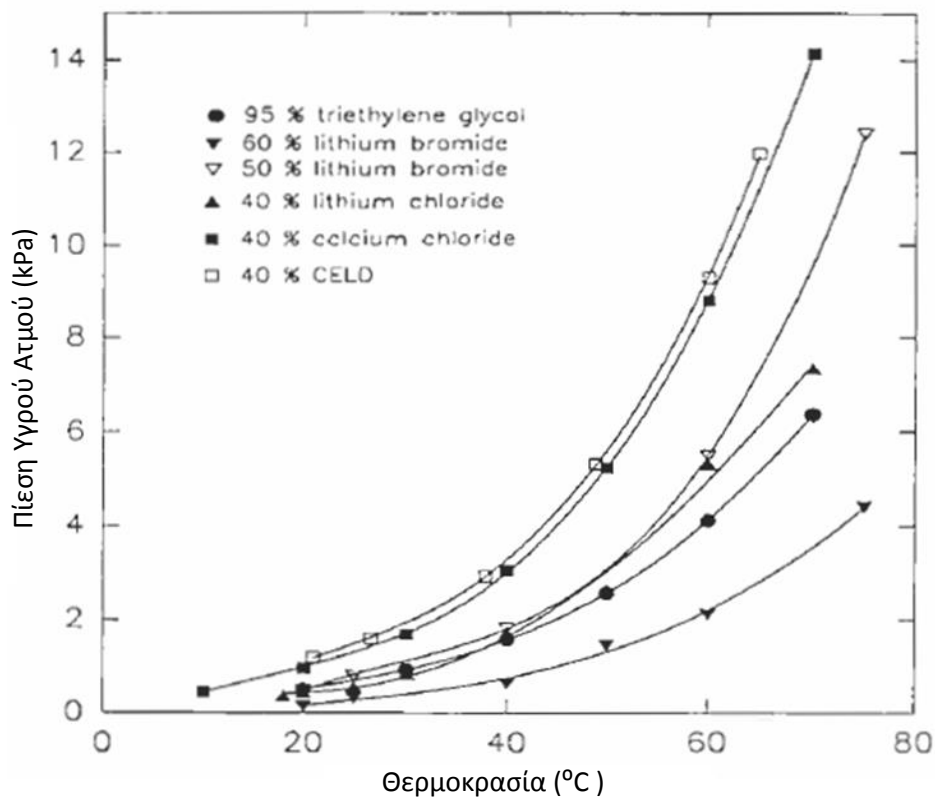


Διάγραμμα 1.1 Ψυχομετρική Απόδοση του Χλωριούχου Λιθίου σε διαφορετικές συγκεντρώσεις

Μια άλλη κατηγορία ξηραντικών είναι οι γλυκόλες οι οποίες έχουν χαμηλή τοξικότητα και δεν διαβρώνουν τα μέταλλα. Δυστυχώς οι γλυκόλες έχουν ένα ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό: είναι πτητικές. Ένα μίγμα 96% τριαιθυλενικής γλυκόζης (TEG) και 4% νερού θα ξηράνει τον αέρα στο ίδιο επίπεδο με διάλυμα 42% χλωριούχου λιθίου. Παρόλ' αυτά, το 1% της γλυκόλης θα βρίσκεται στον αέρα, κάτι που θα έχει οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Άλατα ασθενών οργανικών οξέων όπως το μυρμηκικό νάτριο και διάφορα οξικά άλατα έχουν εξεταστεί ως εναλλακτική λύση των αλογονούχων αλάτων γιατί είναι λιγότερο διαβρωτικά, ενώ δεν είναι ούτε πτητικά. Τα μυρμηκικά άλατα έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι λιγότερο ιξώδη από τα οξικά. Όμως είναι σημαντικά ασθενέστερα από τα άλατα χλωριούχου λιθίου και του βρωμιούχου λιθίου αν και έχουν την ικανότητα να ξηραίνουν τον αέρα σε σχετική υγρασία κάτω του 30%.

Λόγω του σχετικά υψηλού κόστους των ξηραντικών που έχουν σαν βάση το λίθιο, έχει μελετηθεί η χρήση μίγματος χλωριούχου λιθίου και χλωριούχου ασβεστίου ως μια φθηνή εναλλακτική λύση, αφού η τιμή κόστους του χλωριούχου ασβεστίου φτάνει μόλις το 5% της τιμής του χλωριούχου λιθίου. Έχει αποδειχθεί ότι ένα διάλυμα με αναλογία 50/50 θα συμπεριφέρεται το ίδιο με ένα διάλυμα που αποτελείται κατά το 40% από χλωριούχο λίθιο.



Διάγραμμα 1.2 Πίεση Ατμού Ξηραντικών (Υγρών Στοιχείων)

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υγρό ξηραντικό είναι – παρά τα μειονεκτήματά του – το χλωριούχο λίθιο. Το χλωριούχο βρώμιο δεν προτιμάται γιατί αν και ισχυρότερο, σε ελαφρά όξινα διαλύματα μετατρέπεται σε βρώμιο, το οποίο έχει δυσάρεστη μυρωδιά. Παρόλα αυτά, αυτό του το αρνητικό χαρακτηριστικό, μπορεί να αποφευχθεί με τον κατάλληλο έλεγχο του pH.

Ένα ισχυρότερο ξηραντικό από το χλωριούχο λίθιο θα είχε το σημαντικό πλεονέκτημα της μη χρήσης ψυκτικού νερού στο σύστημα. Λόγω αυτού, η μελέτη εξεύρεσης ενός νέου ισχυρότερου ξηραντικού, χρήζει μελέτης [4].

1.2 Πύργος απορρόφησης

Ένας τρόπος παρουσίασης της απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος απορρόφησης της υγρασίας από τον αέρα είναι λαμβάνοντας υπόψη την αποδοτικότητα του στο να αφαιρεί την υγρασία από τον αέρα. Η αποδοτικότητα του αφυγραντήρα, είναι ο δείκτης μεταβολής της πραγματικής υγρασίας του αέρα που περνά από τον αφυγραντήρα. Κάτω από ιδανικές συνθήκες διακύμανσης, η αποδοτικότητα υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$n = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in} - W^{sat}} 100\% ,$$

όπου W^{sat} είναι ο ισοδύναμος δείκτης υγρασίας του υγρού ξηραντικού στοιχείου και υπολογίζεται με την εξής σχέση:

$$W^{sat}(T_s) = 0.622 \frac{p_{w, st^{sat}}(T_s)}{p_{atm} - p_{w, st^{sat}}(T_s)} .$$

Ο πύργος απορρόφησης προσφέρει μια μεγάλη επιφάνεια για μεταφορά μάζας και θερμότητας. Καθώς το νερό απορροφάται από το ξηραντικό, έχουμε και απορρόφηση θερμότητας που συνεπάγεται αύξηση της θερμοκρασίας του ξηραντικού, άρα μείωση της μεταφοράς μάζας μεταξύ του ξηραντικού και του αέρα. Η αποφυγή αυτής της ανεπιθύμητης συνέπειας σύμφωνα με τους Zografos και Petroff (1991), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ξηραντικού αντίθετης ροής, παράλληλης πλάκας αφύγρανσης στο οποίο το λανθάνων φορτίο αφαιρείται από τον αέρα και η θερμότητα που δημιουργείται από την απορρόφηση απορρίπτεται στον Εξατμιστικό Ψύκτη.

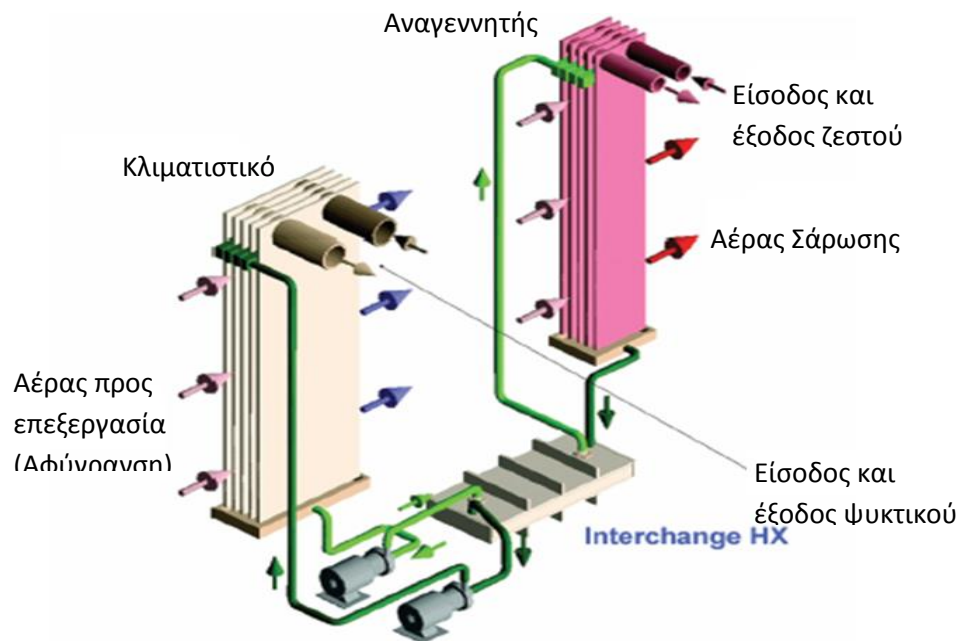
Μια εναλλακτική λύση για τον πύργο απορρόφησης (αφυγραντήρα) είναι η χρήση εναλλάκτη. Με αυτό τον τρόπο, ο αέρας κατά την αφύγρανση με το ξηραντικό, ψύχεται από κρύο νερό ή ψυκτικό υγρό με αποτέλεσμα να έχουμε μια ισοθερμική διεργασία.

Παράγοντες που επηρεάζουν την αφύγρανση (θα εξηγηθούν πιο κάτω), είναι η θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού υγρού, η θερμοκρασία εισόδου του ξηραντικού, η σχετική υγρασία του αέρα, ο ρυθμός ροής του αέρα, ο ρυθμός ροής του ξηραντικού, η θερμοκρασία εισόδου του ζεστού νερού αναγέννησης, η συγκέντρωση του ξηραντικού και ο ρυθμός μεταφοράς μάζας μεταξύ ξηραντικού και αέρα. [5]

1.3 Εξατμιστικός ψύκτης

Ο ρόλος του συστήματος του Εξατμιστικού Ψύκτη είναι να παρέχει το απαραίτητο νερό ψύξης κατά τη διάρκεια της απορρόφησης, ώστε – όπως προαναφέρθηκε – να μη μειώνεται η δέσμευση της υγρασίας από το ξηραντικό λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του τελευταίου. Για να το πετύχουμε αυτό, ο εξατμιστικός ψύκτης χρησιμοποιεί τον αέρα της εξάτμισης και την παροχή νερού του κτιρίου. Λόγω αυτής της διαμόρφωσης, η κατώτερη θεωρητική θερμοκρασία για το νερό ψύξης είναι η θερμοκρασία Υγρού Βολβού δηλαδή η τελική θερμοκρασία του υγρού αέρα στην έξοδο από την αδιαβατική ύγρανση. Η φυσική της σημασία είναι ότι είναι η ελάχιστη θερμοκρασία που μπορεί να φτάσει η θερμοκρασία υγρού αέρα αποκλειστικά λόγω της εξάτμισης νερού. Η θερμοκρασία υγρού βολβού είναι αυτή που αισθανόμαστε όταν εκθέσουμε κάποιο σημείο μουσκεμένου ανθρώπινου σώματος σε διερχόμενο ρεύμα αέρα.

Ο Laevemann (2006) περιέγραψε ένα κλιματιστικό (Σχήμα 1.1) φτιαγμένο από λεπτά τοιχώματα πολυπροπυλενίου που χρησιμοποιούσε νερό ως ψυκτικό υγρό. Το ψυκτικό υγρό έρεε διαμέσου των εσωτερικών του αγωγών, ενώ μια χαμηλή ροή ξηραντικού έρεε στις εξωτερικές επιφάνειες των τοιχωμάτων [6].



Σχήμα 1.1 Σύστημα Κλιματισμού Υγρού Στοιχείου που χρησιμοποιεί Υδρόψυκτο Αφυγραντή και Αναγεννητή που θερμαίνεται με νερό

1.4 Αναγεννητής

Ο αναγεννητής είναι ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια του συστήματος ψύξης υγρού ξηραντικού. Εντός του, το υγρό ξηραντικό διάλυμα αναγεννάται με την απορρόφηση σχετικά μικρών ποσών θερμικής ενέργειας, και επαναφέρεται, έτσι, στην επιθυμητή συγκέντρωση. Με λίγα λόγια, στον αναγεννητή, μπορούμε να ανακτήσουμε την αρχική συγκέντρωση στο ξηραντικό υγρό.

1.4.1 Πύργοι αναγέννησης

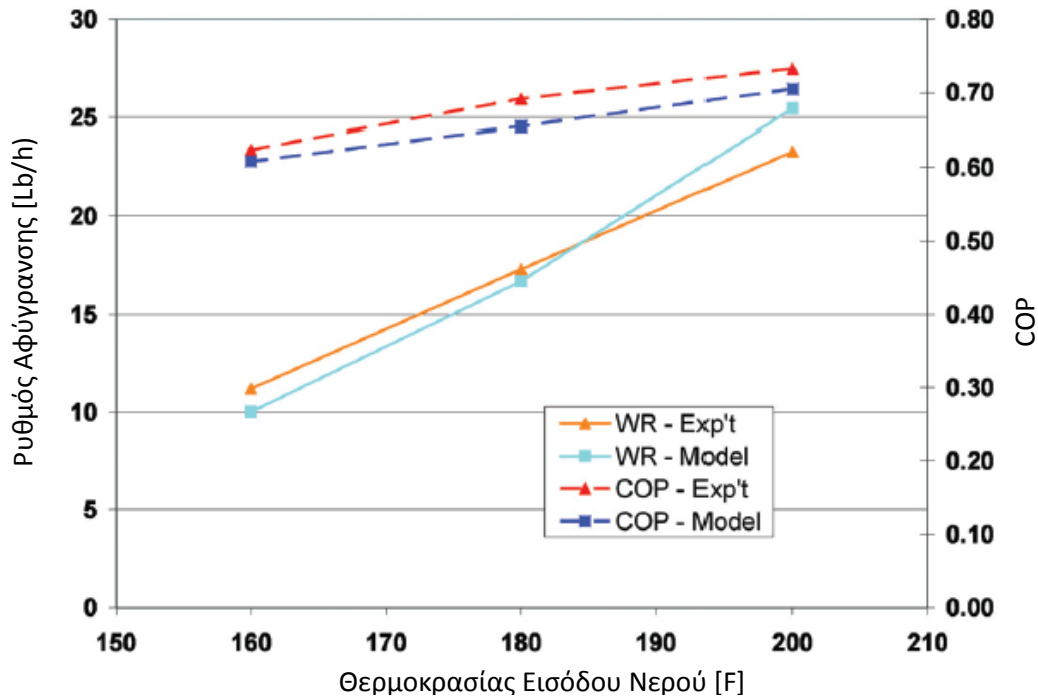
Οι πύργοι αναγέννησης είναι η επικρατέστερη μέθοδος αναγέννησης στα συστήματα ψύξης και αφύγρανσης υγρού ξηραντικού που χρησιμοποιούν ως ξηραντικό άλατα αλογόνου. Αυτό του τύπου πύργοι αναγέννησης λειτουργούν παρόμοια με τους πύργους απορρόφησης. Η μόνη τους διαφορά, εντοπίζεται στο ότι σε αυτή την περίπτωση, το ξηραντικό θερμαίνεται.

Ο αέρας περιβάλλοντος περνά διαμέσου του πύργου αναγέννησης. Η πίεση εξάτμισης του ζεστού ξηραντικού είναι πολύ ψηλότερη από την πίεση υγρασίας στον αέρα, και έτσι το νερό εξατμίζεται εξαιτίας του ζεστού ξηραντικού, παρασύρεται από το ρεύμα αέρα και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Παράγοντες που επηρεάζουν την αναγέννηση αναφέρονται πιο κάτω.

Παρά τις αδυναμίες του, το συγκεκριμένο σύστημα έχει εξεταστεί και μοντελοποιηθεί πιο πολύ από άλλους τύπους αναγέννησης. Η μεταφορά μάζας και θερμότητας στους πύργους αναγέννησης έχει αναλυθεί από τους Oberg και Goswami (1998) και τα αποτελέσματα έχουν συνοψιστεί από τον Elsarrag (2006).

Για να ξεπεράσουμε τους περιορισμούς που αναλύονται πιο κάτω για τους πύργους αναγέννησης/απορρόφησης έχει εξεταστεί η χρήση εσωτερικά θερμαινόμενων πύργων αναγέννησης. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται η μη εξάρτηση της θερμοκρασίας του ξηραντικού από το ρυθμό ροής του. Έτσι, μπορούμε εύκολα να τον μειώσουμε κατά μια τάξη μεγέθους. Αυτό θα μειώσει και την ενέργεια που χρειαζόμαστε για μεταφορά του ξηραντικού και ο αναγεννητής θα μπορέσει να λειτουργήσει χωρίς την δημιουργία σταγονιδίων ξηραντικού. Ακόμη, μπορεί να οδηγήσει και σε μείωση της αρχικής συγκέντρωσης του ξηραντικού, διατηρώντας τη μέση συγκέντρωση ξηραντικού στον αναγεννητή στα ίδια επίπεδα.

Ένα σύστημα εσωτερικά θερμαινόμενου αναγεννητή έχει σχεδιαστεί και εξεταστεί από τον Krause (2005) και τον Lowestein (2006). Τα συμπεράσματα τους ήταν ότι αφού η μεταφορά μάζας στηρίζεται στην πίεση εξάτμισης του ξηραντικού η οποία αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού εισόδου, ενώ αντίθετα η μεταφορά θερμότητας αυξάνεται γραμμικά, τότε μια δεδομένη αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του αναγεννητή θα επιφέρει επιθυμητή αύξηση της μεταφοράς μάζας και κατά συνέπεια και του βαθμού απόδοσης του συστήματος, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3 [7].



Διάγραμμα 1.3 Εξάρτηση του COP και του ρυθμού αφύγρρανσης με αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του νερού

Η απαιτούμενη ενέργεια που χρειαζόμαστε για να το πετύχουμε αυτό μπορεί να προσφερθεί από συμβατικές πηγές ενέργειας ή και από ανανεώσιμες πηγές όπως την ηλιακή ενέργεια.

Υπάρχουν τρεις τρόποι χρήσης της ηλιακής ενέργειας:

1. Χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση νερού, ή
2. Χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση αέρα, ή
3. Άμεσοι ηλιακοί αναγεννητές για την άμεση θέρμανση του ξηραντικού υγρού.

Η χρήση ηλιακού αναγεννητή εκτός από την χωρίς κόστος αναγέννηση του διαλύματος επιτυγχάνεται και η μη χρήση θαλάμου αναγέννησης.

Ο Saman Alizadeh (2002) σχεδίασαν και δοκίμασαν ένα ηλιακό αναγεννητή αναγκασμένης παράλληλης ροής όπου είχαν χρησιμοποιήσει ως ξηραντικό το χλωριούχο ασβέστιο. Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος έδειξαν ότι η ρυθμός ροής του αέρα και διαλύματος όπως και οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν την απόδοση του αναγεννητή [8].

1.5 Παράμετροι λειτουργίας και αποδοτικότητας

1.5.1 Θερμοκρασία υγρού ψύξης

Η απόδοση του αφυγραντήρα μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία εισόδου του ψυκτικού νερού ή του ξηραντικού διαλύματος. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το ξηραντικό δε ψύχεται ικανοποιητικά και έτσι έχουμε υψηλότερη θερμοκρασία ξηραντικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης εξάτμισης του ξηραντικού διαλύματος με αποτέλεσμα η διαφορά πίεσης εξάτμισης μεταξύ αέρα και ξηραντικού να μειωθεί. Κάτι τέτοιο, οδηγεί σε μικρότερη απόδοση του αφυγραντήρα.

1.5.2 Θερμοκρασία εισόδου αέρα

Η απόδοση του αφυγραντήρα επηρεάζεται ελάχιστα από τη θερμοκρασία εισόδου του αέρα. Μια αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του αέρα αυξάνει τον αισθητό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με αποτέλεσμα να έχουμε και μια αύξηση στη θερμοκρασία του ξηραντικού διαλύματος. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της πίεσης εξάτμισης του ξηραντικού διαλύματος και ως εκ τούτου θα έχουμε μικρότερο ρυθμό μεταφοράς μάζας. Για την ακρίβεια σε συγκεκριμένη θερμοκρασία αέρα εισόδου θα έχουμε μεταφορά μάζας από το ξηραντικό διάλυμα στον αέρα, πράγμα καθόλου επιθυμητό. Γι' αυτό το λόγο οι χαμηλές θερμοκρασίες εισόδου είναι προτιμότερες. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να επιτύχουμε μεγαλύτερο ρυθμό αφύγρανσης.

Αυτή η αύξηση στη θερμοκρασία δεν μας επηρεάζει πολύ, λόγω του ότι για χαμηλούς ρυθμούς ροής ξηραντικού, η θερμοχωρητικότητα του διαλύματος είναι μικρή.

1.5.3 Σχετική υγρασία αέρα εισόδου

Η απόδοση του αφυγραντήρα αυξάνεται όσο αυξάνεται η σχετική υγρασία περιβάλλοντος. Όσο ο καιρός γίνεται πιο υγρός, ο ρυθμός αφύγρανσης μάζας αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί με ψηλότερο δείκτη υγρασίας συνεπάγεται ψηλότερη πίεση ατμού-αέρα και έτσι, ψηλότερη μέση πίεση νερού-ατμού μεταξύ του αέρα και του ξηραντικού διαλύματος. Κατά συνέπεια, υπάρχει δυνατότητα για μεγαλύτερη μεταφορά μάζας από την αέρια στην υγρή φάση. Ως εκ τούτου, η διαφορά της αναλογίας μεταξύ της υγρασίας του αέρα από την είσοδο και την έξοδο του αφυγραντήρα αυξάνεται και η αναλογία της μάζας που έχει υποστεί αφύγρανση ομοίως.

1.5.4 Παροχή αέρα

Ο ρυθμός αφύγρανσης του αέρα και άρα η απόδοση του αφυγραντήρα μειώνεται με την αύξηση του ρυθμού ροής του αέρα. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν έχουμε αύξηση του ρυθμού ροής του αέρα συνεπάγεται μειωμένος χρόνος παραμονής στον αφυγραντήρα άρα και λιγότερη αφύγρανση.

1.5.4 Συγκέντρωση ξηραντικού διαλύματος

Η αφύγρανση αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του ξηραντικού διαλύματος. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση του ξηραντικού διαλύματος αυξάνεται και η ικανότητα του διαλύματος να απορροφά την υγρασία. Η λειτουργία αυτή στηρίζεται στη μείωση της πίεσης εξάτμισης του διαλύματος που προκαλεί μεγαλύτερη μεταφορά μάζας.

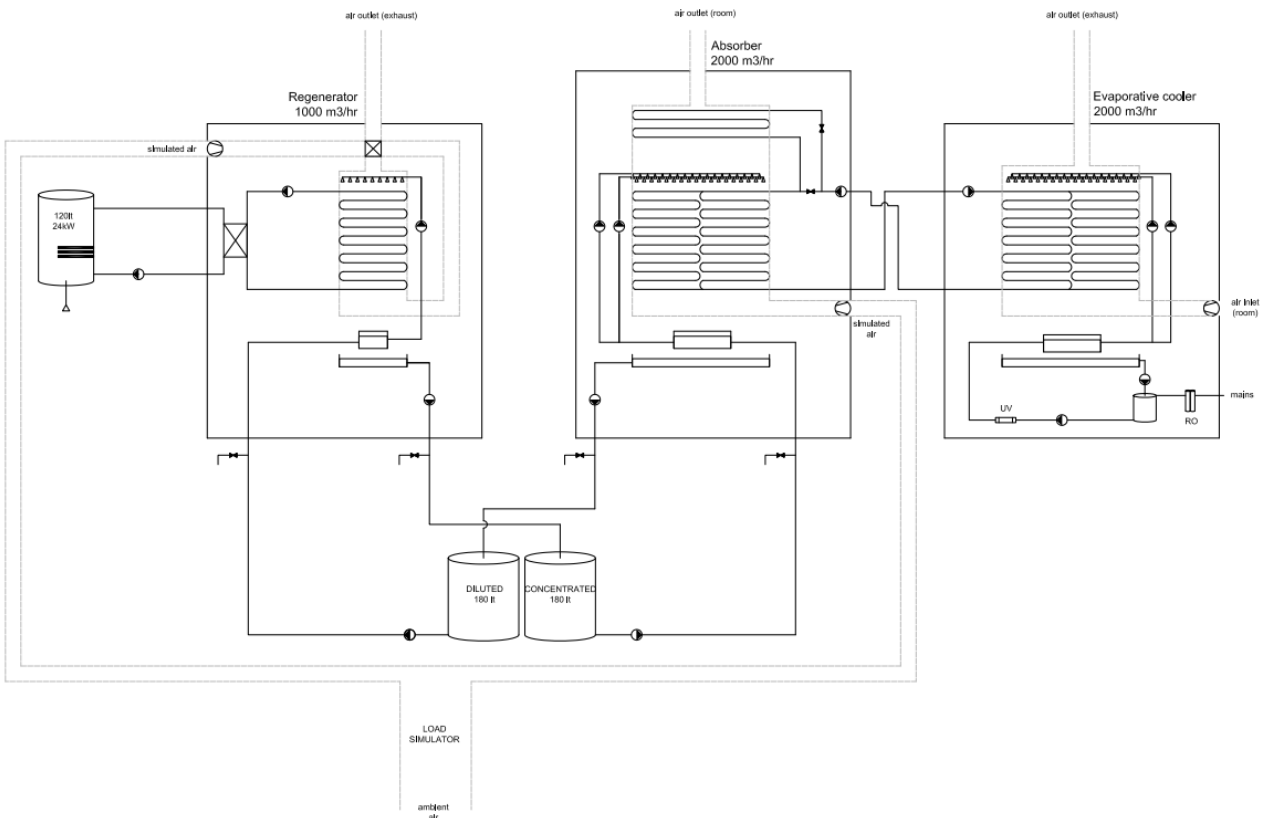
1.5.5 Παροχή ξηραντικού διαλύματος

Η αφύγρανση αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ροή μάζας του ξηραντικού διαλύματος. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς αυξάνεται η ροή μάζας του ξηραντικού διαλύματος, η μεταβολή της συγκέντρωσης του διαλύματος στον αφυγραντήρα μειώνεται, άρα μειώνεται και η πίεση εξάτμισης, με αποτέλεσμα η διαφορά στην πίεση μεταξύ ξηραντικού και αέρα να αυξάνεται. Κατ' επέκταση, έχουμε μεγαλύτερη μεταφορά μάζας μεταξύ των δύο. [9]

Κεφάλαιο 2^ο

Πειραματική Διάταξη

Στο πείραμα καταγράφηκε ο ρυθμός αφύγρυνσης και η μεταβολή στην θερμοκρασία αέρα σε ένα σύστημα κλιματισμού υγρού στοιχείου. Η πειραματική διάταξη έχει την πιο κάτω μορφή:



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα της Πειραματικής Διάταξης

2.1 Σύντομη περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας

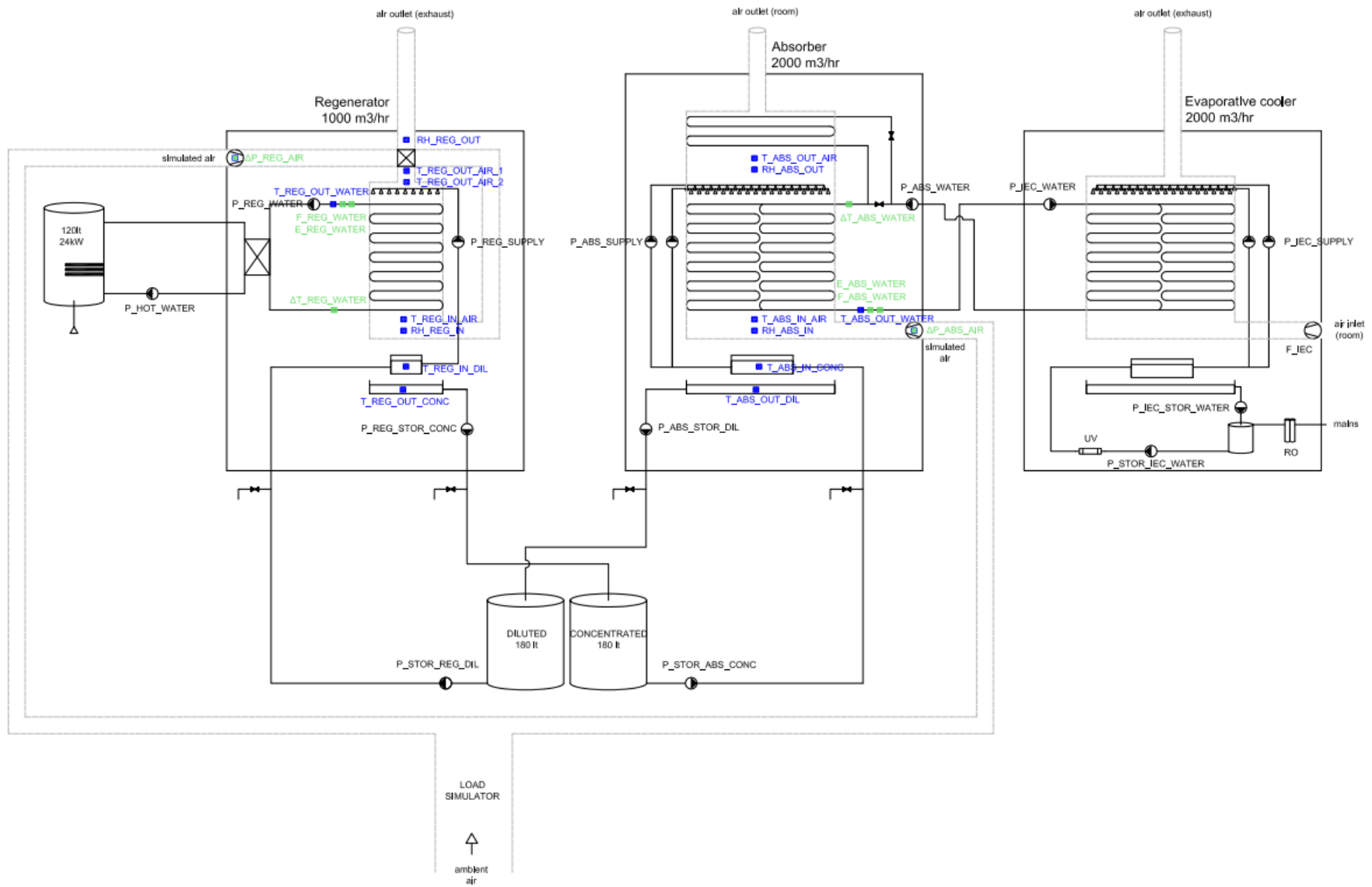
Η εξεταζόμενη διάταξη εσωτερικά ψυγμένου, αντίθετης ροής σύστημα υγρού ξηραντικού (Σχήμα 2.2) στοιχείου που είναι εγκατεστημένη στο εργαστήριο του τομέα.

Μέσα στον αφυγραντήρα αντίθετης ροής, το ισχυρό ξηραντικό διάλυμα ($\text{LiCl-H}_2\text{O}$), προερχόμενο από της υψηλής συγκέντρωσης δεξαμενή αποθήκευσης, πέφτει από το πάνω μέρος της συσκευής. Ο υγρός αέρας περιβάλλοντος εισέρχεται στο αφυγραντήρα από το κάτω μέρος στη συσκευής και η υγρασία μεταφέρεται από τον αέρα στο ξηραντικό. Η διαδικασία απορρόφησης ψύχεται από νερό που ρέει μέσα στα φύλλα πολυπροπυλενίου. Το τέλος της διαδικασίας βρίσκει τον αέρα χωρίς υγρασία και ψυγμένο, ενώ το ξηραντικό διάλυμα αραιωμένο και αποθηκευμένο στη δεξαμενή αποθήκευσης χαμηλής συγκέντρωσης.

Ο ρόλος συστήματος έμμεσου εξατμιστικού ψύκτη είναι να παρέχει το απαραίτητο νερό ψύξης κατά την διάρκεια της απορρόφησης.

Μετά την αφύγρανση, το αραιωμένο ξηραντικό πρέπει να ανακτήσει την αρχική του συγκέντρωση. Για αυτό ρέει μέσα στον αναγεννητή, και πέφτει από το πάνω μέρος του σε μορφή φιλμ στα τοιχώματα. Η βαρύτητα το αναγκάζει να κινηθεί προς τα κάτω, όπου έρχεται σε επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος που κινείται προς τα πάνω διαμέσου των σωλήνων. Την ίδια ώρα, νερό θέρμανσης κυκλοφορεί διαμέσου των φύλλων πολυπροπυλενίου και παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας. Καθώς το υγρό ξηραντικό στοιχείο ζεσταίνεται, υγρός ατμός φεύγει από το χαμηλής συγκέντρωσης διάλυμα και παρασύρεται μακριά από το ρεύμα αέρα περιβάλλοντος. Στην έξοδο του αναγεννητή, το ξηραντικό στοιχείο έχει ανακτήσει την αρχική του συγκέντρωση και αποθηκεύεται στην δεξαμενή υψηλής συγκέντρωσης, έτοιμο να εισέλθει ξανά στον αφυγραντήρα.

Η απαραίτητη ενέργεια για κλιματισμό μπορεί να αποθηκευτεί για οποιαδήποτε περίοδο επιθυμούμε, υπό μορφή συγκεντρωμένου διαλύματος αλατιού χωρίς απώλειες ενέργειας.



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα της Πειραματικής Διάταξης με Αισθητήρες

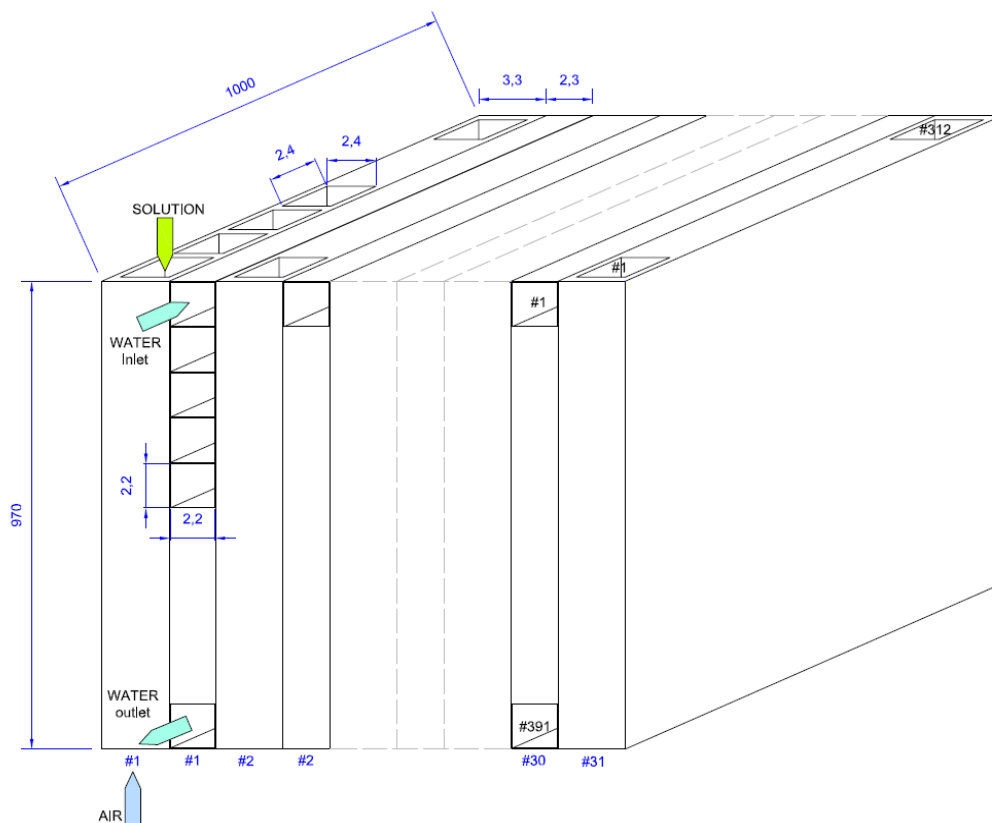
2.2 Περιγραφή Κύριων Συνιστωσών της Πειραματικής Διάταξης

2.2.1 Γεωμετρία πύργου αφύγρανσης

Ο αφυγραντήρας απαρτίζεται από 60 φύλλα μαύρου πολυπροπυλενίου με οριζόντιους αγωγούς για την ροή του νερού και 62 άσπρα φύλλα με κάθετους σωλήνες για το διάλυμα και την ροή αέρα. Η ροή του νερού ξεκινά από τα πάνω προς τα κάτω γιατί στο πάνω μέρος του αφυγραντήρα θα έχουμε την υψηλότερη συγκέντρωση, άρα και την μεγαλύτερη απορρόφηση άρα χρειαζόμαστε εκεί την μεγαλύτερη ψύξη.

Το μήκος, το βάθος και το ύψος των μαύρων φύλλων είναι 2.3X1000X970 mm και των άσπρων 3.3X1000X970 mm. Κάθε μαύρο φύλλο έχει 391 αγωγούς με μέγεθος 2.2X2.2 mm και κάθε λευκό φύλλο 2.4X2.4 mm.

Οι πλάκες είναι κατασκευασμένες από τρίτης γενιάς πληρωτικό υλικό από πολυπροπυλένιο, συγκολλημένο με λέιζερ στην Γερμανία.



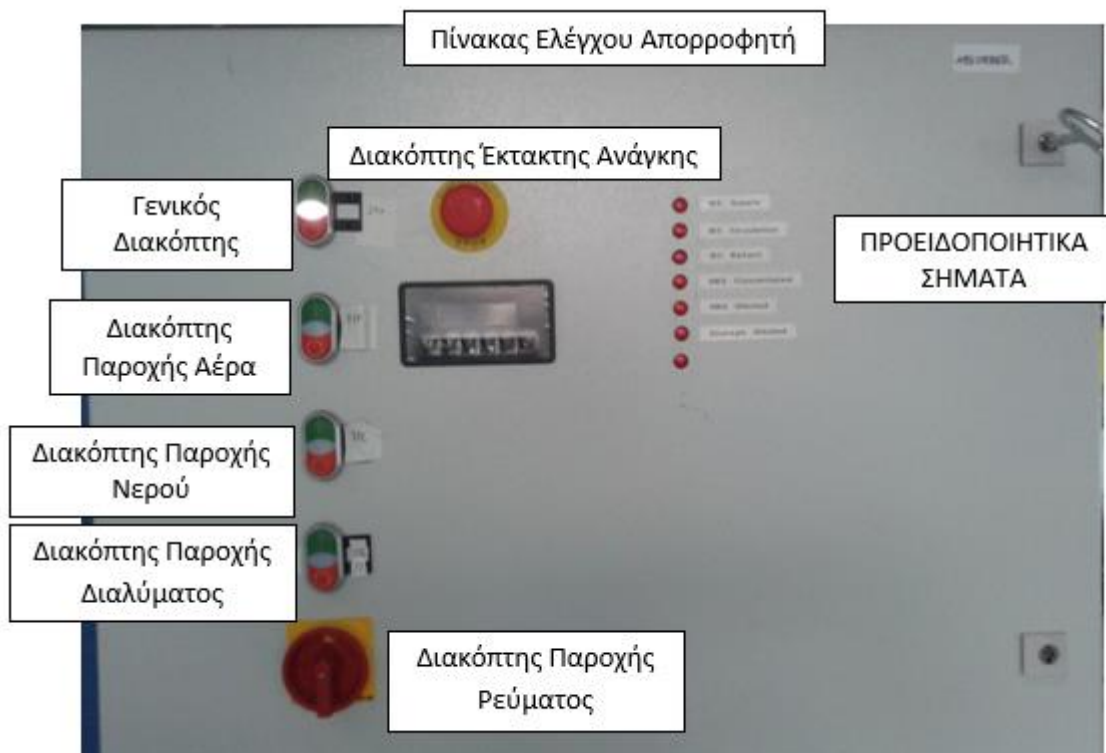
Σχήμα 2.3 Γεωμετρία πύργου απορρόφησης

Η ικανότητα αφύγρανσης του είναι 15 KW με Δh 30 kg/Kgda. Το σύστημα διαθέτει ρυθμιστές ροής διαλύματος αλλά και της ροής του αέρα. Ο λόγος της ροής νερού προς τη ροή αέρα είναι 0.7- 0.75 για μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 10 °C.

Το σύστημα του απορροφητή όπως επίσης του και του αναγεννητή διαθέτουν σύστημα ελέγχου υπερχείλισης το οποίο σταματά την λειτουργία των αντλιών σε περίπτωση υπερχείλισης [10].

2.2.1.1 Στοιχεία πύργου αφύγρανσης

Πίνακας Λειτουργίας:



Σχήμα 2.4 Πίνακας Ελέγχου Απορροφητή

Μετρητής Έλστερ: Το συγκεκριμένο μετρητικό μετρά την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ρεύματα νερού και υπολογίζει και την ροή του νερού διαμέσω του μετρητικού.

Χαρακτηριστικά Έλστερ	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Elster
Μοντέλο	F90S – Single Jet Meter
Ονομαστική Πίεση	16 bar
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας	15-90 °C
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας Αποσπώμενου καλωδίου	1-130 °C
Ακρίβεια	0.01
Αρχική παροχή οριζόντια	3.5 L/h
Αρχική παροχή για κάθετη τοποθέτηση	4 L/h
Όρια λειτουργίας θερμοκρασίας	15-90 °C

Μετρητής Πίεσης: Μετρητής πίεσης με κεραμικό αισθητήρα και προστασία κατά της διάβρωσης, της τριβής και της υπερφορτοσης που μετρά απόλυτη και μανομετρική πίεση.

Χαρακτηριστικά Μετρητή Πίεσης Νερού [11]	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Endress+Hausers
Μοντέλο	Cerabar T PMC131
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας	-20 -100 °C
Όρια Θερμοκρασίας Λειτουργίας	-20 - 85 °C
Ακρίβεια	0.5%
Μέγιστη Πίεση	60 bar

Μετρητής Πίεσης: Μετρητής διαφοράς πίεσης αέρα εισόδου με μεμβράνη για μέτρηση διαφοράς πίεσης ή αρχνητική πίεση σε μη δραστικά αέρια. Η μέτρηση της πίεσης γίνεται με υπολογισμό της μεταβολής της θέσης της μεμβράνης. Μεταβολές στην θέση της μεμβράνης ανιχνεύονται από ένα μετασχηματιστή και μεταβιβάζονται μέσω ενός ηλεκτρικού σήματος .

Χαρακτηριστικά Μετρητή Πίεσης Αέρα Εισόδου Πύργου Απορρόφησης	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	ZIEHL - ABEGGα
Μοντέλο	DSG 500
Όρια Μέτρησης Πίεσης	0-500 Pa
Προστασίας Υπερπίεσης	0.2 bar
Τάση Εξόδου	0 -10 V
Θερμοκρασίας Αέρα	-10 – 50 °C

Αντλίες Διαλύματος: Οι συγκεκριμένες αντλίες είναι ενωμένες με ρυθμιστή ροής αλλά και συχνότητας λειτουργίας άρα μπορούμε να μεταβάλουμε την παροχή αλλά επίσης και τον ρυθμό της ροής. Έχει παρατηρηθεί ότι έχοντας μικρότερη παροχή και υψηλότερο ρυθμό ροή πετυχαίνουμε μεγαλύτερη απόδοση στην αναγέννηση και την απορρόφηση.

Χαρακτηριστικά Αντλίας Απορροφητή (P_ABS_SUPPLY x2)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Fluid-o-Tech
Μοντέλο	FG100
Ισχύς	50 W
Μέγιστη πίεση	20 bar
Στροφές	500-5000 rpm
Τάση	25 V
Βάρος	0.675 Kg

Δεξαμενές Διαλύματος: Στον απορροφητή έχουμε πυκνό αφυγραντικό διάλυμα (LiCl) στην εσωτερική δεξαμενή (τρίγωνη δεξαμενή) και στην εξωτερική έχουμε το αραιωμένο διάλυμα.

Κυκλοφορητής Κρύου Νερού: Η αντλία υπεύθυνη για την ανακυκλοφορία του κρύου νερού προς και από τον απορροφητήρα.

Χαρακτηριστικά Κυκλοφορητή Απορροφητή (P_ABS_WATER)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Wilo
Μοντέλο	TOP S 25-10
Ισχύς	13.5 W
Κατανάλωση Ενέργειας	335W
Στροφές	2400 rpm
Ένταση	1,72 A
Τάση	230 V
Βάρος	6.2 Kg

Αντλία: Οι συγκεκριμένες αντλίες είναι υπεύθυνες για την μεταφορά προς και από της δεξαμενές αποθήκευσης υγρού ξηραντικού.

Χαρακτηριστικά Αντλίας Απορροφητή (P_ABS_STOR_DIL, P_STOR_ABS_CONC)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Shurflo
Μοντέλο	SUK-0218
Μέγιστη πίεση	8.96 bar
Τάση	230 V

Βάνα: Μηχανικό εξάρτημα υπεύθυνο για την ρύθμιση της παροχής σε μια σωλήνα. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα σφαιρικό δίσκο. Όταν η βάνα είναι κλειστή, τότε η οπή είναι κάθετη ως προς τον αγωγό και άρα έχουμε μηδενική παροχή. Όταν είναι ανοιχτή τότε η οπή είναι παράλληλη ως προς τον αγωγό και άρα έχουμε μέγιστη παροχή [12].



Σχήμα 2.5 Βάνα

Μετρητής Σχετικής και υγρασίας: Υπολογίζει την σχετική υγρασίας χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό συμπληρωματικό οξειδίο μετάλλου ως ημιαγωγό, ένα πυκνωτή και ένα θερμίστορ.

Χαρακτηριστικά Μετρητή Σχετικής Υγρασίας [13]

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Kimo		
Μοντέλο	TH100		
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας	-20 - 100 °C	-50 - 50°C	0 - 100°C
Όρια Μέτρησης Υγρασίας	0-100%RH		
Ακρίβεια Μετρητή Υγρασίας	± 2% RH για 15 - 25°C		
	± 0.04% x (T-20) %RH για T<15°C ή T>25°C		

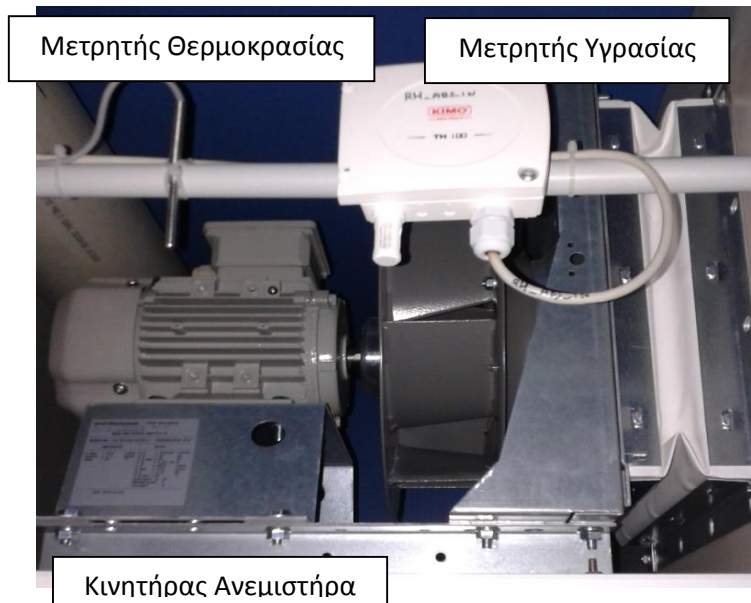
Ρυθμιστής στροφών ανεμιστήρα: Ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα μεταβάλλοντας την συχνότητα.

Χαρακτηριστικά Ρυθμιστή Στροφών Ανεμιστήρα

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Toshiba
Μοντέλο	VF-S11
Όρια Λειτουργίας	4 – 20 mA, 0 – 10 V
Ροπή	250% στο 1 Hz
Όρια	0.1% ρύθμιση ταχύτητας για εύρος ταχύτητας 60:1
Ακρίβεια Μετρητή υγρασίας	0.1% RH

Χαρακτηριστικά Ανεμιστήρα Απορροφητή (F ABS)

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Motor: AC-Motoren Fan Nicotra
Μοντέλο	ACA 80 A-2 RLM E6-2528
Ισχύς 50/60 Hz	0.75/0.9 KW
Στροφές 50/60 Hz	2840/3408 rpm
Ροπή	2.54 Nm
Βάρος	8,7 Kg



Σχήμα 2.6 Μετρητή Πίεσης και Θερμοκρασίας και Ανεμιστήρας

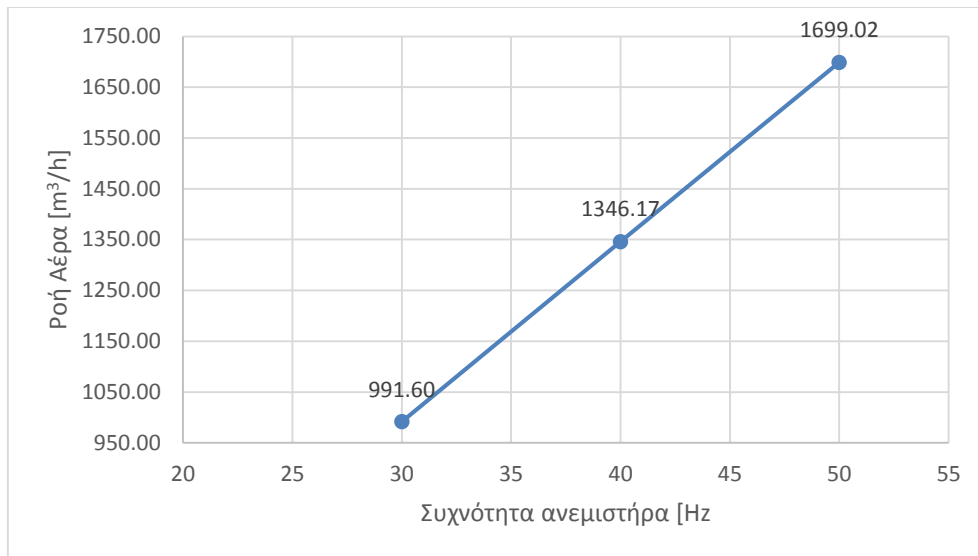
Έχουμε κάνει βαθμονόμηση του ανεμιστήρα του απορροφητή μετρώντας την διαφορά πίεσης του αέρα πριν και μετά το σύστημα. Η μέτρηση έγινε για συχνότητα ανεμιστήρα στα 50,40 και 30 Hz με αντίστοιχα αποτελέσματα στην διαφορά πίεσης του αέρα 283.300, 177.850, 96.500 Pa.

Ο υπολογισμός της ροής στον ανεμιστήρα γίνεται με βάση της πιο κάτω σχέσης την οποία έχουμε πάρει από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

$$q_v = K \times \sqrt{\frac{2}{\rho} \times \Delta P} \rightarrow \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

όπου $K=79 \text{ m}^2\text{s/h}$ και $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ ($T=15 \text{ C}$)

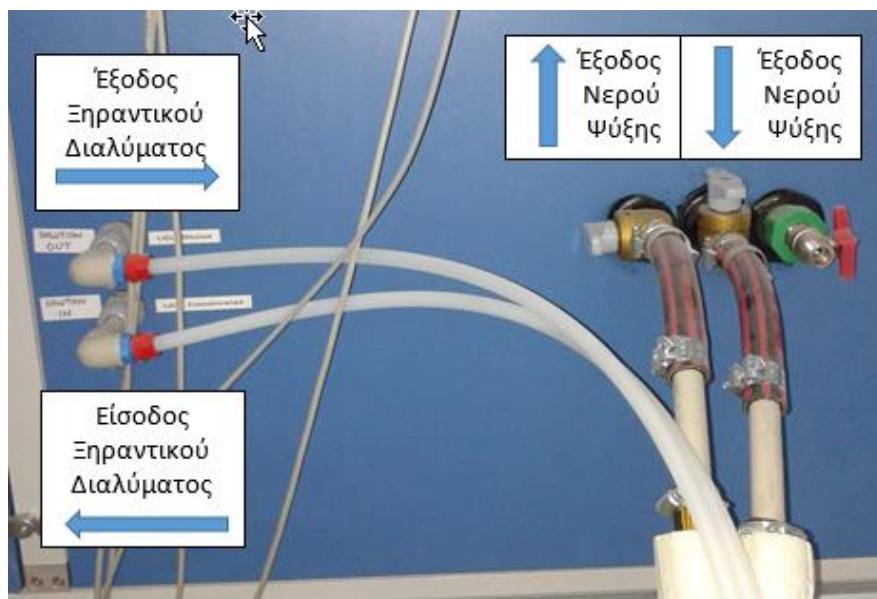
Άρα τελικά έχουμε 991.60 , 1346.17 και 1699.02 m^3/h .



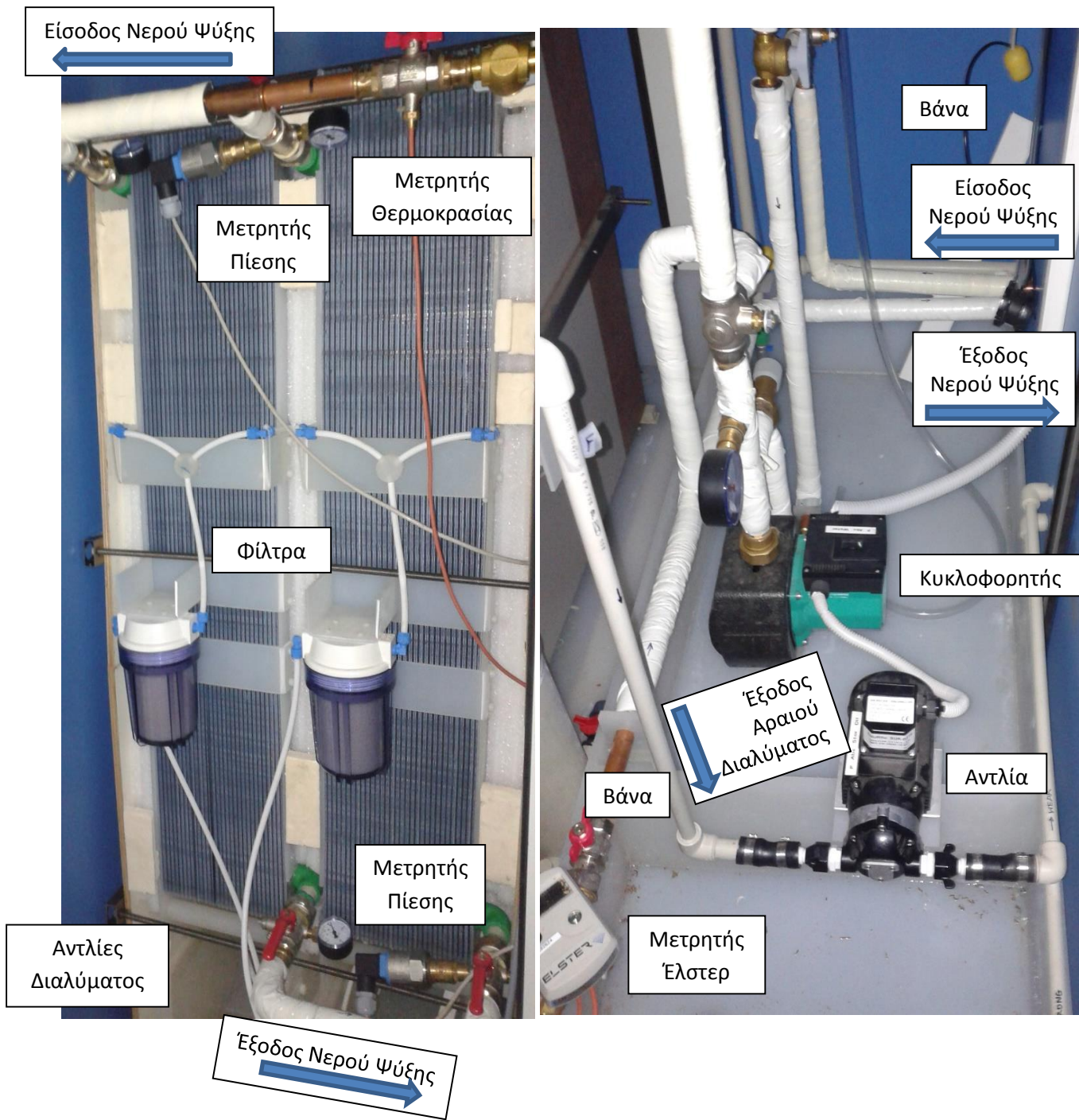
Μετρητές Θερμοκρασίας: Μετρούν την θερμοκρασία χρησιμοποιώντας ένα θερμοστοιχείο. Το θερμοστοιχείο είναι 2 διαφορετικά σύρματα συνδεδεμένα στα άκρα τους, όταν θερμαίνονται παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα γιατί λόγω των διαφορετικών μετάλλων έχουμε διαφορά θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να έχουμε κίνηση ηλεκτρονίων.

Χαρακτηριστικά Μετρητή Θερμοκρασίας

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Kimo
Μοντέλο	PT 100
Όρια Λειτουργίας	-50 – 260 °C
Όρια Λειτουργίας Καλωδίου σιλικόνης	-50 – 180 °C
	0 °C ± 0.3 °C
Ακρίβεια	100 °C ± 0.8 °C



Σχήμα 2.7 Έξοδος Σωλήνων Απορροφητήρα



Σχήμα 2.8 Απορροφητήρας

2.2.2 Γεωμετρία πύργου αναγέννησης

Ο αναγεννητής έχει την ίδια γεωμετρία των φύλλων αλλά αποτελείται από 24 μαύρα φύλλα και 25 άσπρα όπως επίσης έχουμε ροή ζεστού νερού σε αυτή την περίπτωση.

2.2.2.1 Στοιχεία πύργου αφύγρανσης

Πίνακας Λειτουργίας:



Σχήμα 2.9 Πίνακας Ελέγχου Αναγεννητή

Μετρητής Έλστερ: Το συγκεκριμένο μετρητικό μετρά την διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε ρεύματα νερού και υπολογίζει και την ροή του νερού διαμέσω του μετρητικού.

Χαρακτηριστικά Έλστερ

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Elster
Μοντέλο	F90S – Single Jet Meter
Όνομαστική Πίεση	16 bar
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας	16-90 °C
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας Αποσπώμενου καλωδίου	1-130 °C
Ακρίβεια	0.01
Αρχική Ροή(οριζόντια)	3.5 L/h
Αρχική Ροή(κάθετα)	4 L/h
Όρια Διαφοράς Θερμοκρασίας	3-50 °C

Μετρητής Πίεσης: Μετρητής διαφοράς πίεσης αέρα εισόδου με μεμβράνη για μέτρηση διαφοράς πίεσης ή αρχνητική πίεση σε μη δραστικά αέρια. Η μέτρηση της πίεσης γίνεται με υπολογισμό της μεταβολής της θέσης της μεμβράνης. Μεταβολές στην θέση της μεμβράνης ανιχνεύονται από ένα μετασχηματιστή και μεταβιβάζονται μέσω ενός ηλεκτρικού σήματος.

Χαρακτηριστικά Μετρητή Πίεσης Αέρα Εισόδου Πύργου Αναγέννησης

Κατασκευάστρια Εταιρεία	ZIEHL - ABEGGα
Μοντέλο	DSG 500
Όρια Μέτρησης Πίεσης	0-500 Pa
Προστασίας Υπερπίεσης	0.2 bar
Τάση Εξόδου	0 -10 V
Θερμοκρασίας Αέρα	-10 – 50 °C

Αντλίες Διαλύματος: Οι συγκεκριμένες αντλίες είναι ενωμένες με ρυθμιστή ροής αλλά και συχνότητας λειτουργίας άρα μπορούμε να μεταβάλουμε την παροχή αλλά επίσης και τον ρυθμό της ροής. Έχει παρατηρηθεί ότι έχοντας μικρότερη παροχή και υψηλότερο ρυθμό ροή πετυχαίνουμε μεγαλύτερη απόδοση στην αναγέννηση και την απορρόφηση.

Χαρακτηριστικά Αντλίας Του Αναγεννητή (P_REG_SUPPLY)

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Fluid-o-Tech
Μοντέλο	FG100
Ισχύς	50 W
Μέγιστη πίεση	20 bar
Στροφές	500-5000 rpm
Τάση	25 V
Βάρος	0.675 Kg

Δεξαμενές Διαλύματος: Στον αναγεννητή έχουμε αραιό αφυγραντικό διάλυμα (LiCl) στην εσωτερική δεξαμενή (τρίγωνη δεξαμενή) και στην εξωτερική έχουμε το πυκνό διάλυμα.

Κυκλοφορητής Κρύου Νερού: Η αντλία υπεύθυνη για την ανακυκλοφορία του ζεστού νερού προς και από τον απορροφητήρα.

Χαρακτηριστικά Κυκλοφορητή Αναγεννητή (P_REG_WATER)

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Wilo
Μοντέλο	TOP S 25-10
Ισχύς	13.5 W
Κατανάλωση Ενέργειας	335W
Στροφές	2400 rpm
Ένταση	1,72 A
Τάση	230 V
Βάρος	6.2 Kg

Αντλία: Οι συγκεκριμένες αντλίες είναι υπεύθυνες για την μεταφορά προς και από της δεξαμενές αποθήκευσης υγρού ξηραντικού.

Χαρακτηριστικά Του Αναγεννητή (P_STOR_REG_DIL, P_REG_STOR_CONC)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Shurflo
Μοντέλο	SUK-0218
Μέγιστη πίεση	8.96 bar
Τάση	230 V

Μετρητής Σχετικής και υγρασίας: Υπολογίζει την σχετική υγρασίας χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό συμπληρωματικό οξειδίο μετάλλου ως ημιαγωγό, ένα πυκνωτή και ένα θερμίστορ.

Χαρακτηριστικά Μετρητή Σχετικής Υγρασίας [13]			
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Kimo		
Μοντέλο	TH100		
Όρια Μέτρησης Θερμοκρασίας	-20 - 100 °C	-50 - 50°C	0 - 100°C
Όρια Μέτρησης Υγρασίας	0-100%RH		
Ακρίβεια Μετρητή Υγρασίας	$\pm 2\% \text{ RH για } 15 - 25^\circ\text{C}$ $\pm 0.04\% \times (T-20) \% \text{RH για } T < 15^\circ\text{C ή } T > 25^\circ\text{C}$		

Ρυθμιστής στροφών ανεμιστήρα: Ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα μεταβάλλοντας την συχνότητα.

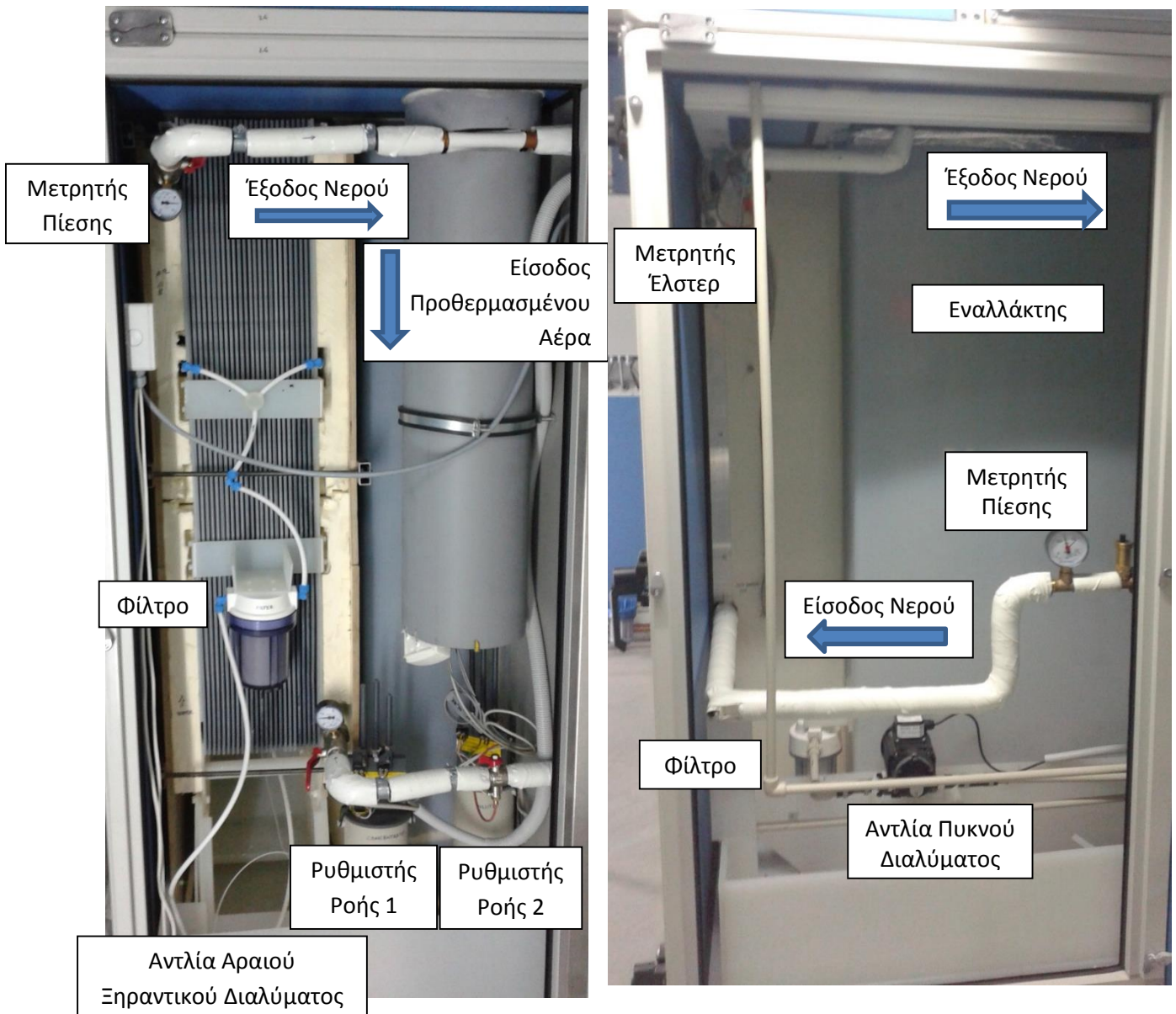
Χαρακτηριστικά Ρυθμιστή Στροφών Ανεμιστήρα	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Toshiba
Μοντέλο	VF-S11
Όρια Λειτουργίας	4 – 20 mA, 0 – 10 V
Ροπή	250% στο 1 Hz
Όρια	0.1% ρύθμιση ταχύτητας για εύρος ταχύτητας 60:1
Ακρίβεια Μετρητή υγρασίας	0.1% RH

Μετρητές Θερμοκρασίας: Μετρούν την θερμοκρασία χρησιμοποιώντας ένα θερμοστοιχείο. Το θερμοστοιχείο είναι 2 διαφορετικά σύρματα συνδεδεμένα στα άκρα τους, όταν θερμαίνονται παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα γιατί λόγω των διαφορετικών μετάλλων έχουμε διαφορά θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να έχουμε κίνηση ηλεκτρονίων.

Χαρακτηριστικά Μετρητή Θερμοκρασίας

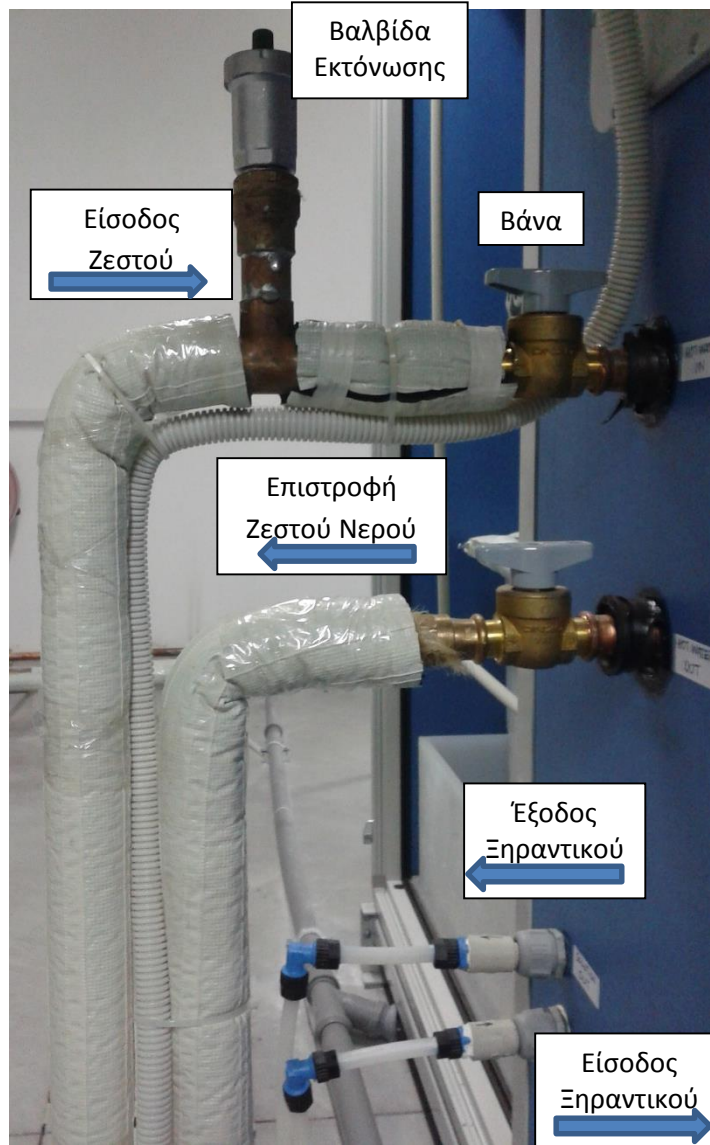
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Kimo
Μοντέλο	PT 100
Όρια Λειτουργίας	-50 – 260 °C
Όρια Λειτουργίας Καλωδίου σιλικόνης	-50 – 180 °C
Ακρίβεια	0 °C ± 0.3 °C
	100 °C ± 0.8 °C

Εναλλάκτης: Χρησιμοποιείται για προθέρμανση του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται με να χρησιμοποιούμε τον αέρα εξόδου του αναγεννητή που έχει θερμανθεί από το ζεστό νερό για να θερμάνουμε τον αέρα εισόδου.



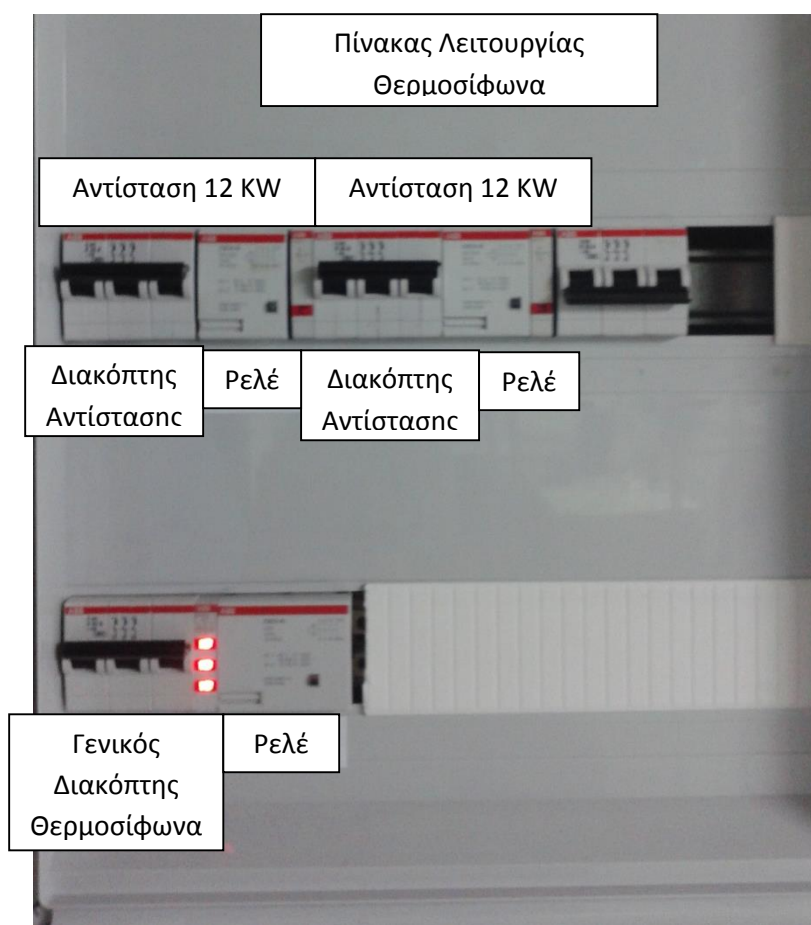
Σχήμα 2.10 Αναγεννητής

Βαλβίδα Εκτόνωσης: Είναι ένα είδος βαλβίδας που εξειδικεύεται στο να μειώνει η να ελέγχει την πίεση που έχει που έχει δημιουργηθεί σε ένα σύστημα. Η πίεση εκτονώνεται επιτρέποντας το συμπιεσμένο υγρό να περνά από ένα εφεδρικό πέρασμα που είναι ρυθμισμένο να ανοίγει σε συγκεκριμένη πίεση. Στην δική μας περίπτωση επειδή έχουμε συμπιεσμένο ζεστό αέρα η βαλβίδα εκτόνωσης είναι πάντα ανοιχτή και με έξοδο στον περιβάλλον [14].



Σχήμα 2.11 Έξοδος Σωλήνων Αναγεννητή

Πίνακας Λειτουργίας Θερμοσίφωνα:



Σχήμα 2.12 Πίνακας Λειτουργίας Θερμοσίφωνα

Ρελέ: Ο ηλεκτρονόμος ή ρελέ είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος [15].

Χαρακτηριστικά Αντλίας Λέβητα Επιστροφής Ζεστού Νερού Του Αναγεννητή (P_HOT_WATER)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Wilo
Μοντέλο	STAR RS 25-7
Ισχύς	13.5 W
Κατανάλωση Ενέργειας	132 W
Στροφές	2800 rpm
Ένταση	0.58 A
Τάση	230 V
Βάρος	2.920 Kg

Η συγκεκριμένη αντλία είναι υπεύθυνη για την μεταφορά του ζεστού νερού επιστροφής από τον αναγεννητή στο μπόιλερ.

Χαρακτηριστικά Θερμοστάτη [16]

Κατασκευάστρια Εταιρεία

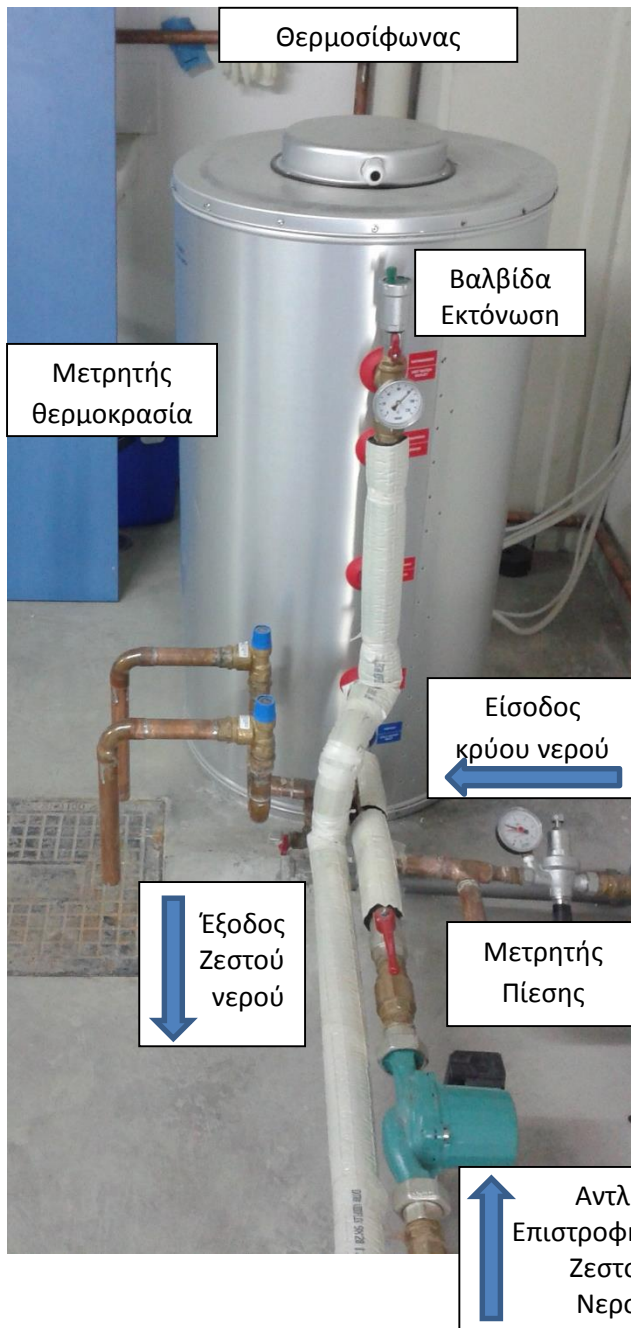
c.a.e.m

Μοντέλο

TU. 10 B

Όρια Λειτουργίας

30 – 90 °C



Σχήμα 2.13 Θερμοσίφωνας Αναγεννητή

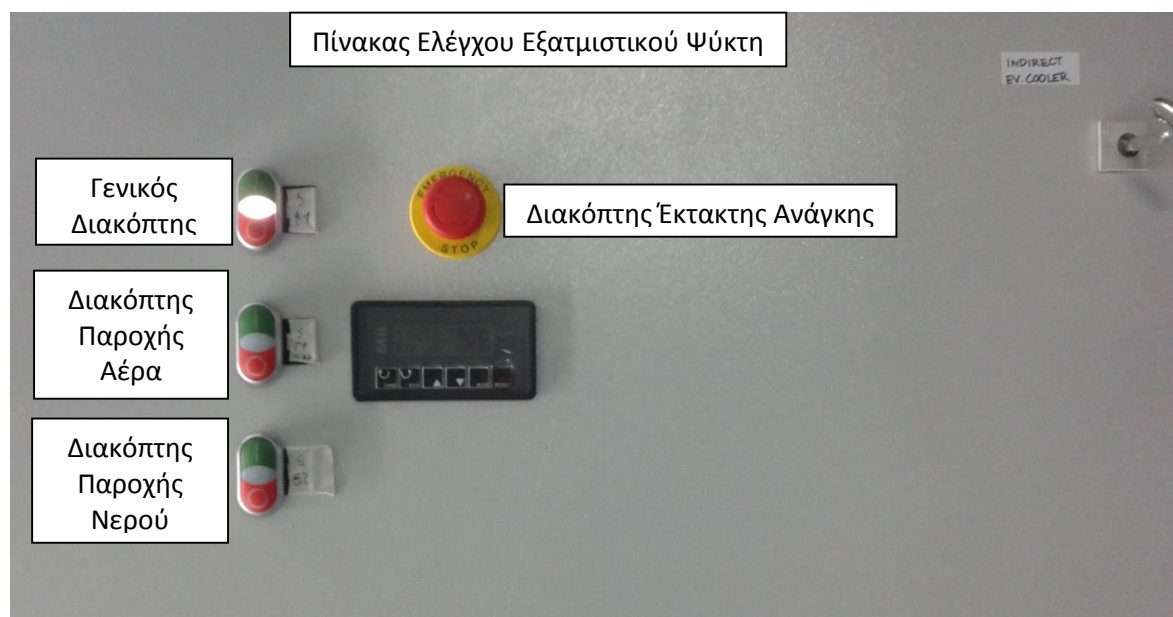
2.2.3 Γεωμετρία εξατμιστικού ψύκτη

Η γεωμετρία του εξατμιστικού ψύκτη είναι ακριβώς η ίδια με τον αφυγραντήρα. Η διαδικασία αντίστροφη ώσμωση που ακολουθείται παράγει 2/3 καθαρό νερό και 1/3 υπολείμματα που οδηγούνται στην αποχέτευση.

Το νερό του δικτύου, περνάει μέσα από το φίλτρο αντίστροφης ώσμωσης και αποθηκεύεται στη δεξαμενή (Tank_IEC_Circulation). Στη συνέχεια, περνάει μέσα από την αντλία, εισέρχεται στη λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας και στη συνέχεια, ρέει ανάμεσα στα φύλλα του πληρωτικού υλικού.

2.2.3.1 Στοιχεία εξατμιστικού ψύκτη

Πίνακας Λειτουργίας:



Σχήμα 2.14 Πίνακας Ελέγχου Εξατμιστικού Ψύκτη

Αντλίες Διαλύματος: Οι συγκεκριμένες αντλίες είναι ενωμένες με ρυθμιστή ροής αλλά και συχνότητας λειτουργίας άρα μπορούμε να μεταβάλουμε την παροχή αλλά επίσης και τον ρυθμό της ροής. Έχει παρατηρηθεί ότι έχοντας μικρότερη παροχή και υψηλότερο ρυθμό ροή πετυχαίνουμε μεγαλύτερη απόδοση στην αναγέννηση την απορρόφηση.

Χαρακτηριστικά αντλίας Εξατμιστικού Ψύκτη (P_IEC_SUPPLY x2)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Fluid-o-Tech
Μοντέλο	FG100
Ισχύς	50 W
Μέγιστη πίεση	20 bar
Στροφές	500-5000 rpm
Τάση	25 V
Βάρος	0.675 Kg

Οι συγκεκριμένες αντλίες είναι υπεύθυνες για την εσωτερική κυκλοφορία του νερού στον εξατμιστικό ψύκτη.

Χαρακτηριστικά αντλίας Ανακυκλοφορίας Εξατμιστικού Ψύκτη (P_IEC_STOP_WATER, P_STOP_IEC_WATER)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Shurflo
Μοντέλο	2088-592-144
Μέγιστη θερμοκρασία υγρού	45°C
Στροφές	1080-1940 rpm
Τάση	230 V
Βάρος	1.8 Kg

Δεξαμενές Διαλύματος: Στον εξατμιστικό ψύκτη έχουμε νερό υψηλότερης θερμοκρασίας στην εσωτερική δεξαμενή (τρίγωνη δεξαμενή) και στην εξωτερική έχουμε νερό με πιο ψηλή θερμοκρασία.

Κυκλοφορητής Κρύου Νερού: Η αντλία υπεύθυνη για την ανακυκλοφορία του κρύου νερού προς και από τον απορροφητήρα.

Χαρακτηριστικά Αντλίας Εξατμιστικού Ψύκτη (P_IEC_WATER)	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Wilo
Μοντέλο	TOP S 25-10
Ισχύς	13.5 W
Κατανάλωση Ενέργειας	335W
Στροφές	2400 rpm
Ένταση	1,72 A
Τάση	230 V
Βάρος	6.2 Kg

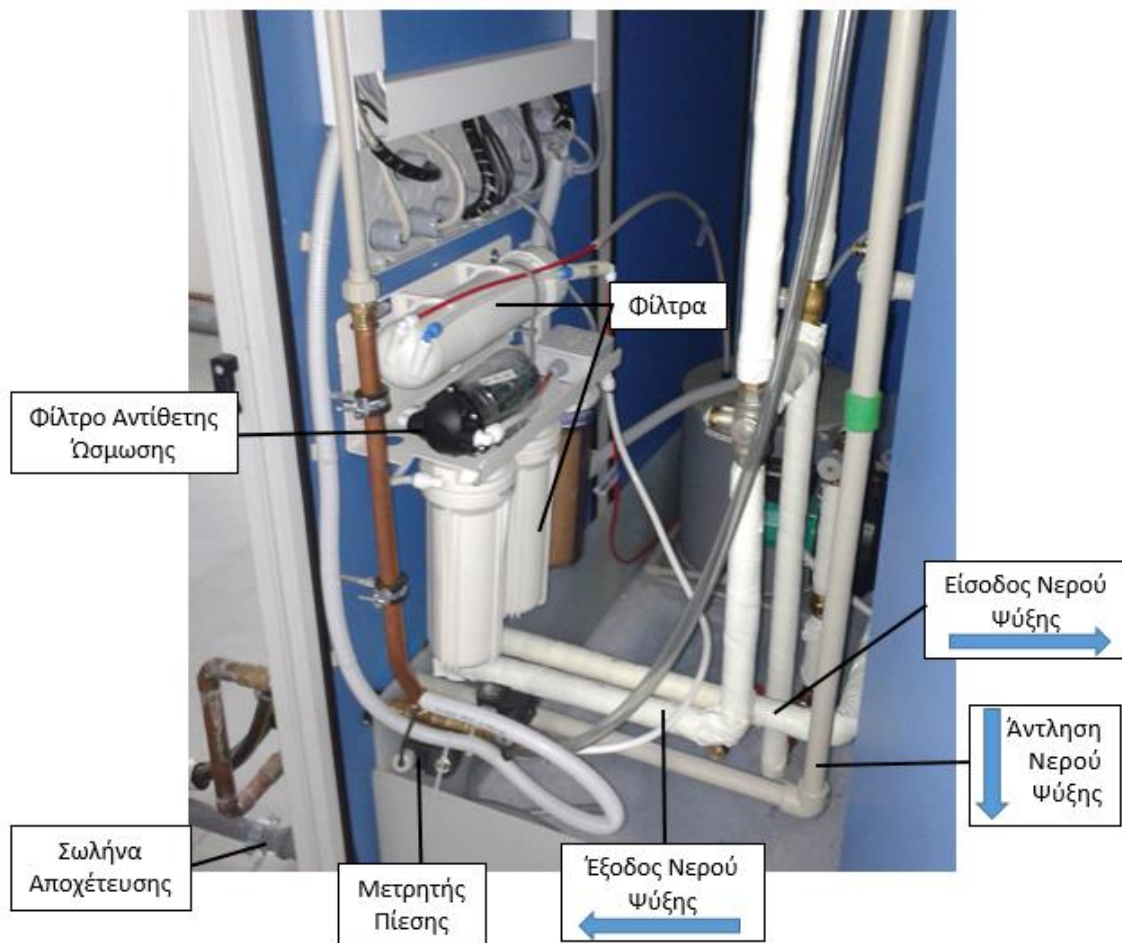
Ρυθμιστής στροφών ανεμιστήρα: Ρυθμίζει την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα μεταβάλλοντας την συχνότητα.

Χαρακτηριστικά Ρυθμιστή Στροφών Ανεμιστήρα	
Κατασκευάστρια Εταιρεία	Toshiba
Μοντέλο	VF-S11
Όρια Λειτουργίας	4 – 20 mA, 0 – 10 V
Ροπή	250% στο 1 Hz
Όρια	0.1% ρύθμιση ταχύτητας για εύρος ταχύτητας 60:1
Ακρίβεια Μετρητή υγρασίας	0.1% RH

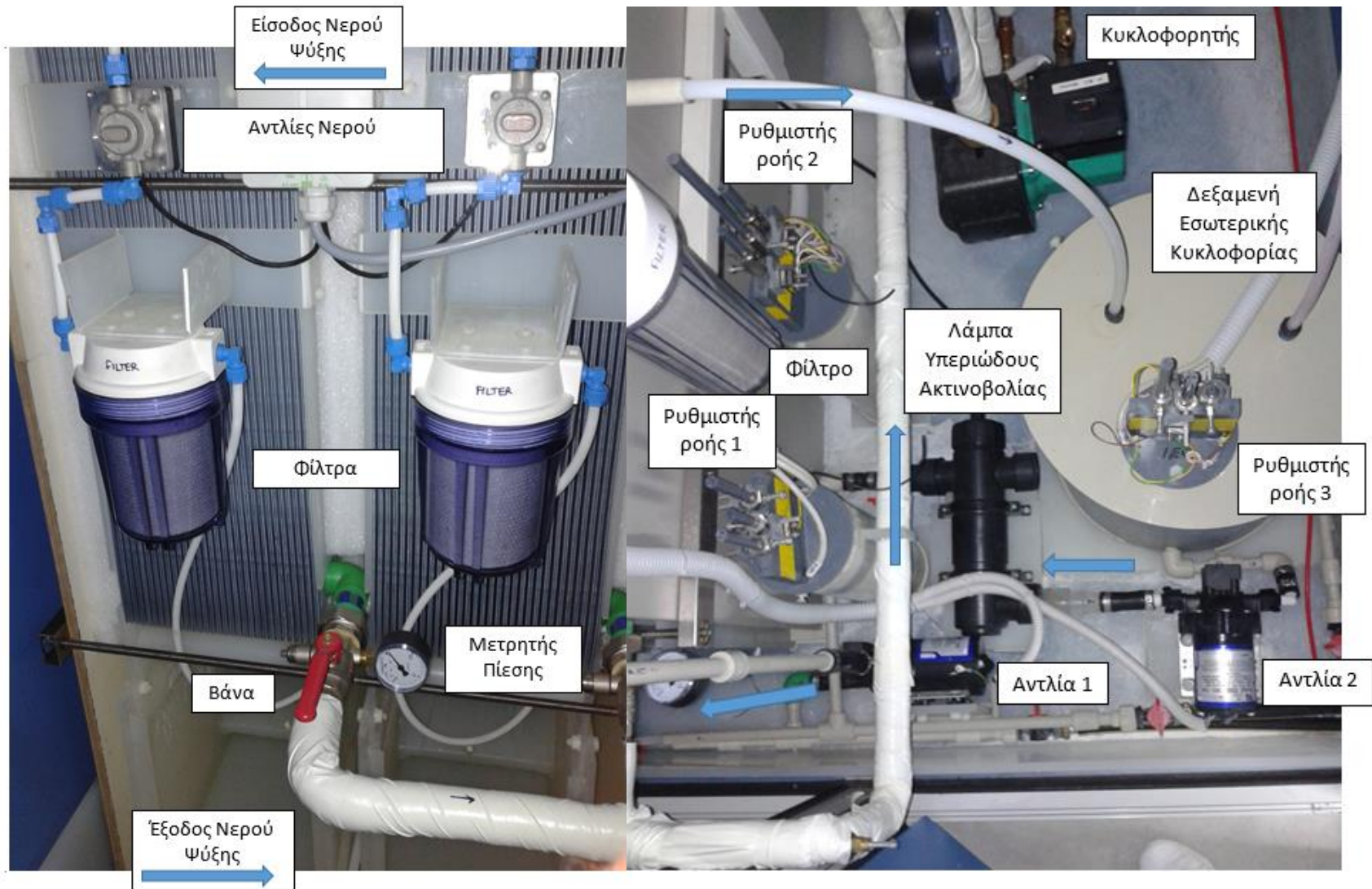
Χαρακτηριστικά Ανεμιστήρα Εξατμιστικού Ψύκτη (F IEC)

Κατασκευάστρια Εταιρεία	Motor: AC-Motoren Fan Nicotra
Μοντέλο	ACA 80 A-2 RLM E6-2528
Ισχύς 50/60 Hz	0.75 / 0.9 KW
Στροφές 50/60 Hz	2840 / 3408 rpm
Ροπή	2.54 Nm
Βάρος	8,7 Kg

Φίλτρο Αντίθετης Όσμωσης: Είναι μια τεχνική κάθαρσης του νερού στην οποία η πίεση του νερού σπρώχνει το νερού διαμέσου μιας ημιπερατής μεμβράνης, απομακρύνοντας πολλά είδη μορίων και ιόντων. Στην αντίθετη ώσμωση, η πίεση που ασκείται είναι μεγαλύτερη από την ωσμωτική πίεση, μια προσθετική ιδιότητα, η οποία συμβαίνει λόγω του χημικού δυναμικού. Στην αντίθετη ώσμωση ο επικρατών μηχανισμός αφαίρεσης είναι το στράγγισμα, ή εξαίρεση μεγέθους, έτσι μπορούμε να έχουμε την τέλεια απόρριψη σωματιδίων ανεξάρτητα από τις παραμέτρους του συστήματος όπως την πίεση και την συγκέντρωση [17].



Σχήμα 2.15 Εξατμιστικός Ψύκτης



Σχήμα 2.16 Εξατμιστικός Ψύκτης

2.2.4 Δεξαμενές συγκέντρωσης υγρού ξηραντικού

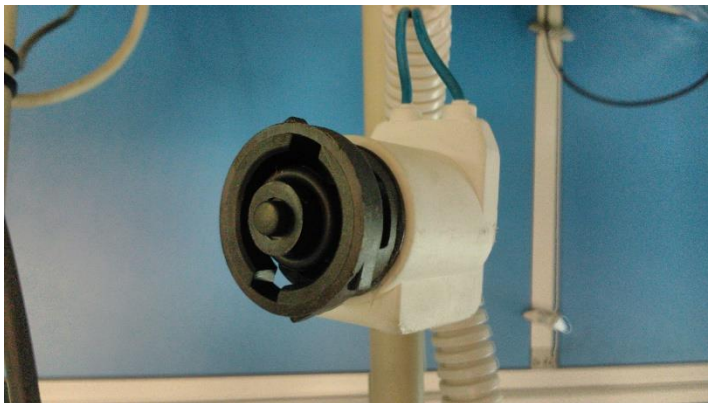
Έχουμε δύο δεξαμενές αποθήκευσης χωρητικότητας 180 λίτρων έτσι ώστε να γίνεται η διαδικασία αφύγρανσης και αναγέννησης ανεξάρτητη η μια από την άλλη. Στη δεξαμενή υψηλής συγκέντρωσης έχουμε ξηραντικό διάλυμα 40-43% κ.β LiCl και στις χαμηλής συγκέντρωσης 33-37% κ.β LiCl.



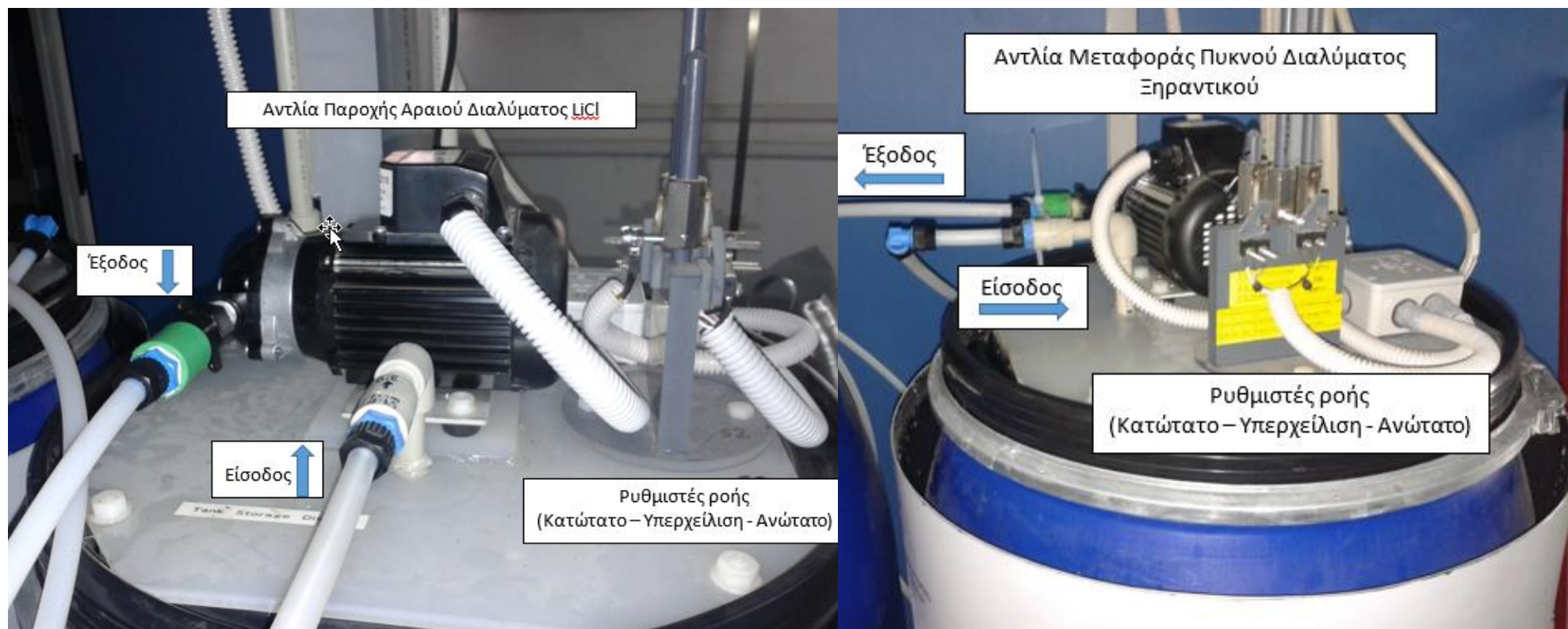
Σχήμα 2.17 Δεξαμενές συγκέντρωσης υγρού ξηραντικού

2.2.4.1 Μαγνητικές βαλβίδες

Ο σκοπός των μαγνητικών βαλβίδων στις δεξαμενές συγκέντρωσης υγρού ξηραντικού είναι να σταματά την αποστολή ξηραντικού στον αφυγραντήρα και τον αναγεννητή μετά το τέλος λειτουργίας της αντλίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο. Όταν η αντλία λειτουργεί η μαγνητικές βαλβίδες είναι ρυθμισμένες ώστε να λειτουργούν και να κλείνουν την παροχή αέρα στις αντλίες. Όταν η αντλία σταματήσει η μαγνητικές βαλβίδες ανοίγουν με αποτέλεσμα να μπαίνει αέρας στην αντλία και να μην μπορεί να στείλει διάλυμα.



Σχήμα 2.18 Μαγνητικές βαλβίδες



Σχήμα 2.19 Δεξαμενές Αποθήκευσης Υγρού Ξηραντικού

2.3 Σύντομη περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας

Αρχικά βεβαιωνόμαστε ότι οι γενικοί διακόπτες στον κεντρικό πίνακα του εργαστηρίου είναι ενεργοποιημένοι όπως επίσης και οι γενικοί διακόπτες για τον απορροφητή, τον εξατμιστικό ψύκτη και τον αναγεννητή.

Ο αναγεννητής και ο απορροφητής δεν πρέπει να λειτουργούν ταυτόχρονα γιατί το εισερχόμενο διάλυμα στις μονάδες δεν θα έχει σταθερή συγκέντρωση. Αυτό συμβαίνει γιατί η συγκέντρωση που θα παράγει ο αναγεννητής θα είναι διαφορετική από αυτή που βρίσκεται ήδη μέσα στη δεξαμενή ισχυρού διαλύματος, άρα η συνολική συγκέντρωση αλλάζει κατά πολύ και θα έχουμε έτσι συνέχεια διαφορετικές συνθήκες εισόδου στον απορροφητή. Για τον συγκεκριμένο λόγο ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται πιο κάτω.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗ

- 1 Το διάλυμα πρέπει να βρίσκεται σε θερμοκρασία δωματίου πριν το πείραμα για να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα
- 2 Ανάδευση διαλύματος
- 3 Μέτρηση της συγκέντρωσης του διαλύματος υψηλής συγκέντρωσης διαλύματος
- 4 Θέτω σε λειτουργία τον ανεμιστήρα του εξατμιστικού ψύκτη FAN IEC, τις αντλίες νερού WATER IEC τον κυκλοφορητή του κρύου νερού WATER ABS και τον ανεμιστήρα του πύργου απορρόφησης FAN ABS
- 5 Ανάδευση διαλύματος
- 6 Μετά από 30' θέτω σε λειτουργία τον κυκλοφορητή του διαλύματος P_Solution_Abs
- 7 Παίρνω μετρήσεις μέχρι να εξαντληθεί η δεξαμενή υψηλής συγκέντρωσης διαλύματος

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΤΗ

- 1 Στον κίτρινο πίνακα, ανοίγω το διακόπτη του πίνακα boiler
- 2 Στον λευκό πίνακα, ανοίγω τον γενικό ασφαλειοδιακόπτη
- 3 Στον λευκό πίνακα, ανοίγω τις αντιστάσεις 1 και 2
- 4 Ανάδευση διαλύματος
- 5 Μέτρηση της συγκέντρωσης του αραιωμένου διαλύματος
- 6 Μετά από 20' θέτω σε λειτουργία τον κυκλοφορητή του ζεστού νερού WATER REG και τον ανεμιστήρα του αναγεννητή FAN REG
- 7 Μετά από 30' θέτω σε λειτουργία τον κυκλοφορητή του διαλύματος P_Solution_Reg
- 8 Παίρνω μετρήσεις μέχρι να εξαντληθεί η δεξαμενή χαμηλής συγκέντρωσης διαλύματος

Αν σβήσουν οι διακόπτες (power) οποιουδήποτε συστήματος και δεν ανάβουν ξανά

Σημαίνει ότι έχουμε υπερχειλίση σε κάποια από τις δεξαμενές αλλά την ίδια ώρα και η αντίστοιχη δεξαμενή αποθήκευσης είναι γεμάτη. Αυτό που πρέπει να κάνουμε σε τέτοια περίπτωση είναι να βρούμε σε ποια δεξαμενή έχουμε υπερχειλίση και να κατεβάσουμε τον ανάλογο ρυθμιστή ροής υπερχειλίσης(flow switch,μεσαίος σωλήνας στο μετρητικό) κάτω έτσι ώστε το σύστημα να νομίζει ότι δεν έχουμε υπερχειλίση και να δώσει ξανά ρεύμα, αφού έχουμε ξανά power ξεκινούμε την ανάλογη

διαδικασία (απορρόφηση/αναγέννηση) έτσι ώστε να αδειάσει η δεξαμενή αποθήκευσης που αντιστοιχεί στην υπερχειλίση. Όταν η δεξαμενή αδειάσει αυτόματα ξεκινούν αντλίες οι οποίες μεταφέρουν το υγρό από την υπερχειλισμένη δεξαμενή στην δεξαμενή αποθήκευσης.

Αυτή η υπερχειλίση πιθανόν να οφείλεται σε λάθος ρύθμιση των ορίων των ρυθμιστών ροής (flow switches) ή σε αστοχία λειτουργίας της αντλίας ή και τα δύο άρα τα ελέγχουμε.

2.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Για τον υπολογισμό της μερικής πίεσης ξηρού αέρα χρησιμοποιούμε την πιο κάτω σχέση:

$$P_a = P_{περ} - P_w \rightarrow [P_a]$$

Για τον υπολογισμό της πίεσης υδρατμού στο μίγμα χρησιμοποιώ την πιο κάτω σχέση:

$$P_{ws} = \exp \left[\begin{array}{l} (-5.8002206 \cdot 10^3 \cdot T^{-1}) + (1.3914993) + (-4.8640239 \cdot T) + \\ (4.1764768 \cdot 10^{-5} \cdot T^2) + (-1.4452093 \cdot 10^{-8} \cdot T^3) + \\ (6.5459673 \cdot \ln(T)) \end{array} \right] \rightarrow [P_a]$$

Για τον υπολογισμό της μερικής πίεσης υδρατμού στο μίγμα χρησιμοποιώ την πιο κάτω σχέση:

$$P_w = RH \cdot P_{ws} \rightarrow [P_a]$$

Για τον υπολογισμό της υγρασίας αέρα χρησιμοποιώ την πιο κάτω σχέση:

$$W = \frac{0.622 \cdot P_w}{P_a} \rightarrow [\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg dry air}]$$

Για τον υπολογισμό του Coefficient of performance (COP) υπολογίζω πρώτα την ενθαλπία του αέρα πριν και μετά χρησιμοποιώντας την πιο κάτω σχέση:

$$H = (1.0066 \cdot T) + W[(1.805 \cdot T) + 2501], \text{ με } T \text{ την θερμοκρασία αέρα σε } ^\circ\text{C} \text{ και την υγρασία σε}$$

$$\frac{\text{Kg}_{H_2O}}{\text{Kg}_{DRYAIR}}$$

Αφού υπολογίσω την ενθαλπία για όλα τα σημεία βρίσκω την διαφορά ενθαλπίας μεταξύ πριν και μετά. Αυτή η διαφορά πολλαπλασιάζεται με την μάζα του αέρα που υπολογίζεται με την πιο κάτω σχέση:

$$m = \left[(79 \cdot \sqrt{\frac{2 \times \Delta P_{air}}{\rho}}) \right] \rightarrow [m^3 / h], \text{ με πυκνότητα } \rho = 1,225 \frac{kg}{m^3}$$

Μετά υπολογίζω τον έργο πολλαπλασιάζοντας την μάζα αέρα με την διαφορά στην ενθαλπία πριν και μετά, άρα έχω

$$W = \frac{m \times \Delta h}{3600} \rightarrow [KW]$$

Τελικά ο COP υπολογίζεται διαιρώντας το έργο δια την ενέργεια που προσφέρουμε στο σύστημα [18] [19].

Κεφαλαίο 3^ο

Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων

Η παραπάνω πειραματική διαδικασία που έχω περιγράψει θα επαναληφθεί 9 φορές. Ο σκοπός είναι να ελέγξουμε την επίδραση στην αφύγρανση. Οι τρεις παράγοντες που θα εξετάσουμε είναι:

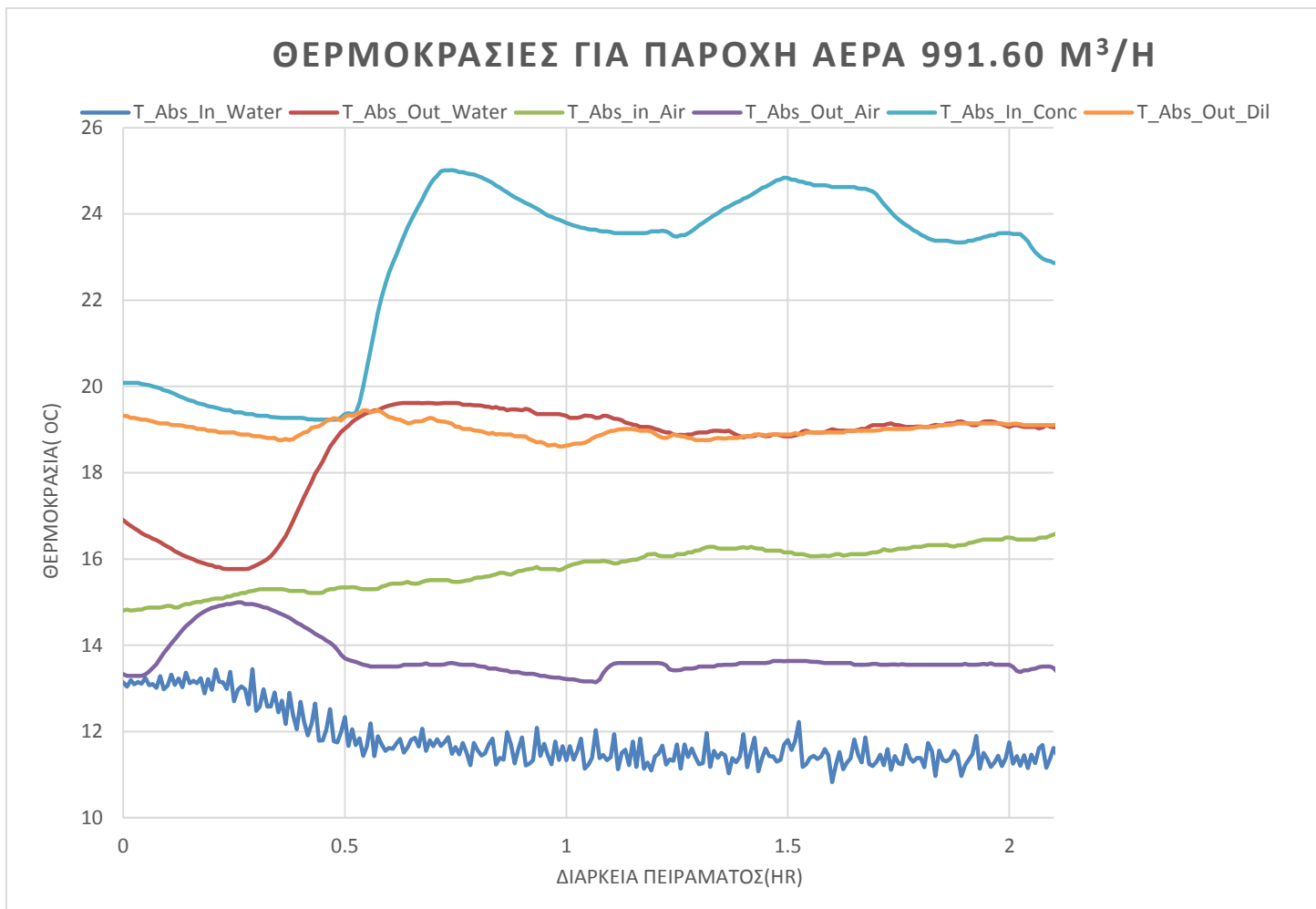
- Διαφορετική παροχή αέρα (3 περιπτώσεις)
- Διαφορετική συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O (3 περιπτώσεις)
- Διαφορετική παροχή διαλύματος LiCl-H₂O (3 περιπτώσεις)

Μετά την ανάλυση των αποτελεσμάτων έχουμε τα εξής διαγράμματα τα οποία και παρουσιάζονται πιο κάτω.

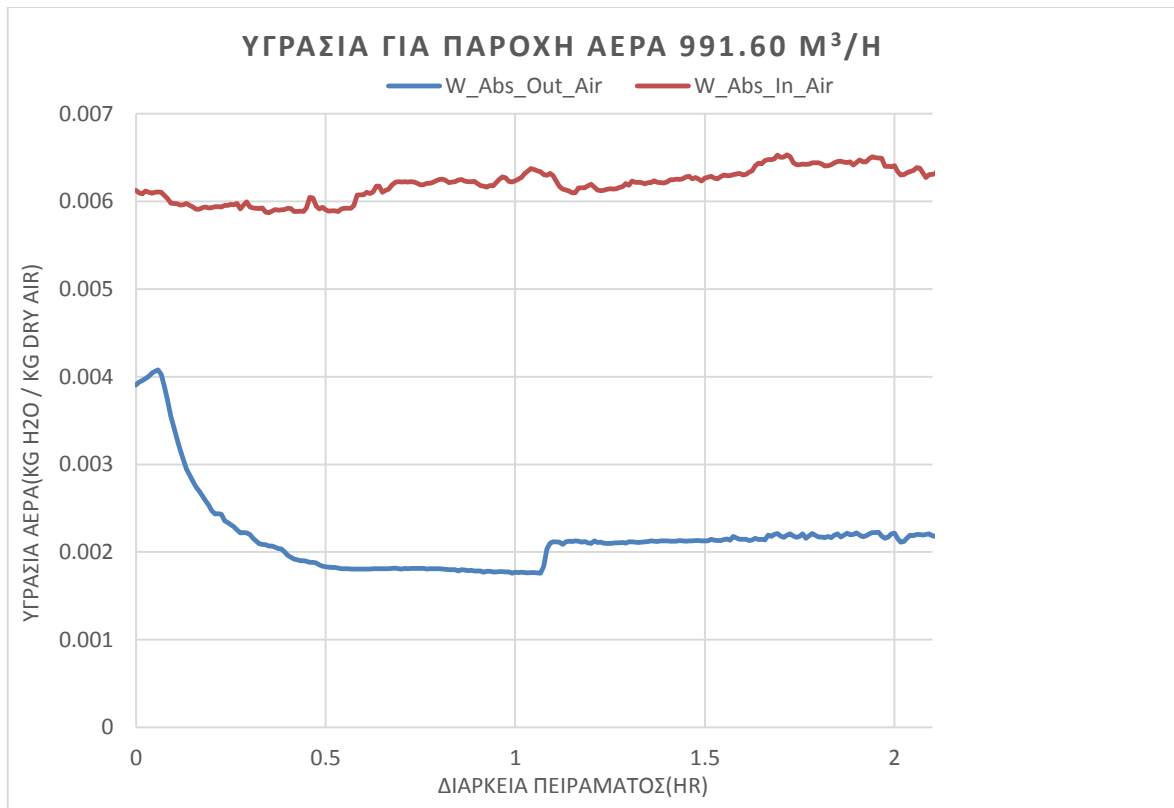
3.1 Παραμετρική ανάλυση με μεταβολή της παροχή αέρα

Στην συγκεκριμένη κατηγορία πειραμάτων εκτελούμε το πείραμα τρεις φορές κρατώντας σταθερή την παροχή και την συγκέντρωση του διαλύματος ξηραντικού και μεταβάλλοντας την παροχή αέρα για 991.60, 1346.17 και 1699.02 m³/h.

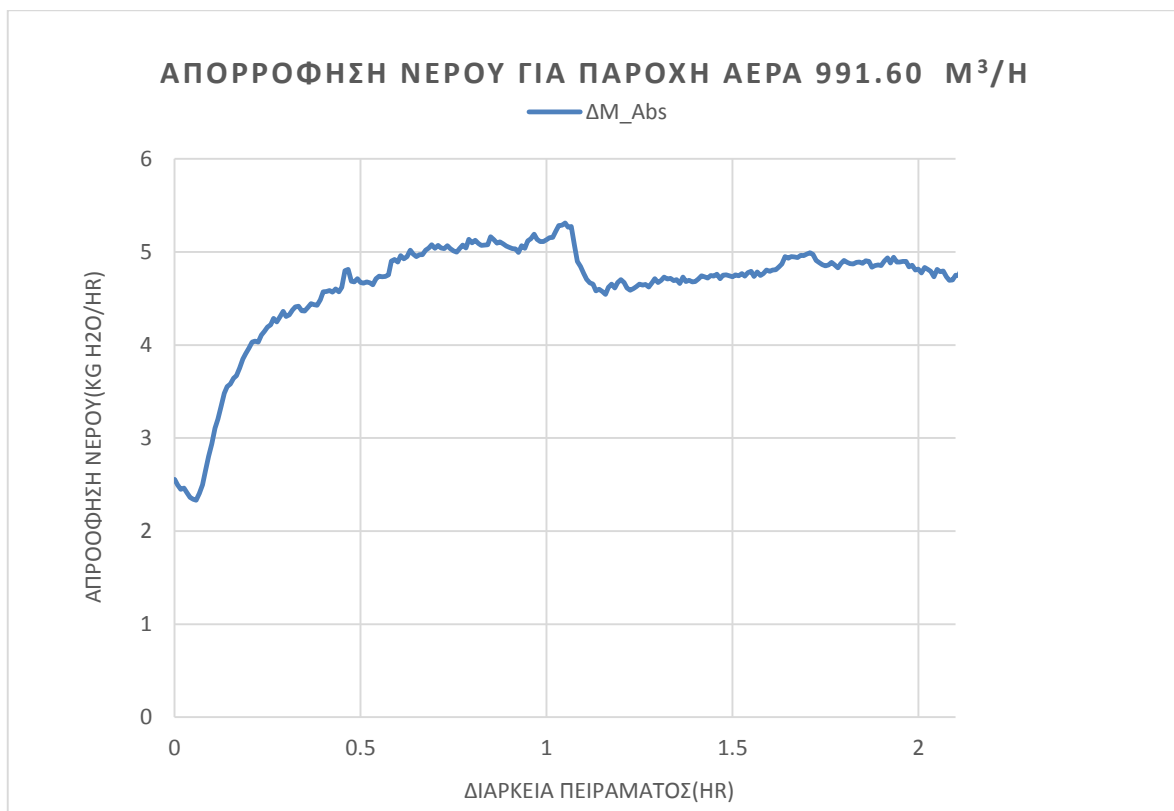
Παροχή αέρα 991.60 m³/h



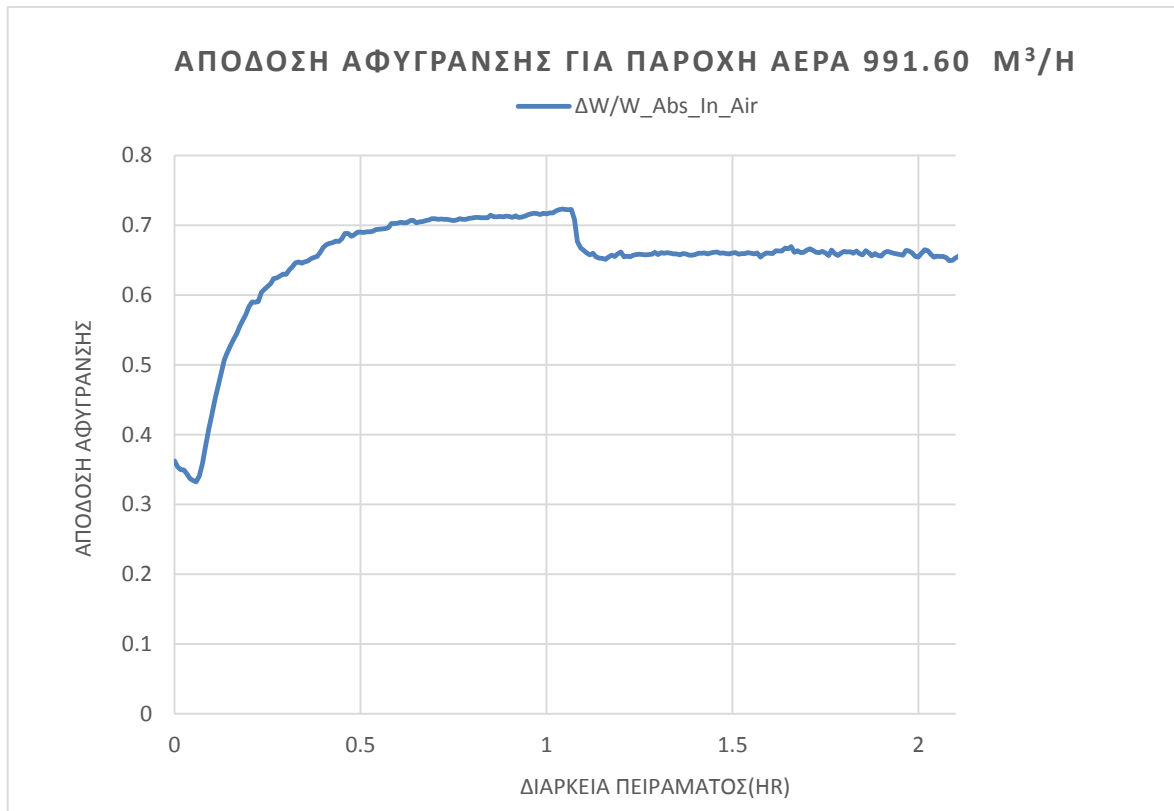
Γράφημα 3.1 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για παροχή αέρα 991.60 m³/h



Γράφημα 3.2 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για παροχή αέρα 991.6 m³/h

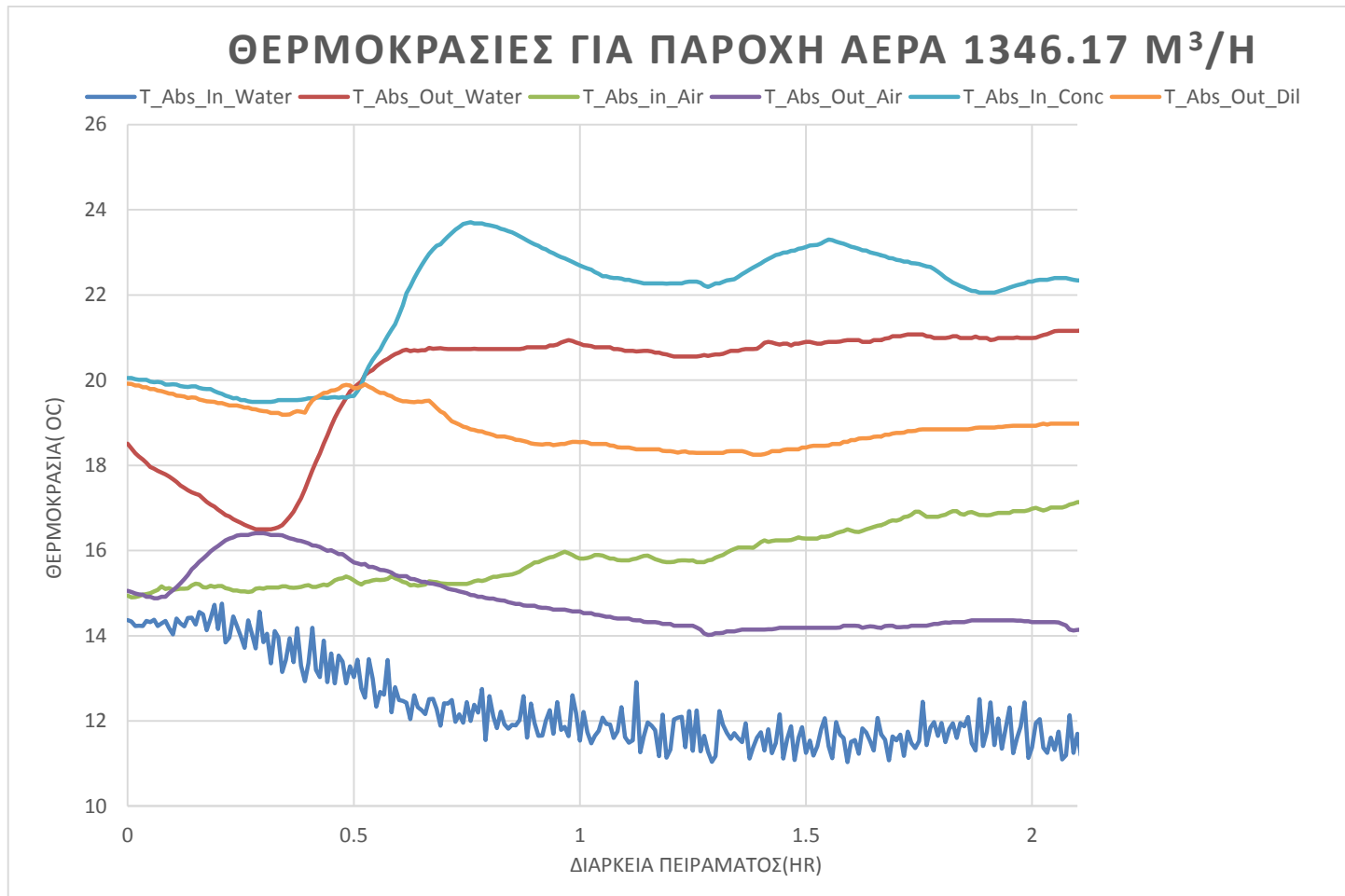


Γράφημα 3.3 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για παροχή αέρα 991.6 m³/h

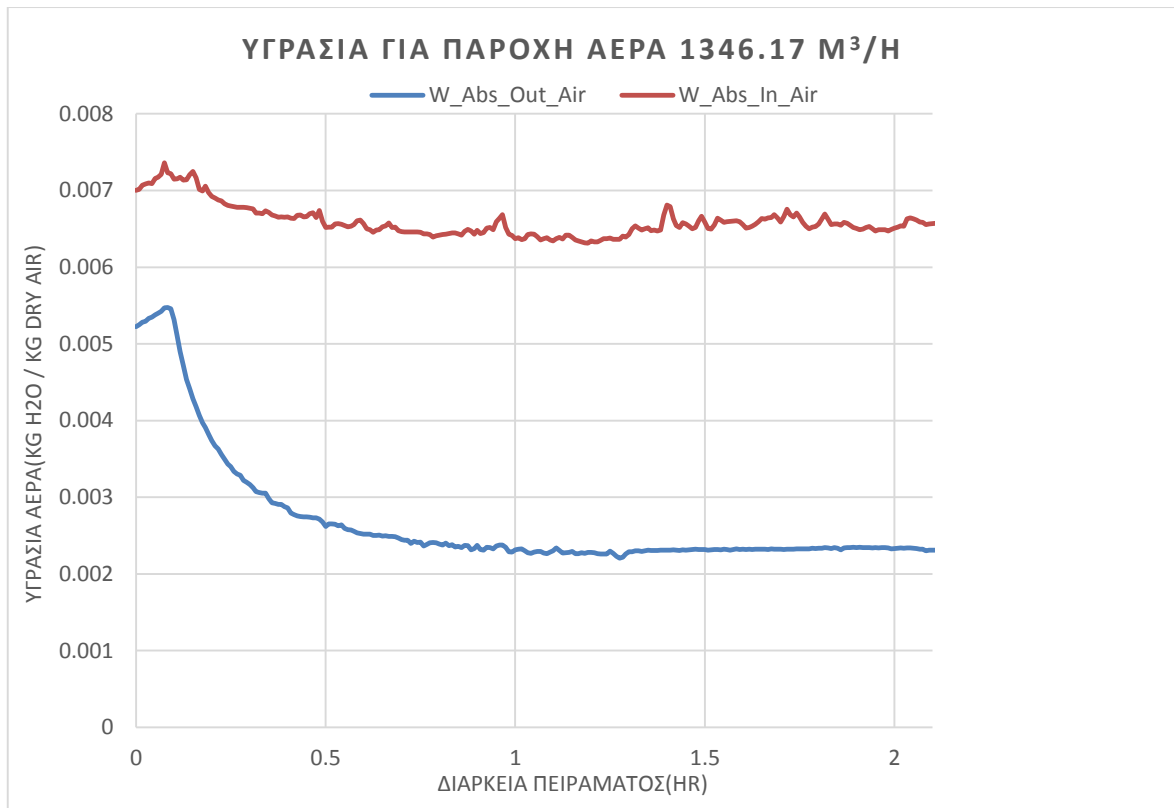


Γράφημα 3.4 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για παροχή αέρα 991.6 m³/h

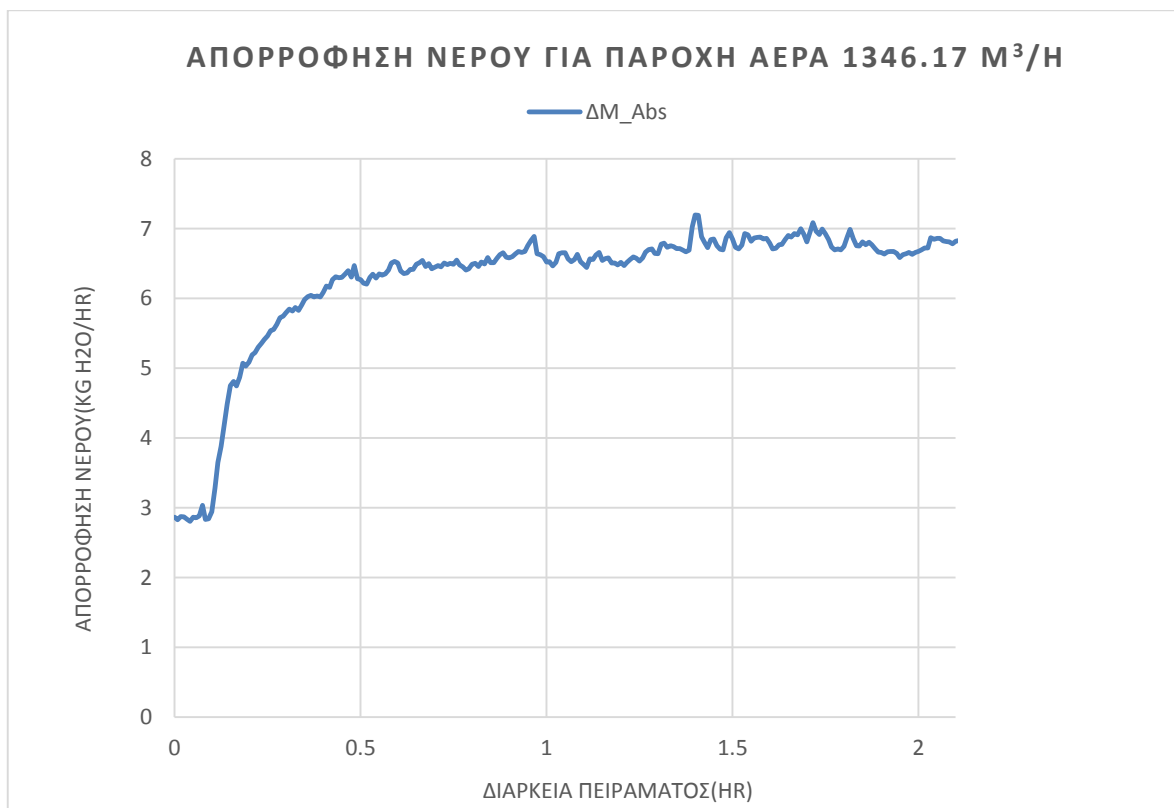
Παροχή αέρα 1346.17 m³/h



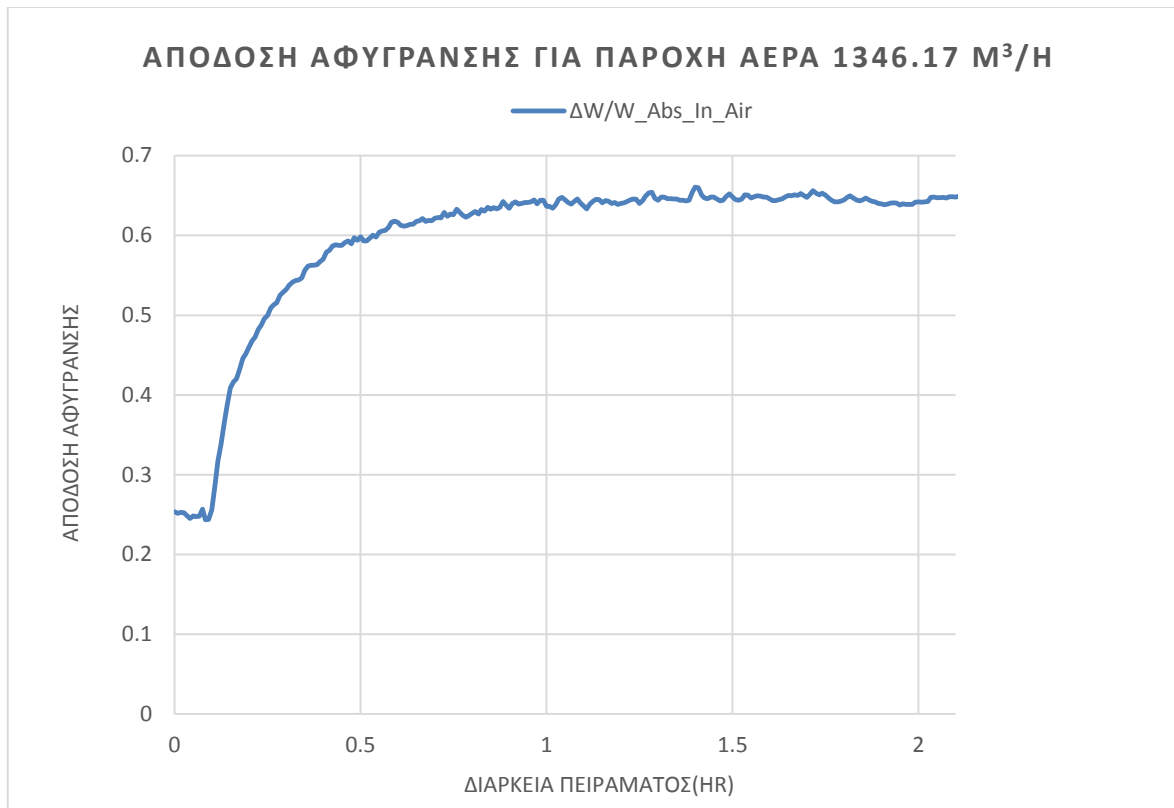
Γράφημα 3.5 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για παροχή αέρα 1346.17 m³/h



Γράφημα 3.6 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για παροχή αέρα 1346.17 m³/h

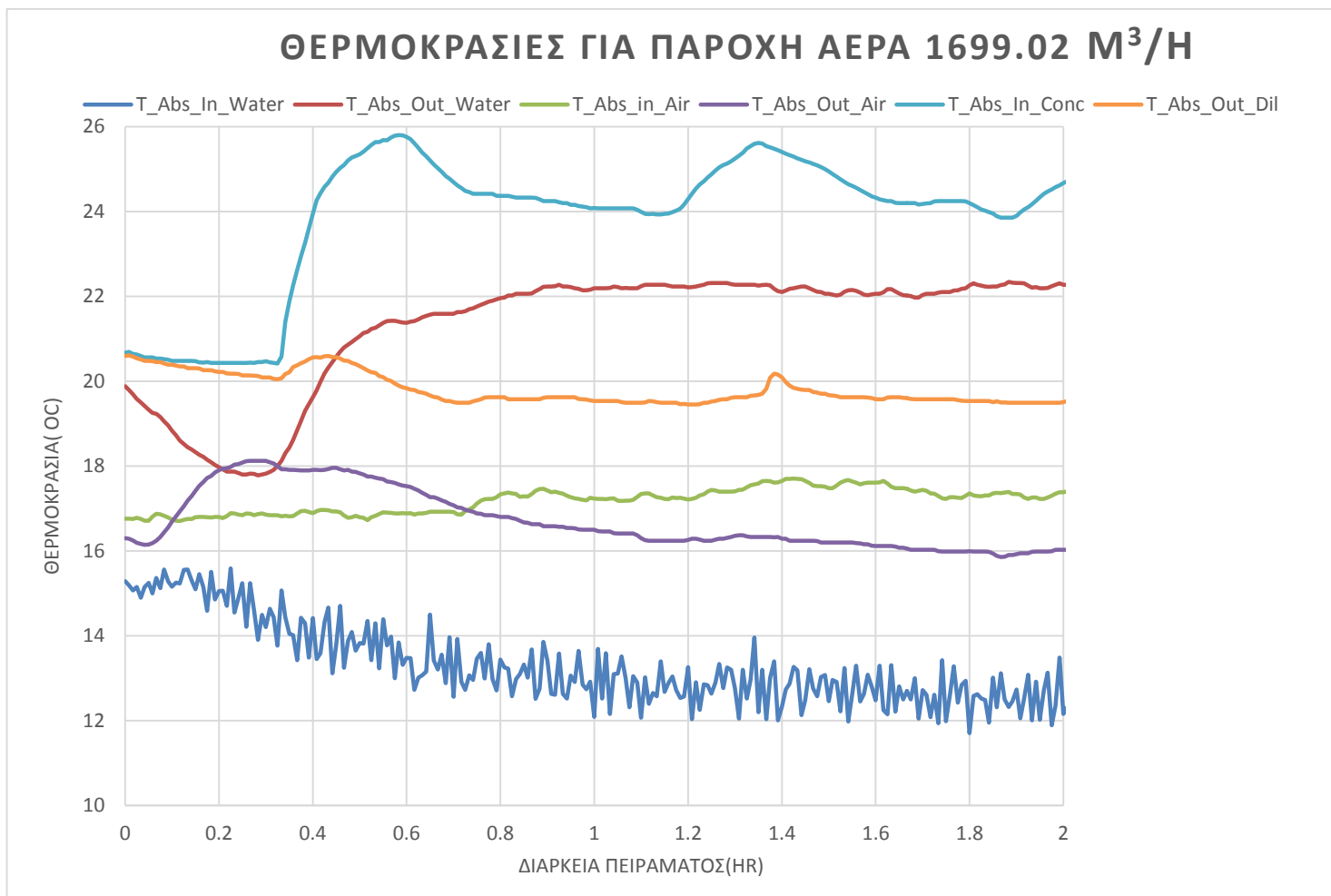


Γράφημα 3.7 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για παροχή αέρα 1346.17 m³/h

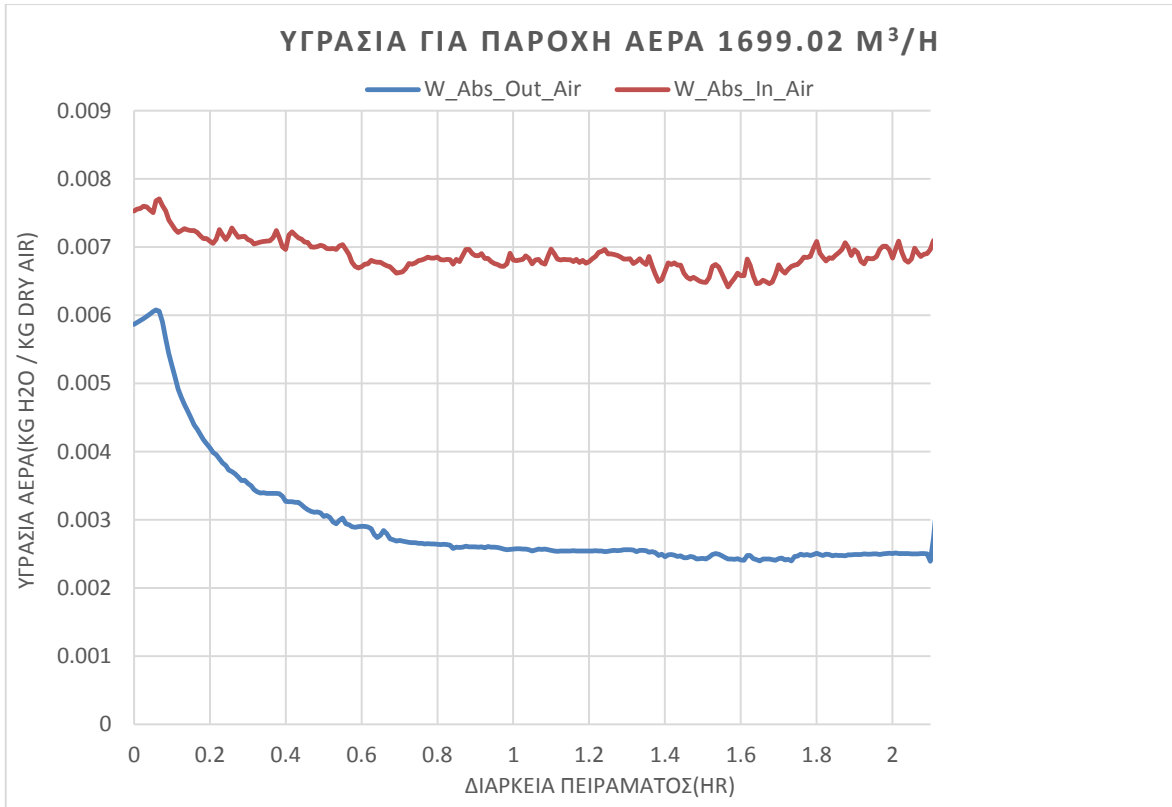


Γράφημα 3.8 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για παροχή αέρα 1346.17 m³/h

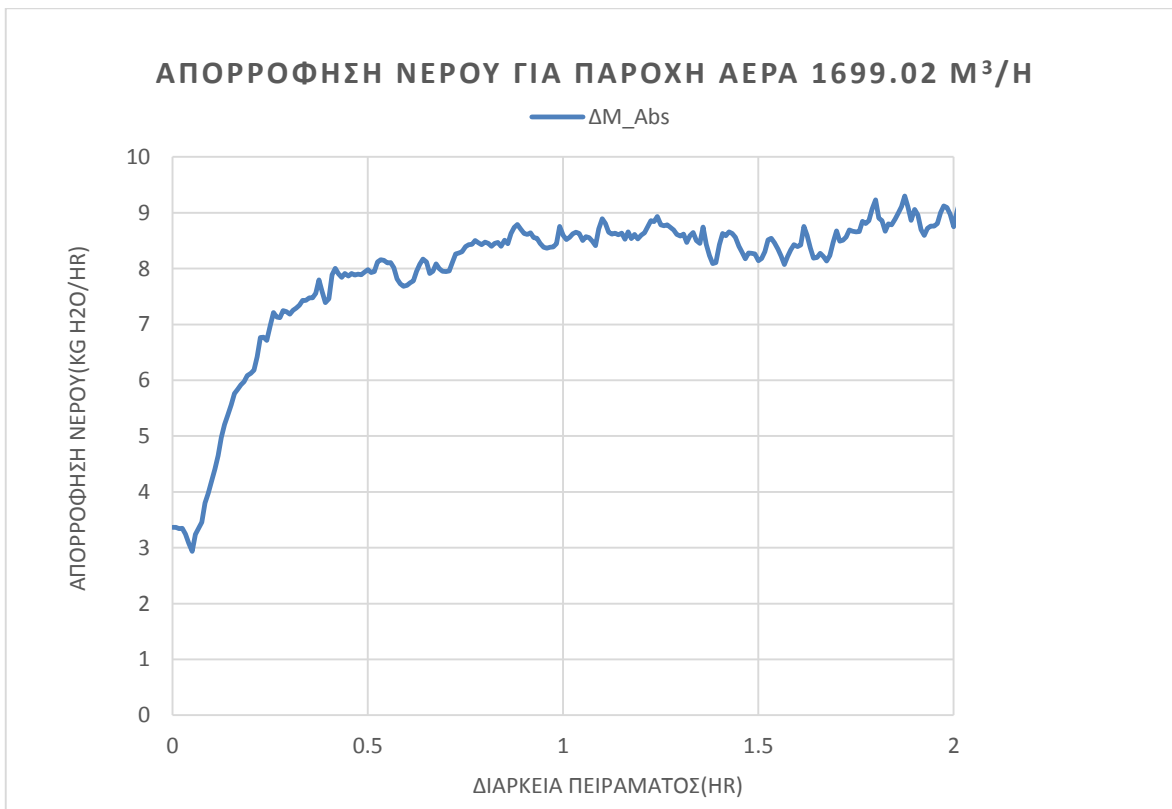
Παροχή αέρα 1699.02 m³/h



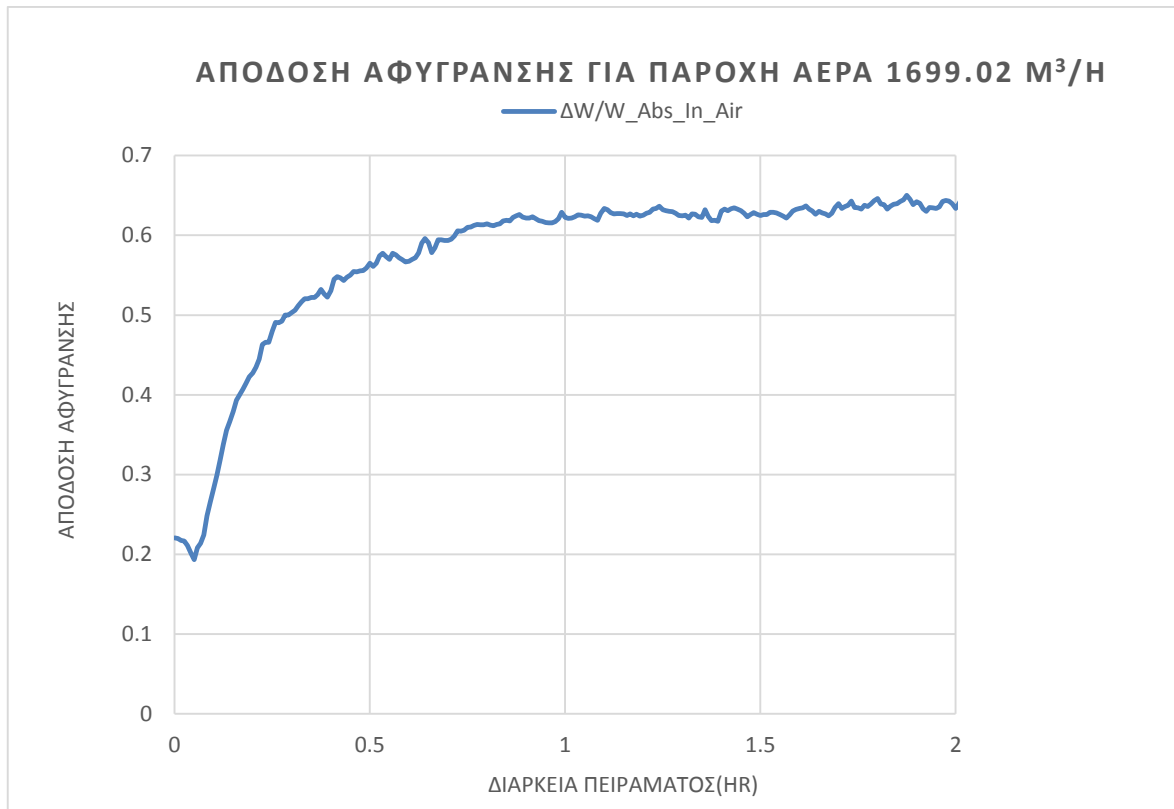
Γράφημα 3.9 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για παροχή αέρα 1699.02 m³/h



Γράφημα 3.10 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για παροχή αέρα 1699.02 m³/h

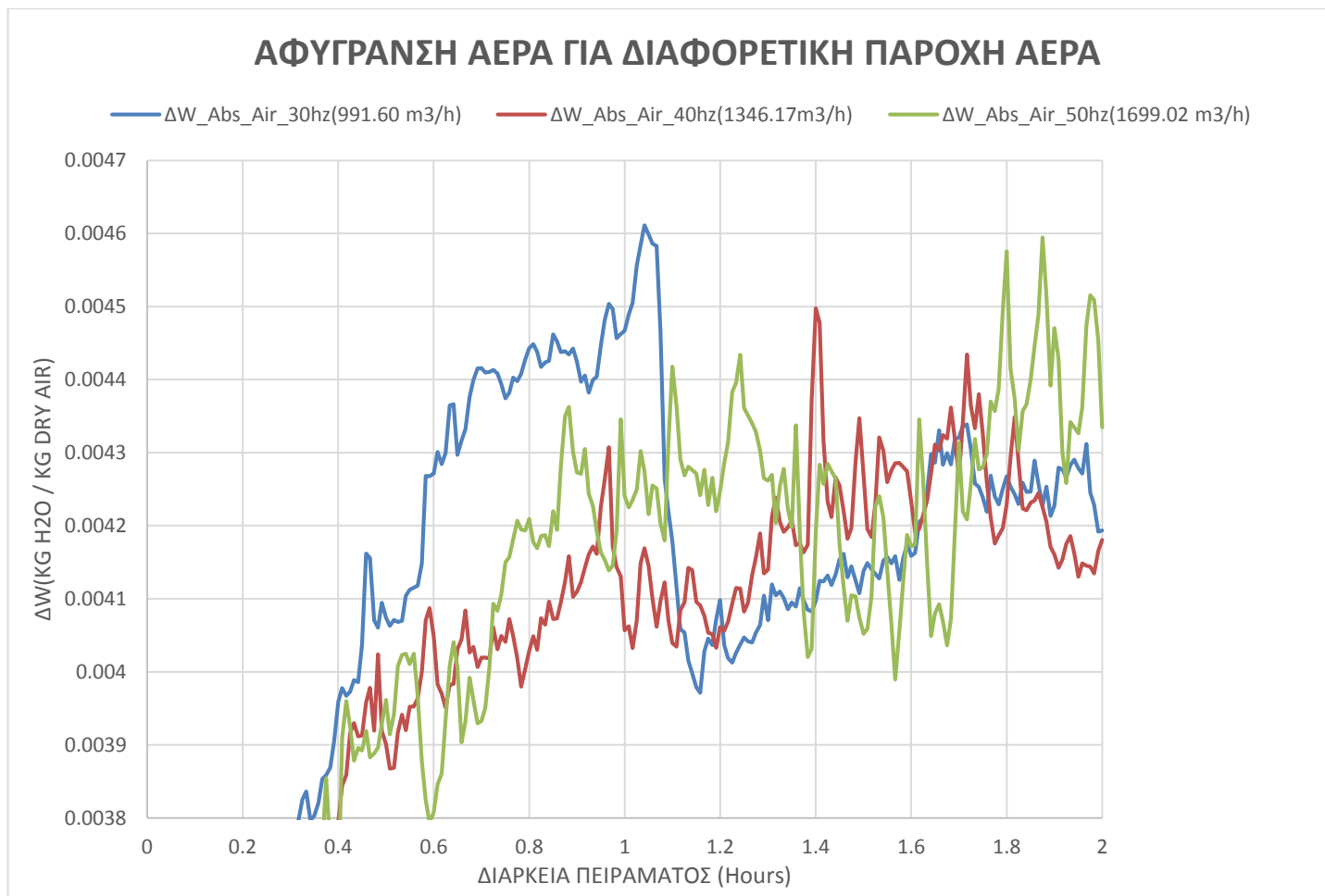


Γράφημα 3.11 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για παροχή αέρα 1699.02 m³/h

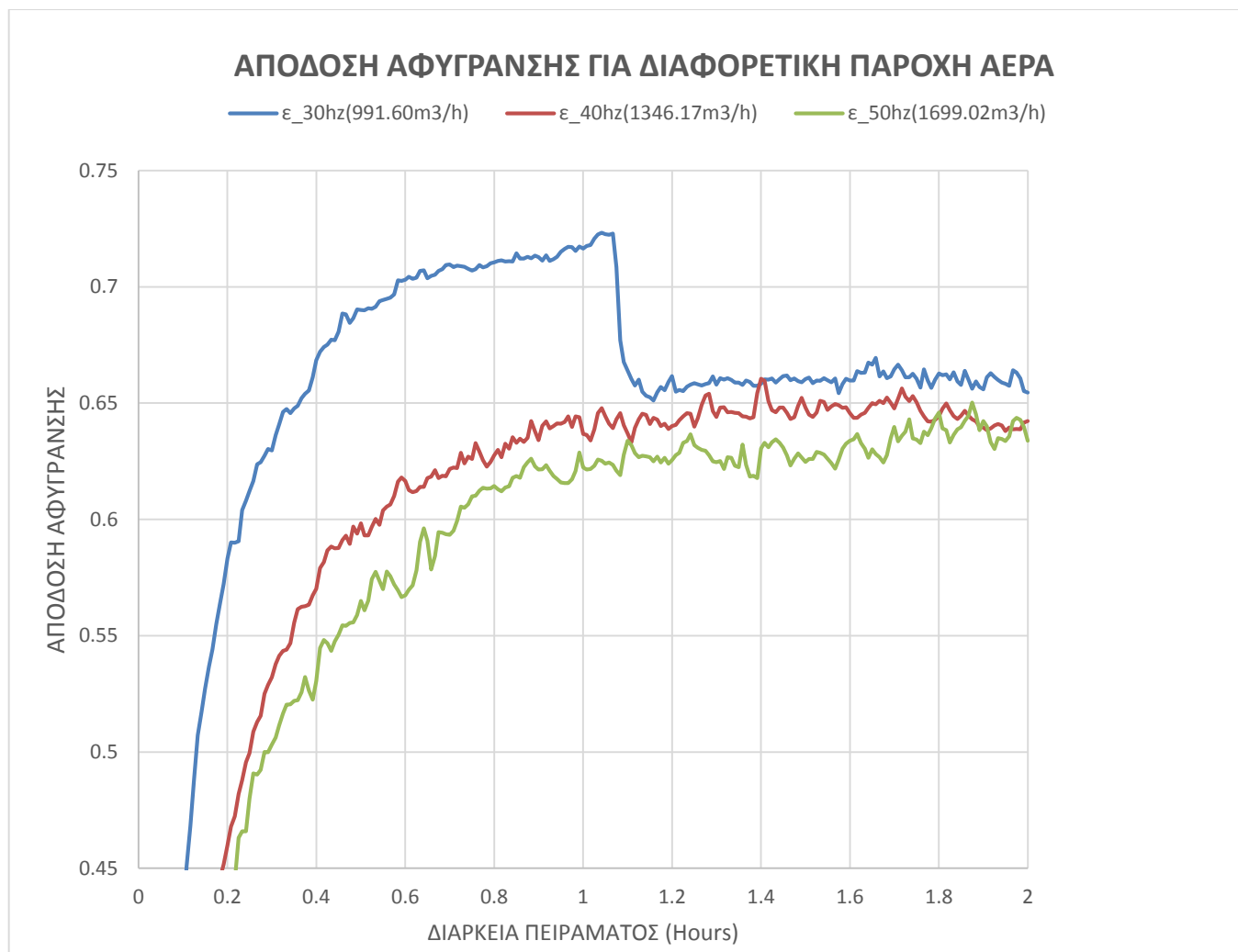


Γράφημα 3.12 Πειραματικά αποτελέσματα απαφύγρυνσης για παροχή αέρα 1699.02 m³/h

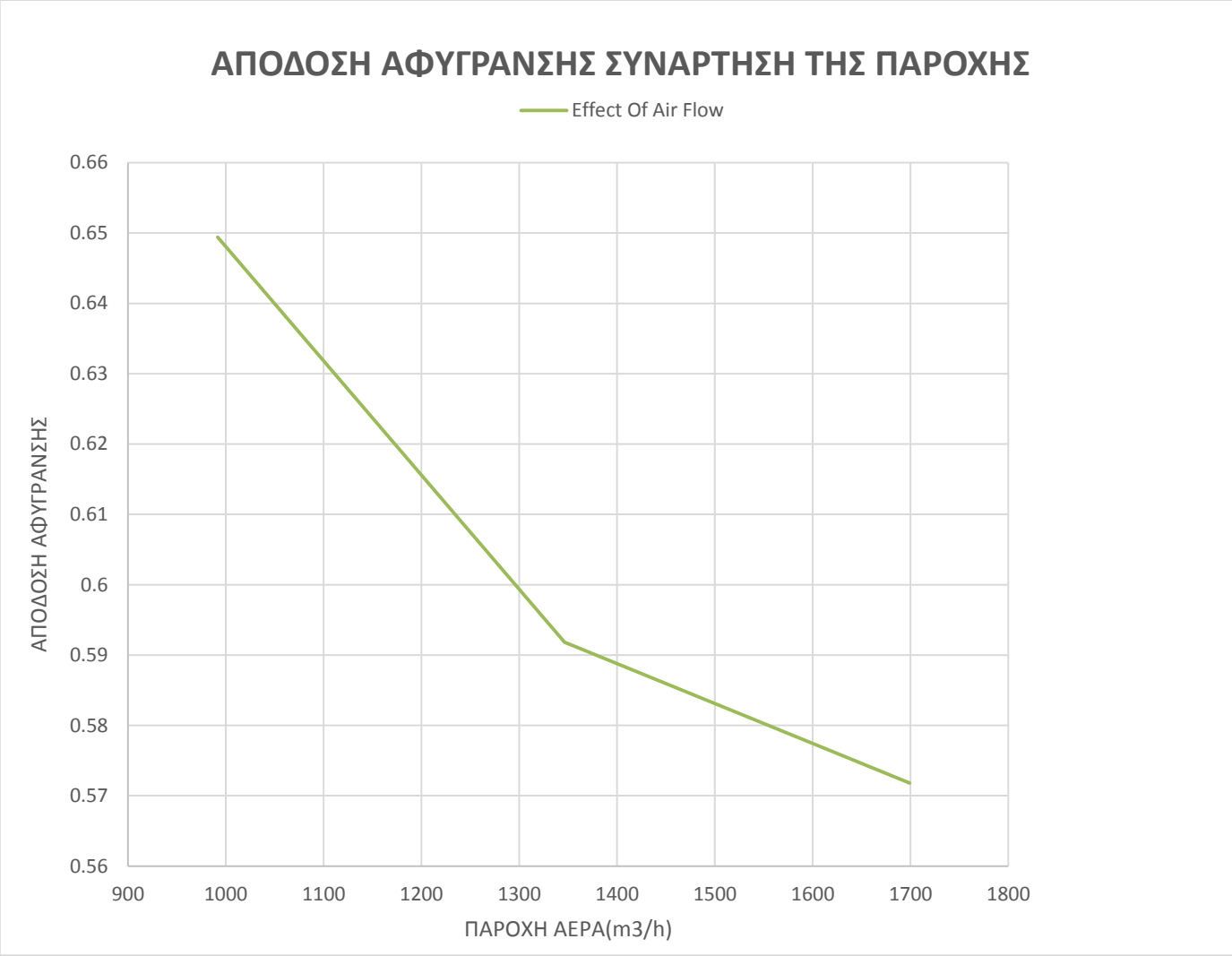
3.1.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για μεταβολή παροχής αέρα



Γράφημα 3.13 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρυνσης αέρα με διαφορετική παροχή αέρα



Γράφημα 3.14 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης με διαφορετική παροχή αέρα



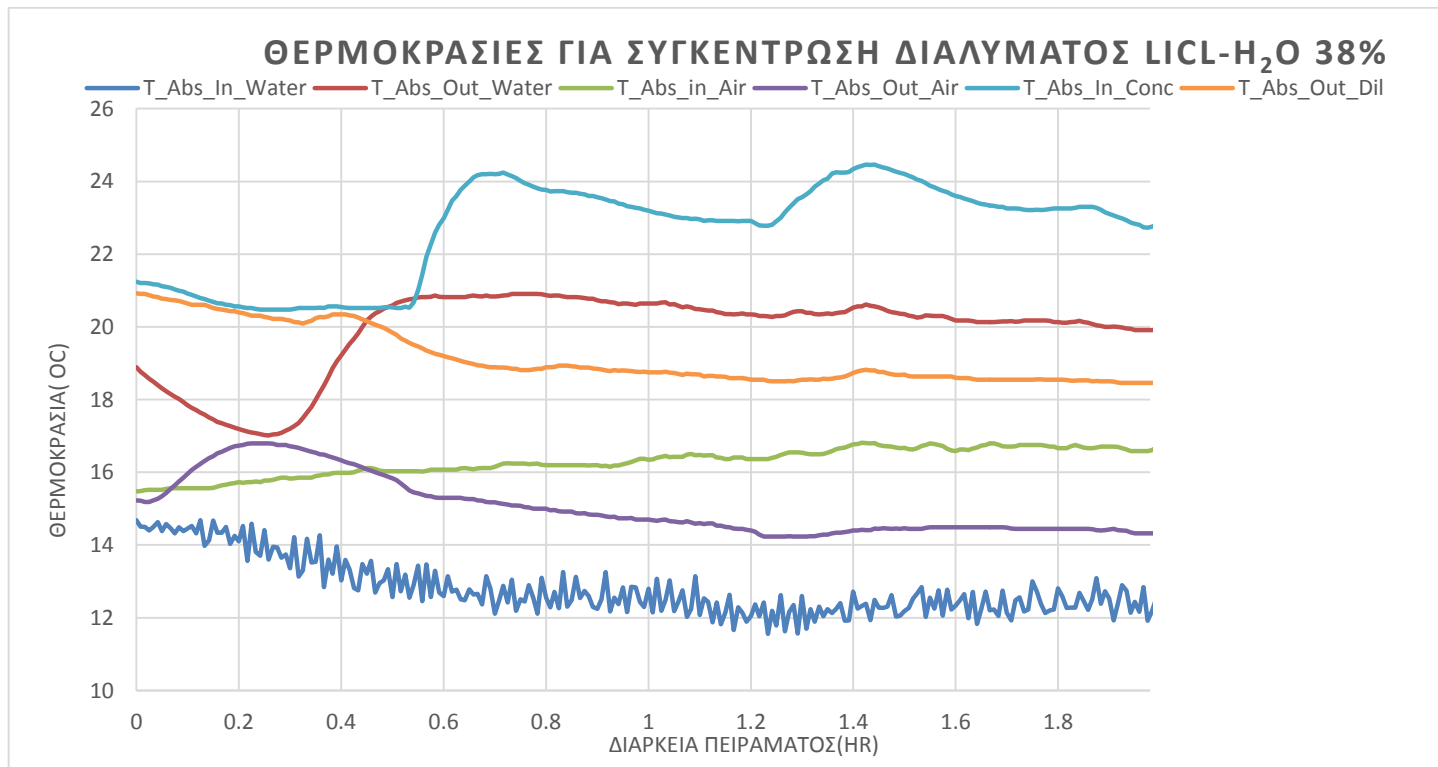
Γράφημα 3.15 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης αέρα συναρτήση της παροχής

3.2 Παραμετρική ανάλυση με μεταβολή της συγκέντρωσης διαλύματος LiCl-H₂O

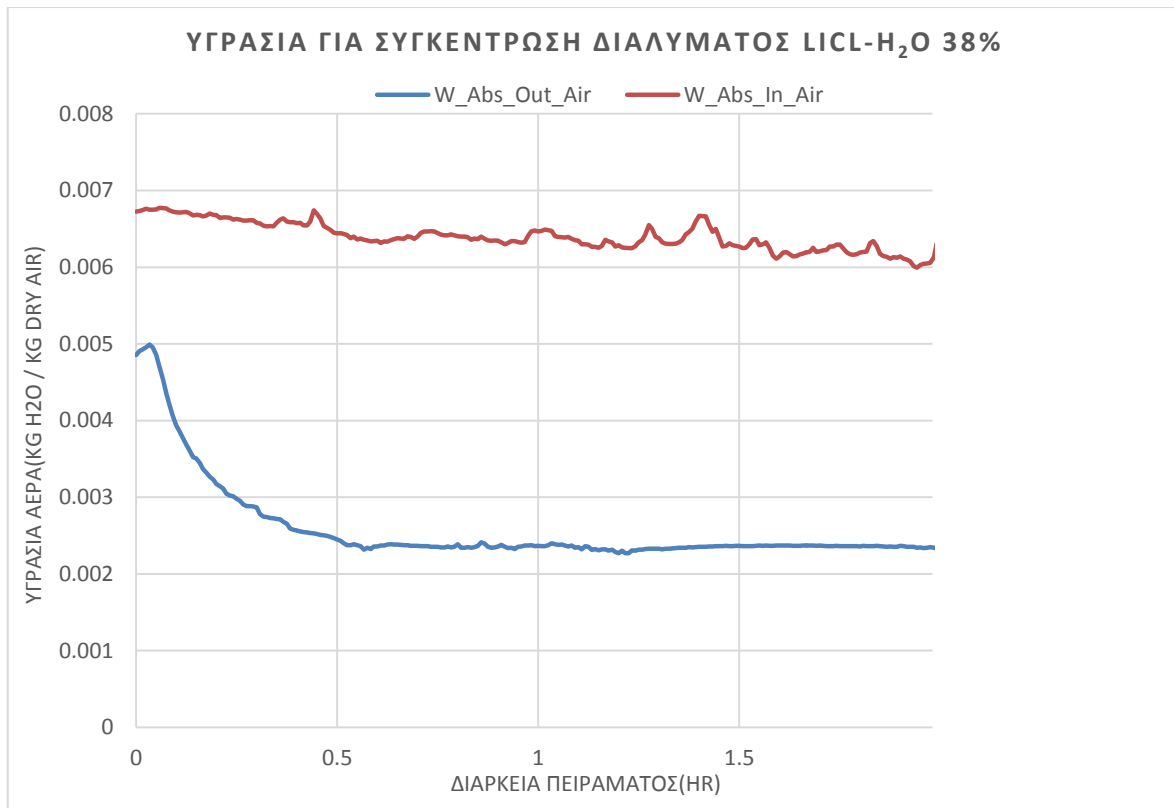
Στην συγκεκριμένη κατηγορία πειραμάτων εκτελούμε το πείραμα τρεις φορές κρατώντας σταθερή την παροχή αέρα και την παροχή του διαλύματος ξηραντικού και μεταβάλλοντας την συγκέντρωση διαλύματος για 41%,38% και 35% LiCl-H₂O.

Το πείραμά για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 41% συμπίπτει με το πείραμα για παροχή αέρα 991.60 m³/h

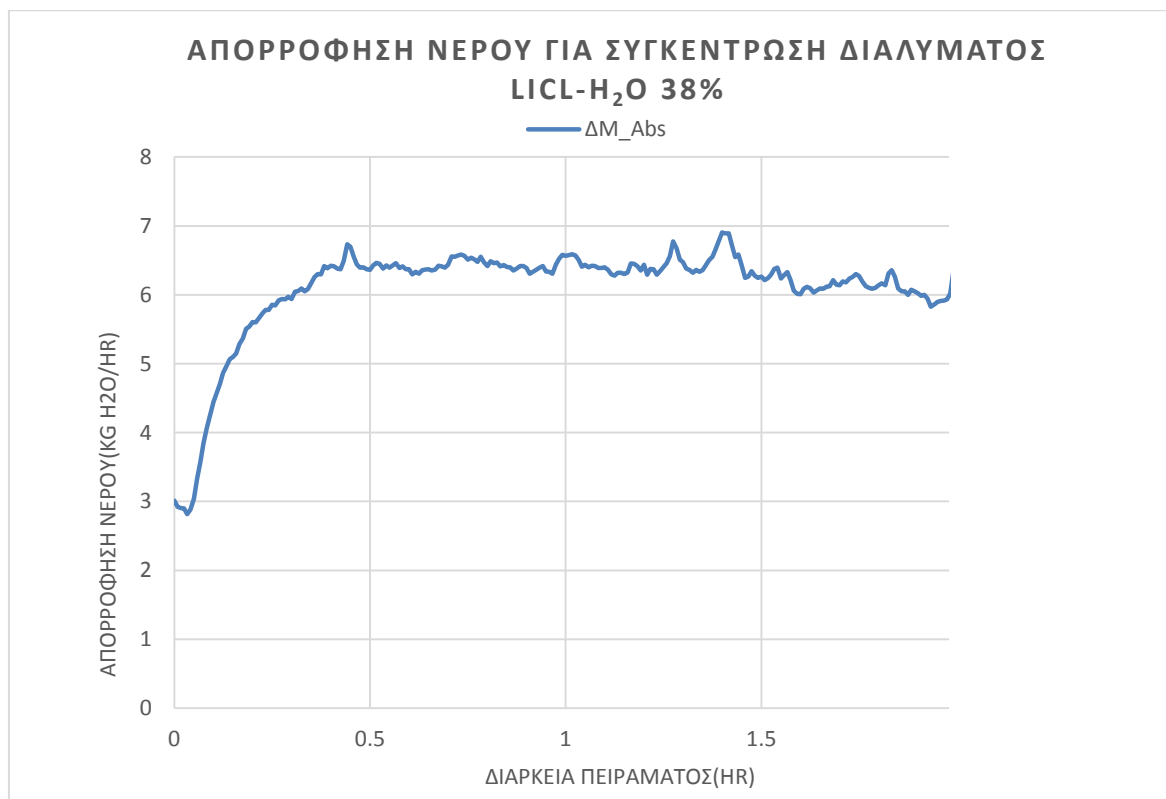
Συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%



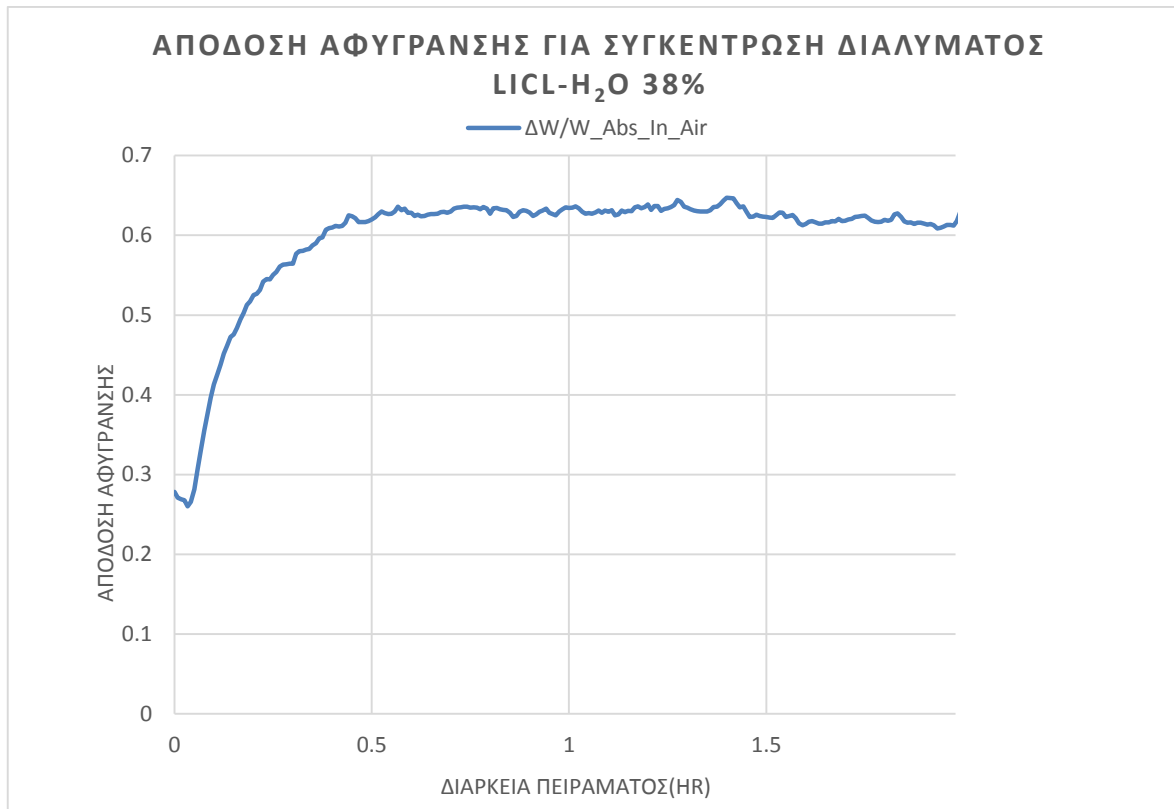
Γράφημα 3.16 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%



Γράφημα 3.17 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%

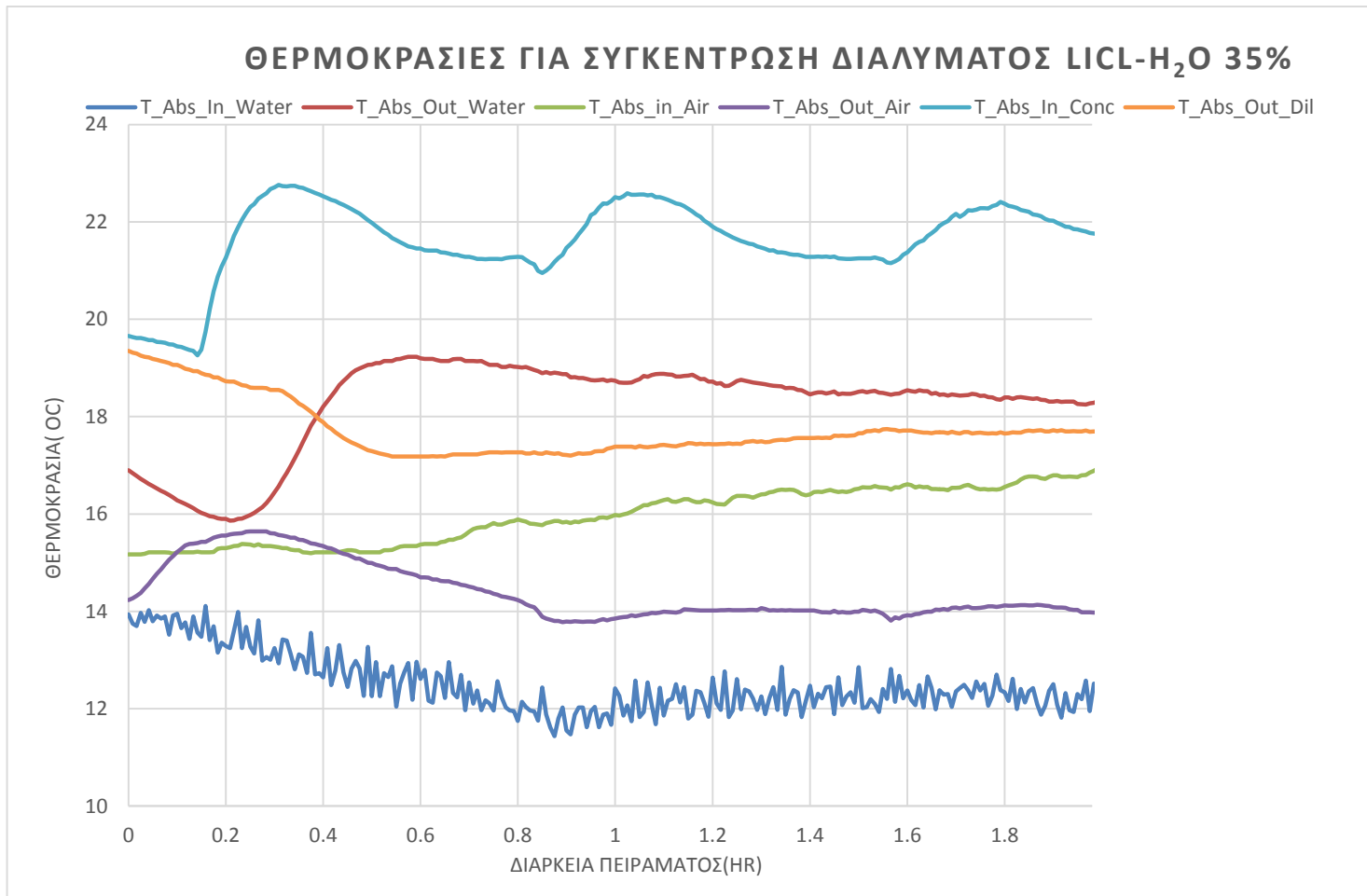


Γράφημα 3.18 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%

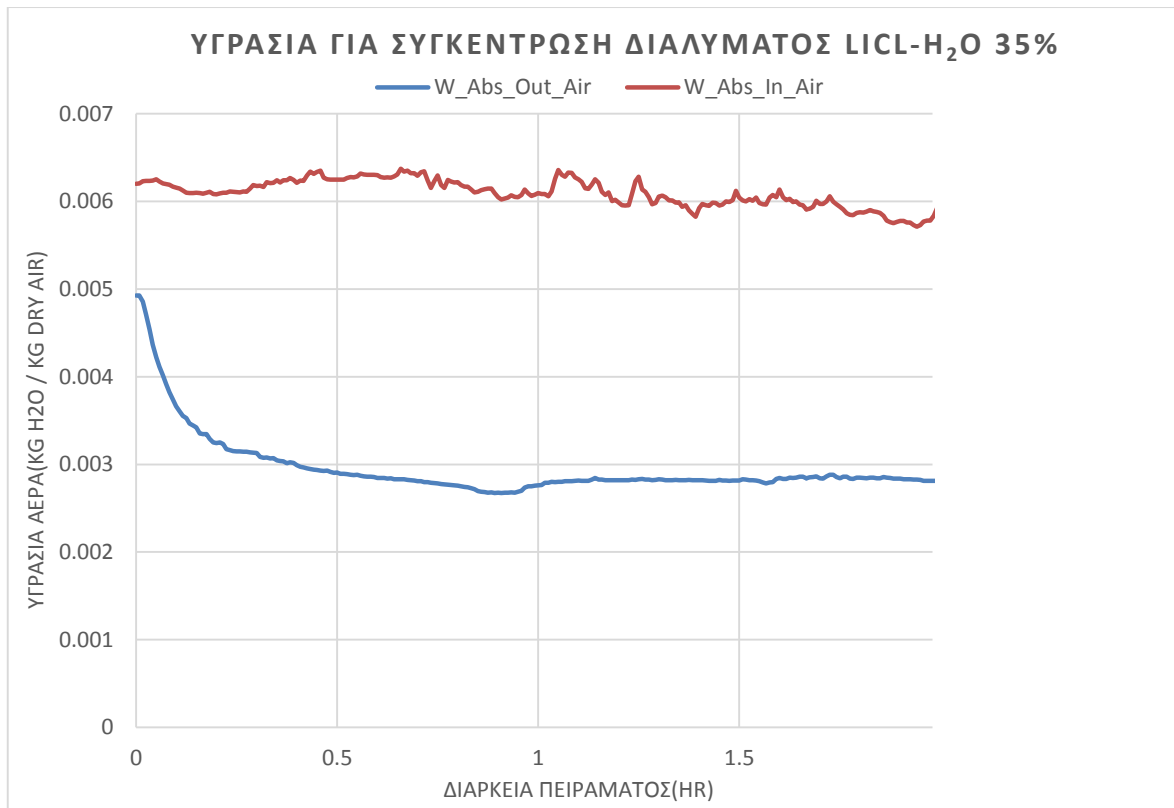


Γράφημα 3.19 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%

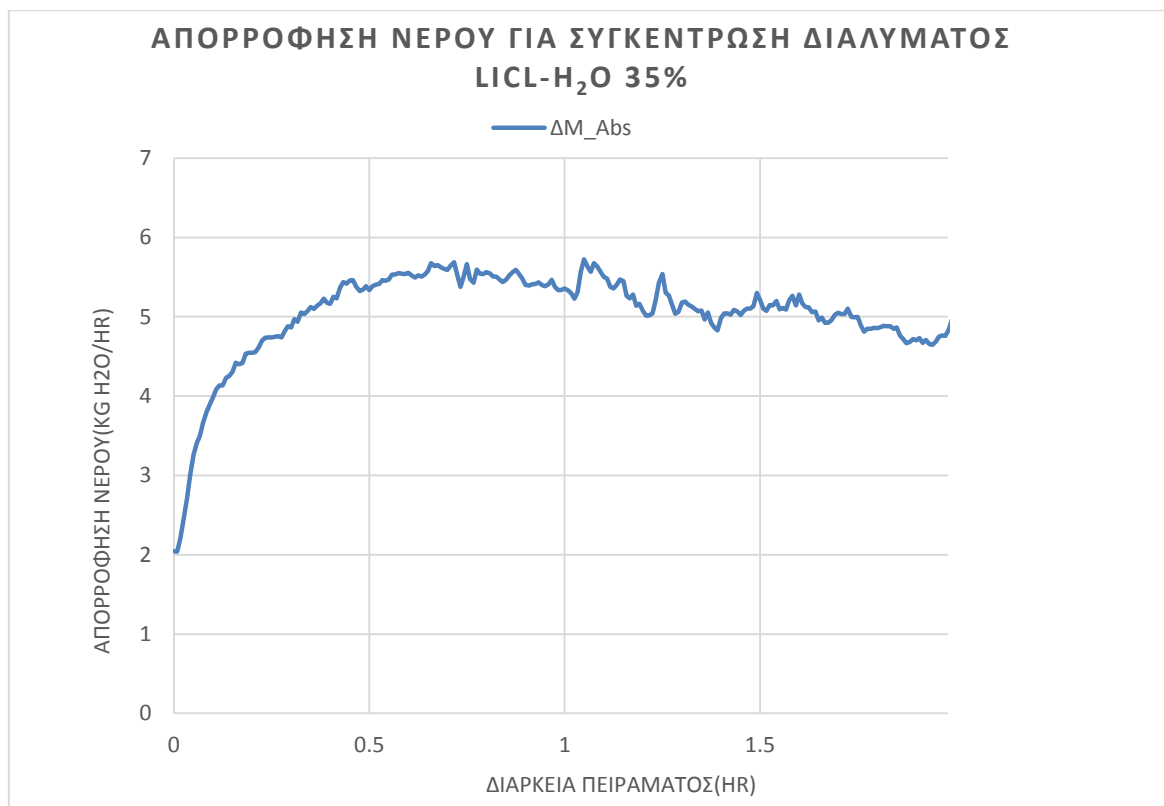
Συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%



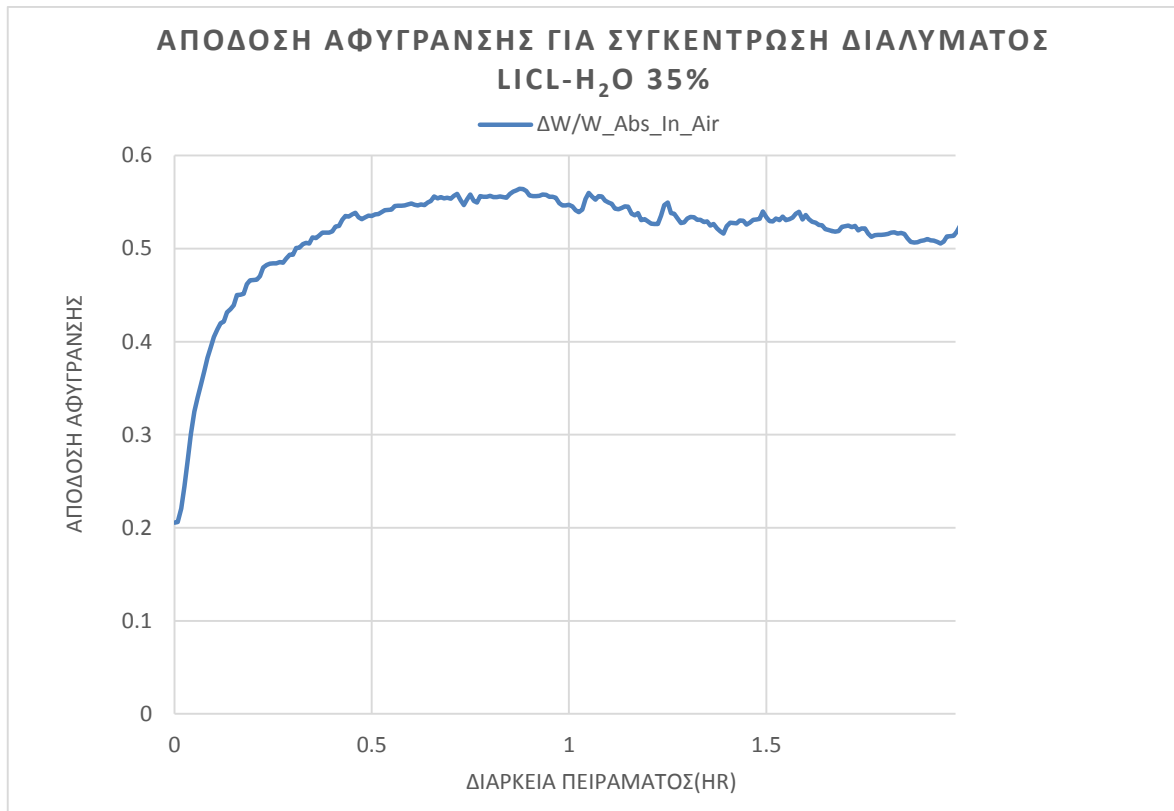
Γράφημα 3.20 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 35%



Γράφημα 3.21 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 35%

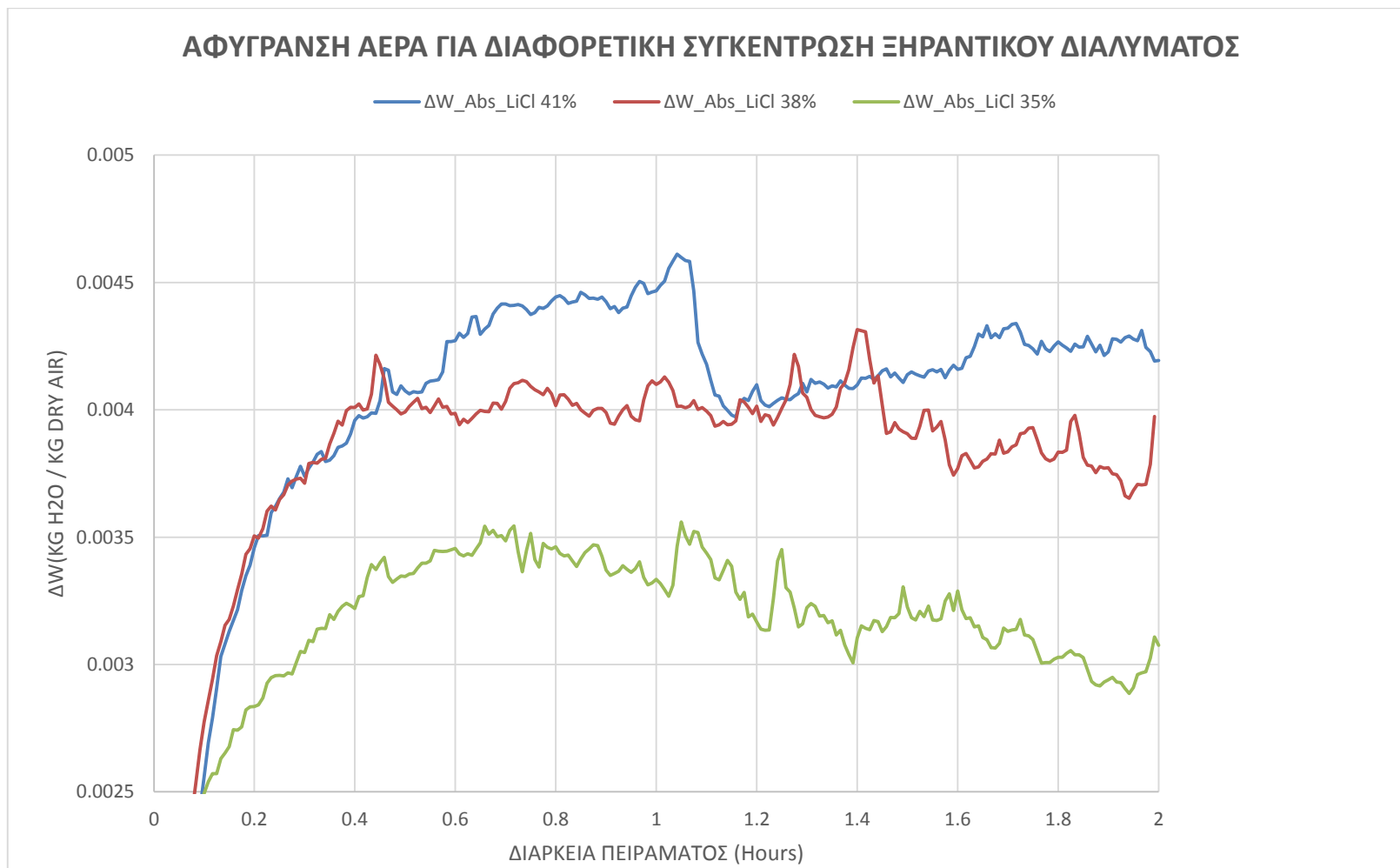


Γράφημα 322 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 35%

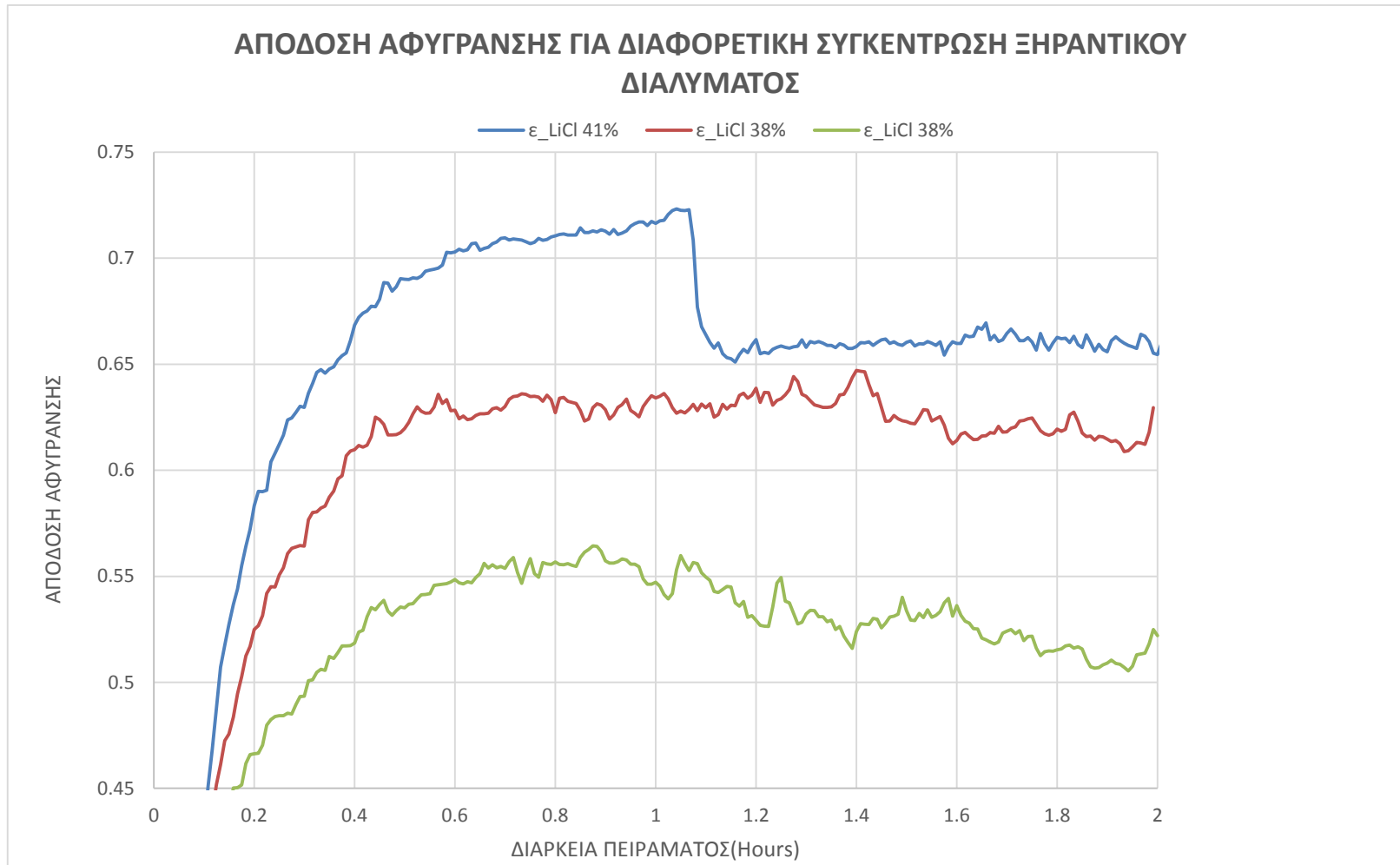


Γράφημα 3.23 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 35%

3.2.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για μεταβολή συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O

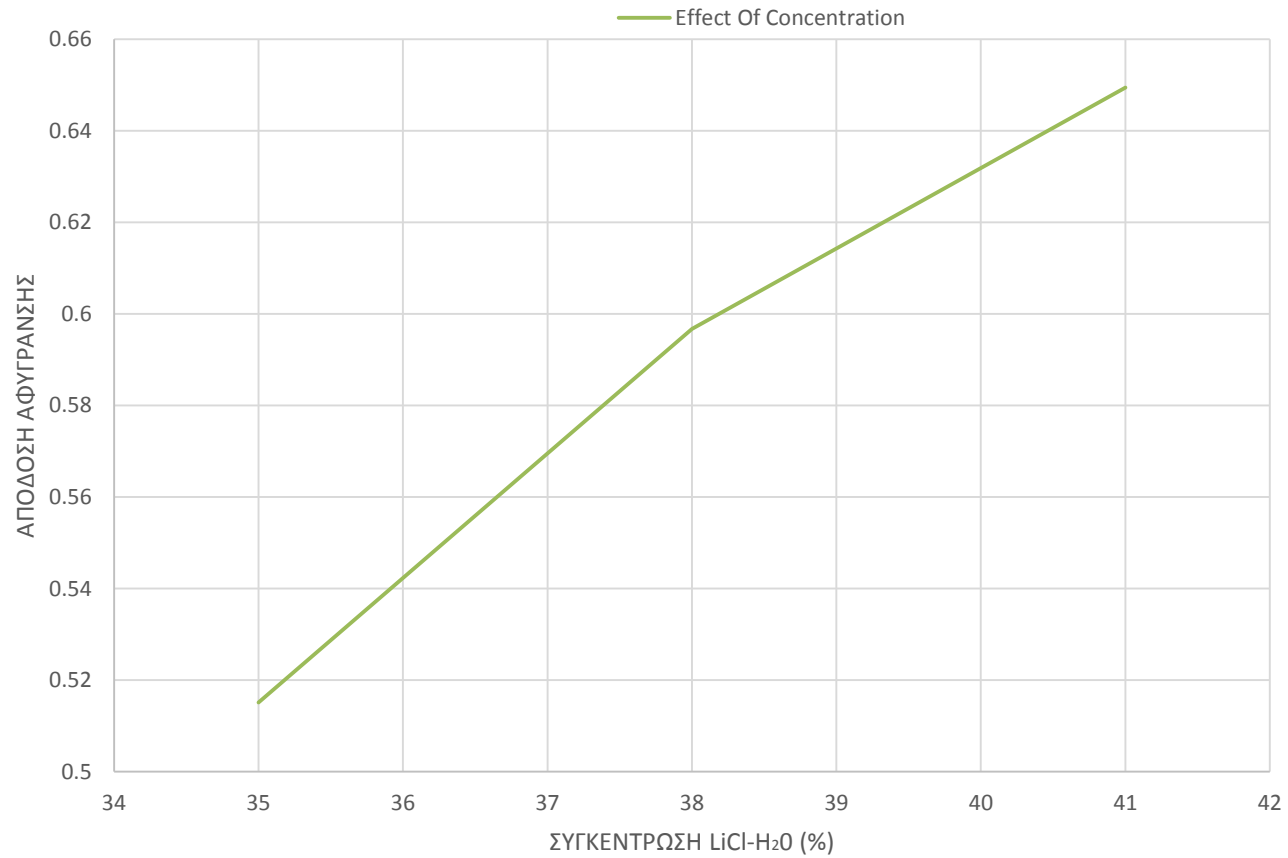


Γράφημα 3.24 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης αέρα με διαφορετική παροχή αέρα



Γράφημα 3.25 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης με διαφορετική παροχή αέρα

ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ

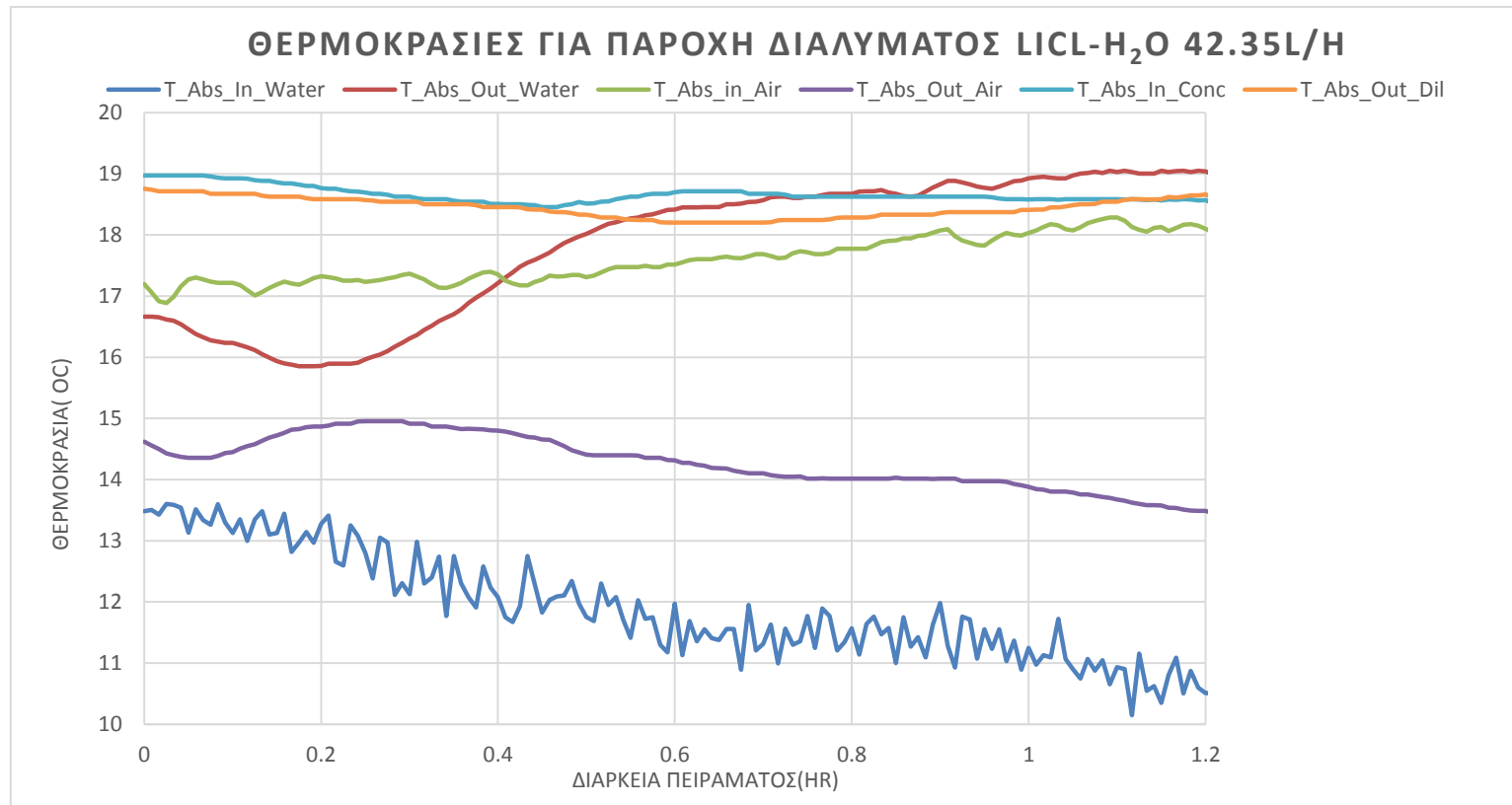


Γράφημα 3.26 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης αέρα συναρτήση της παροχής

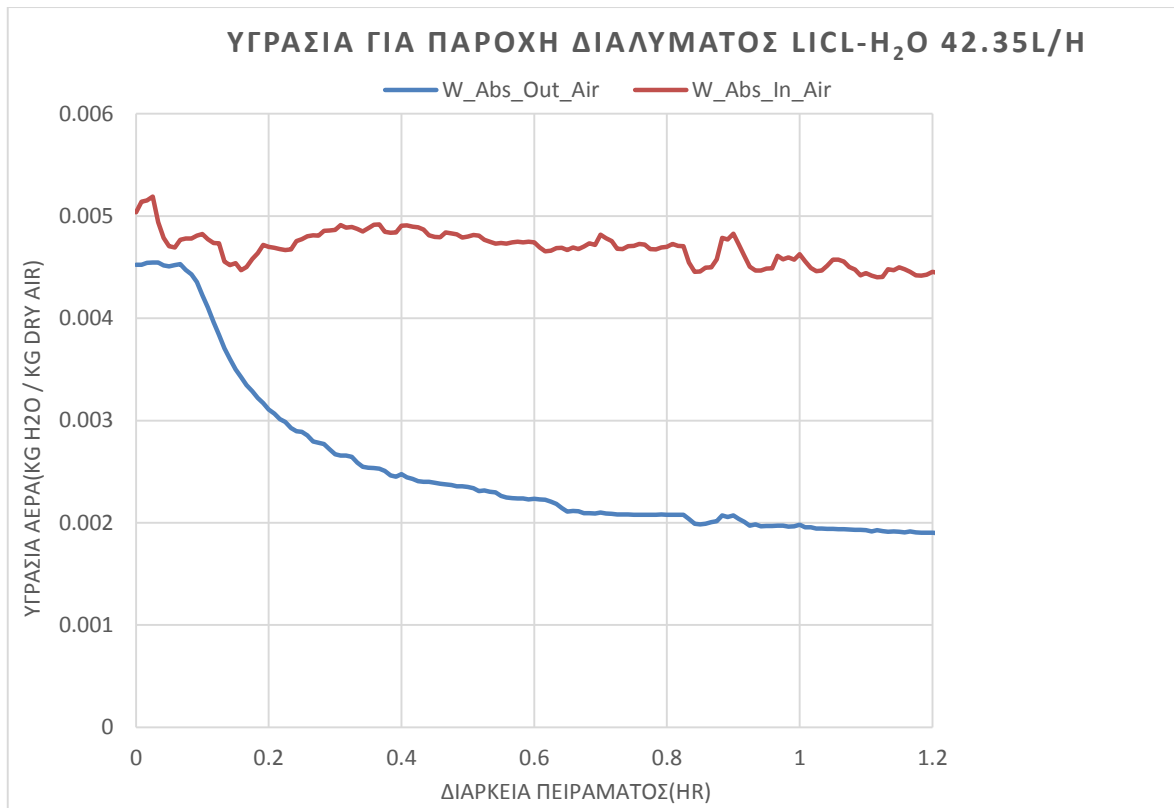
3.3 Παραμετρική ανάλυση με μεταβολή της παροχής διαλύματος LiCl-H₂O

Στην συγκεκριμένη κατηγορία πειραμάτων εκτελούμε το πείραμα τρεις φορές κρατώντας σταθερή την παροχή αέρα και την συγκέντρωση του ξηραντικού διαλύματος και μεταβάλλοντας την παροχή ξηραντικού διαλύματος για 42.35, 76.60 και 97.30 L/h.

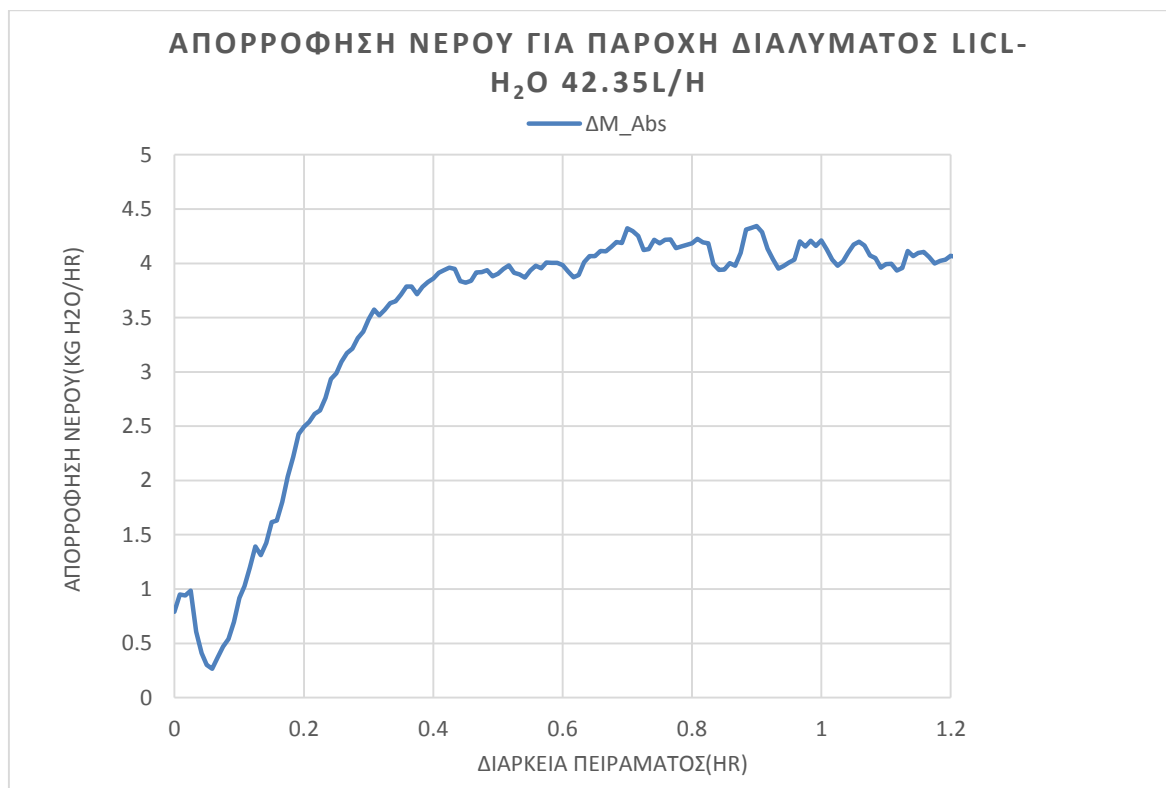
Παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 42.35 L/h



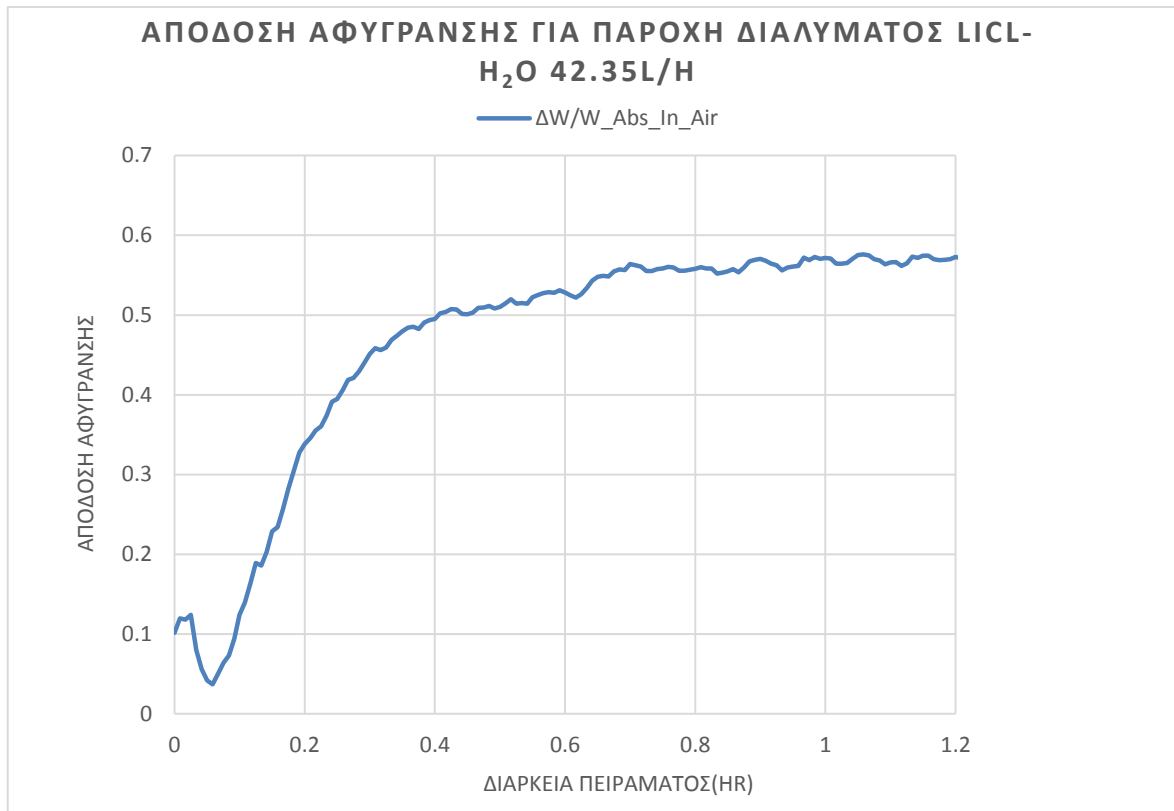
Γράφημα 3.27 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 42.35 L/h



Γράφημα 3.28 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 42.35 L/h

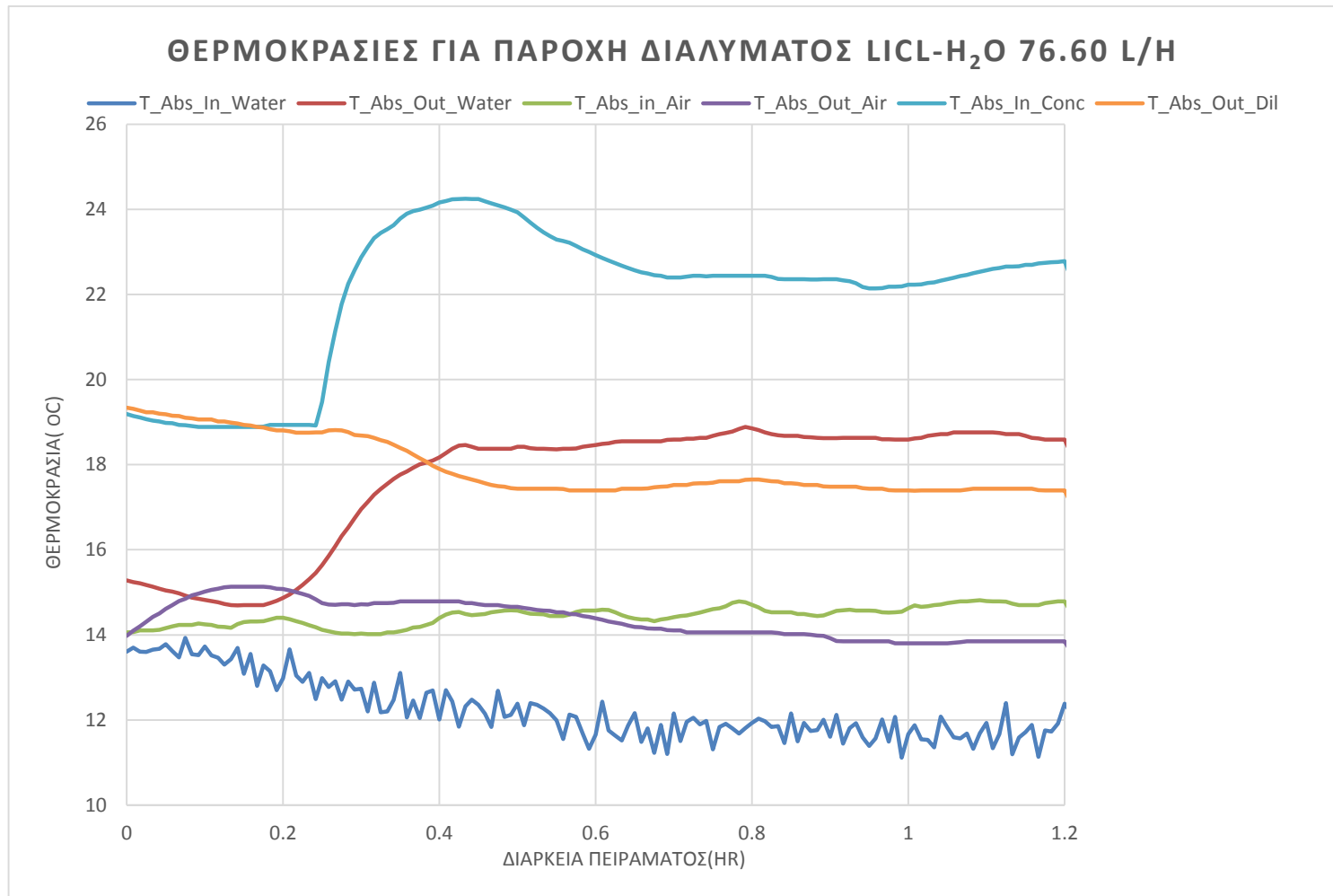


Γράφημα 3.29 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 42.35 L/h

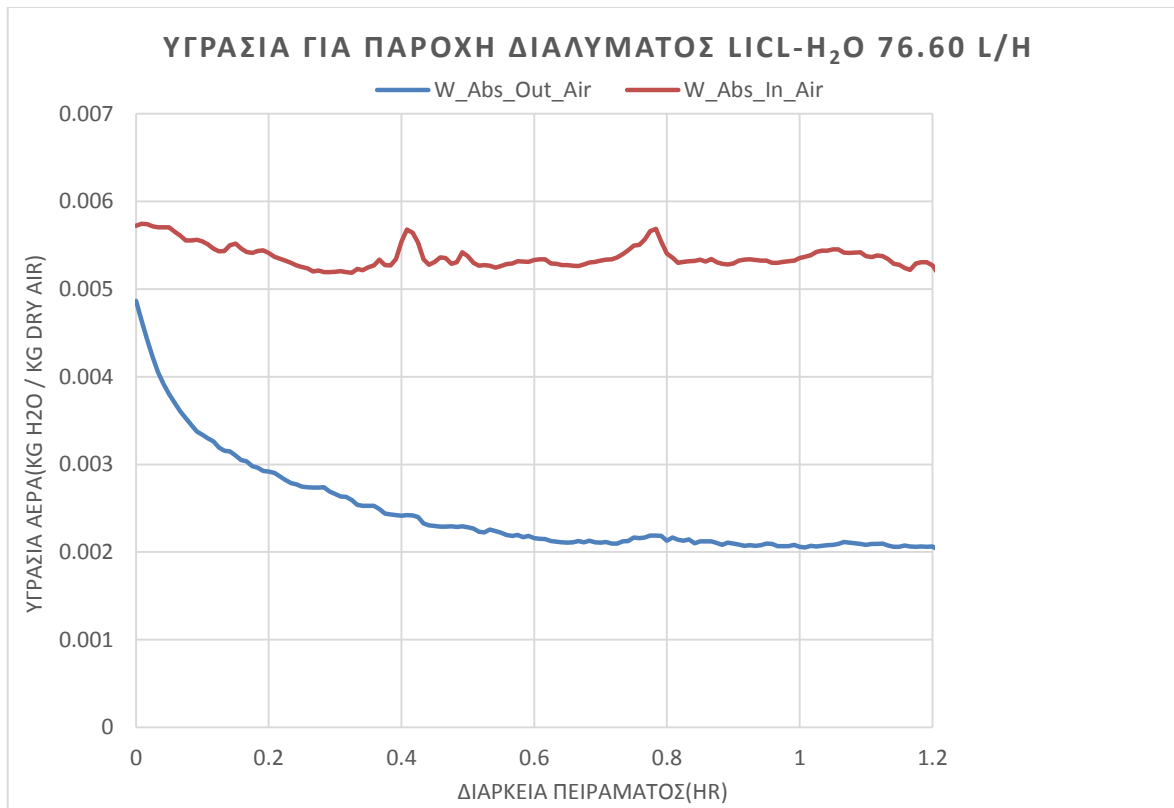


Γράφημα 3.30 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 42.35 L/h

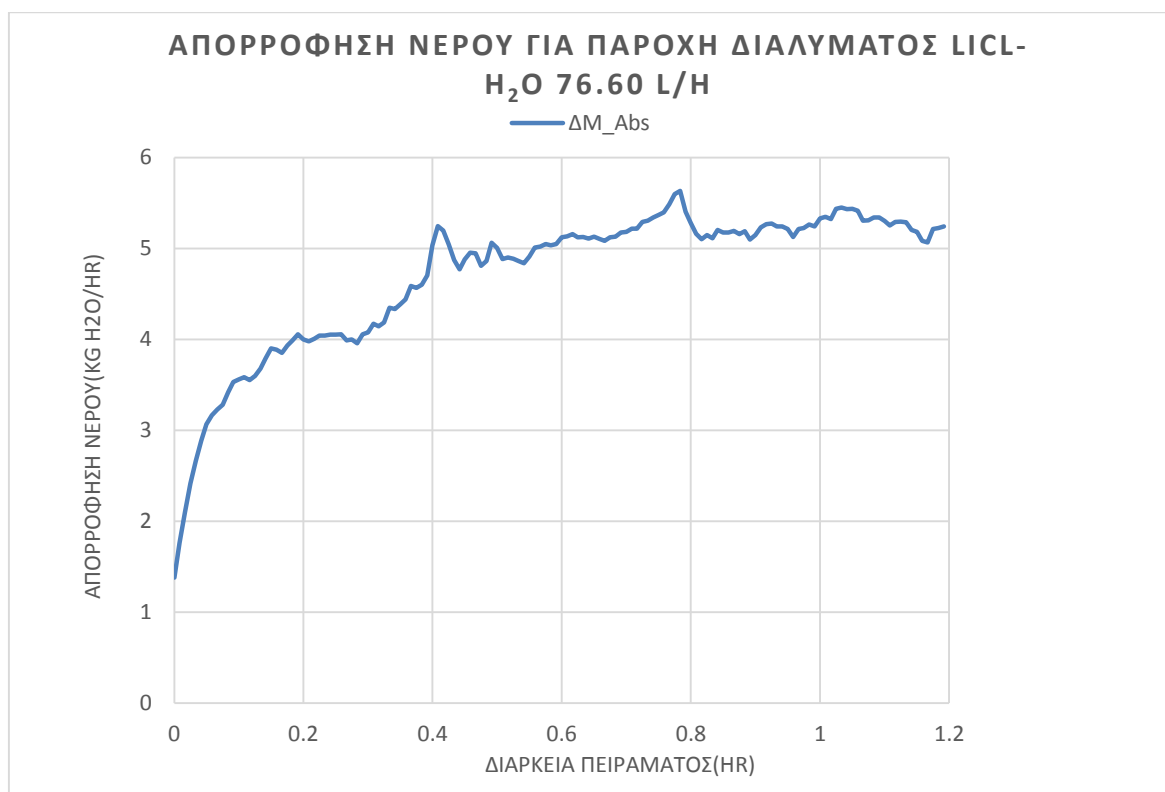
Παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 76.60 L/h



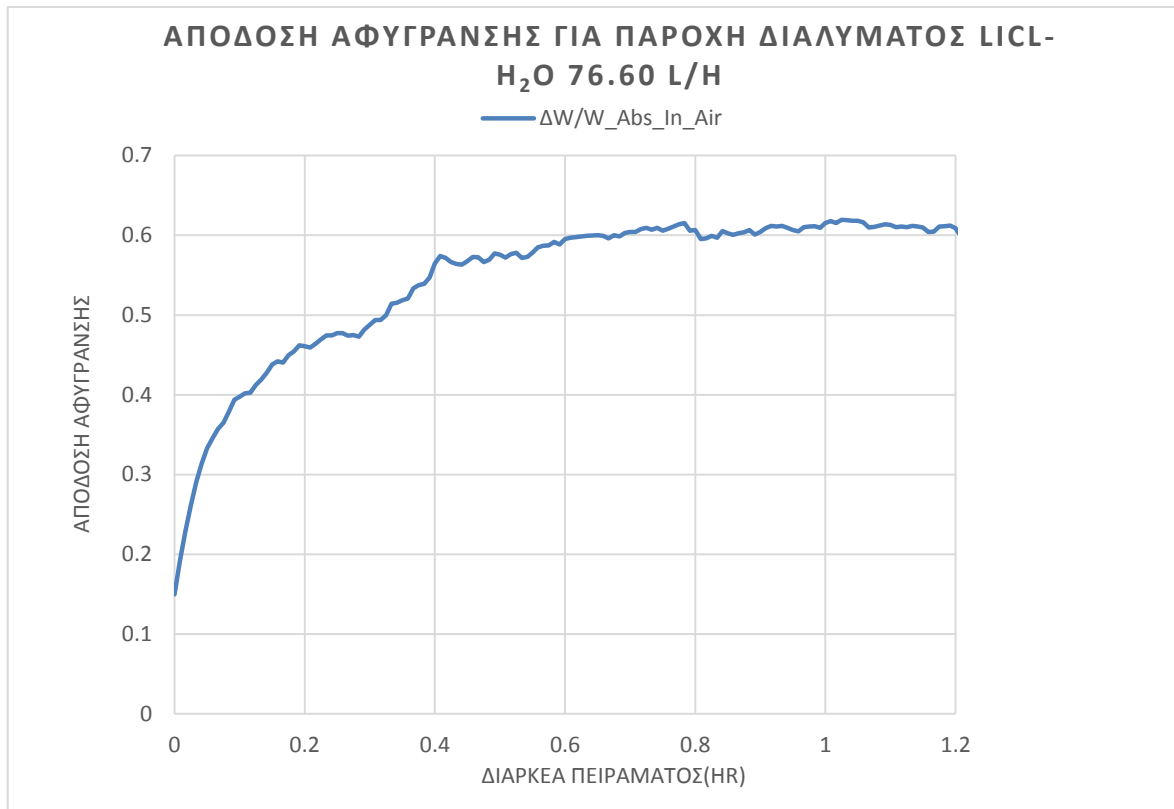
Γράφημα 3.31 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 76.60 L/h



Γράφημα 3.32 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 76.60 L/h

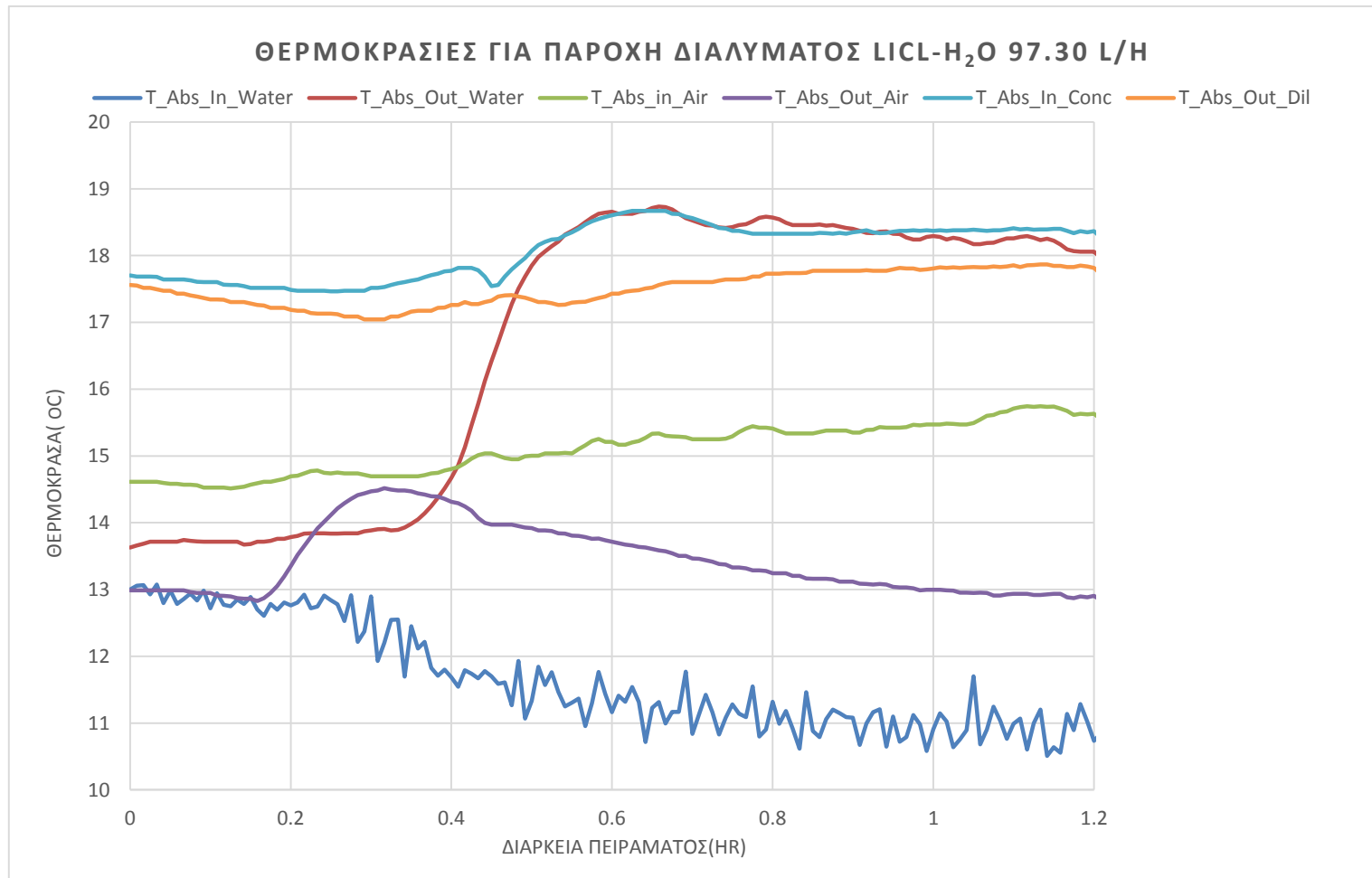


Γράφημα 3.33 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 76.60 L/h

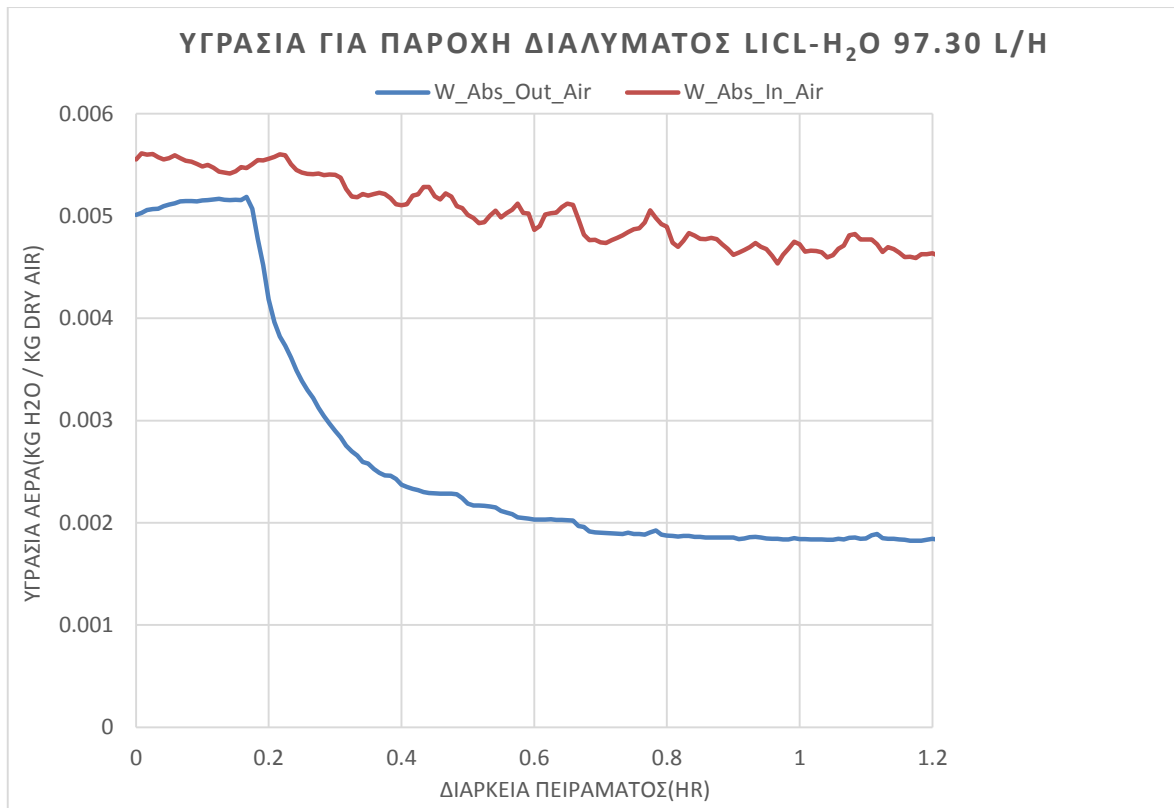


Γράφημα 3.34 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 76.60 L/h

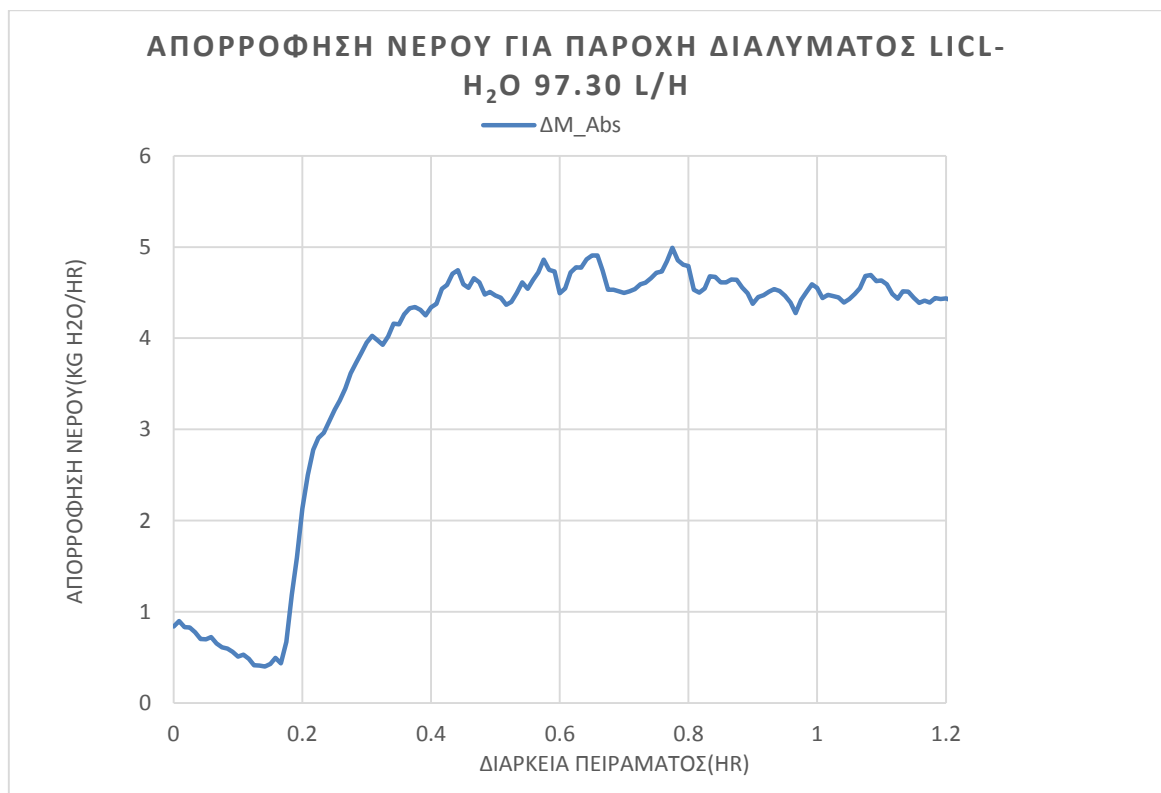
Παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 97.30 L/h



Γράφημα 3.35 Πειραματικά αποτελέσματα θερμοκρασιών για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 97.30 L/h



Γράφημα 3.36 Πειραματικά αποτελέσματα υγρασίας για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 97.30 L/h

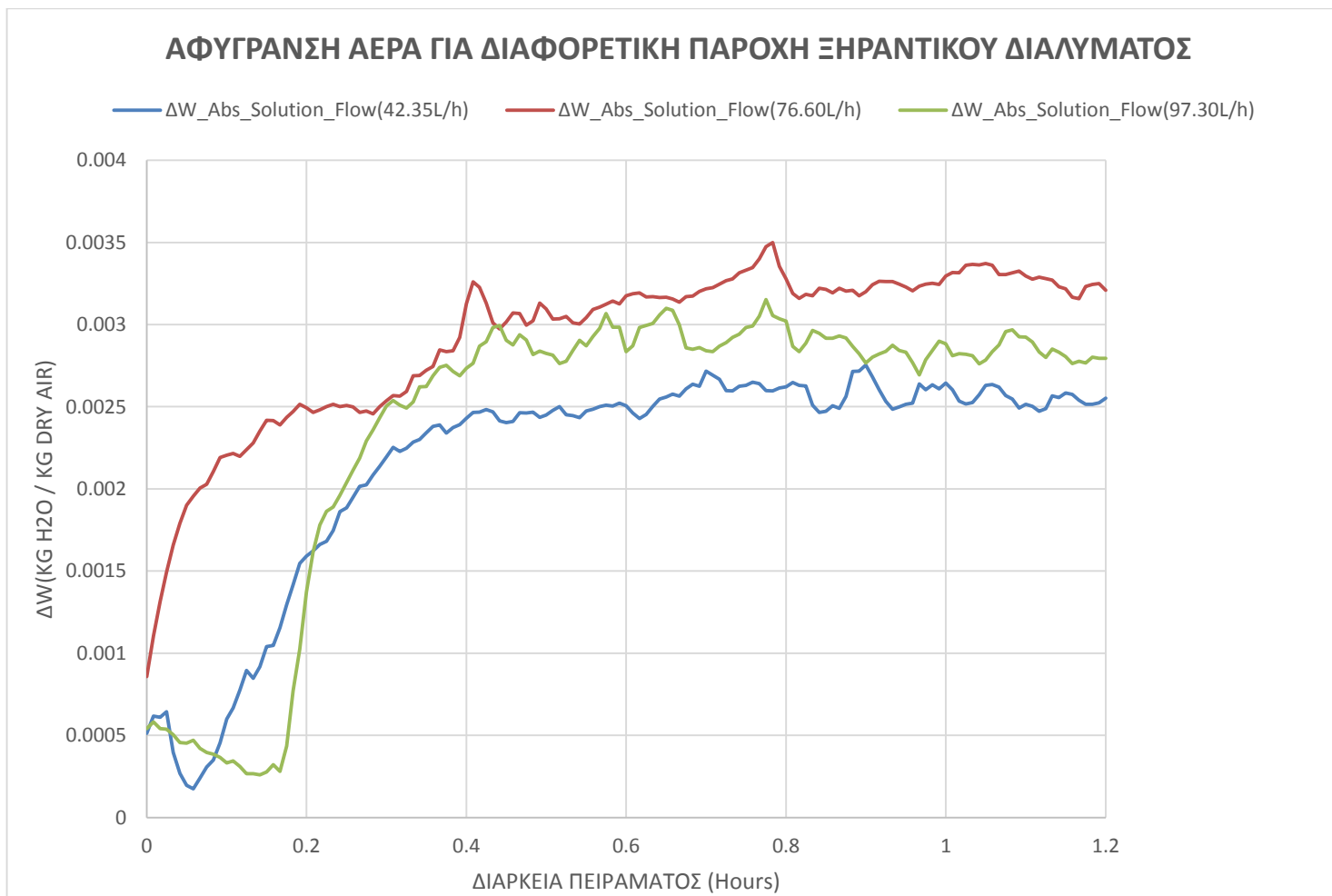


Γράφημα 3.37 Πειραματικά αποτελέσματα απορρόφησης νερού για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 97.30 L/h



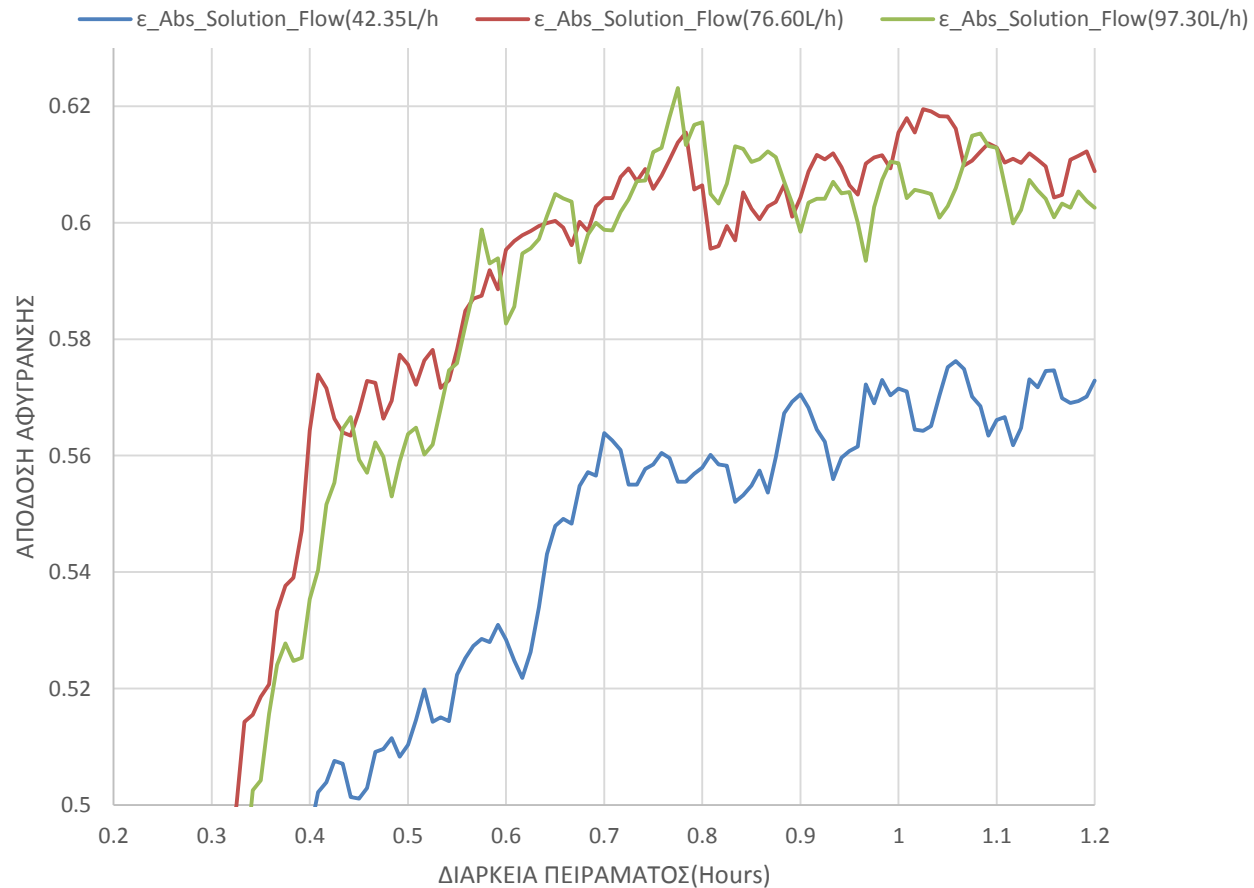
Γράφημα 3.38 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 97.30 L/h

3.3.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για μεταβολή παροχής διαλύματος LiCl-H₂O



Γράφημα 3.39 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης αέρα με διαφορετική παροχή αέρα

ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΞΗΡΑΝΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ



Γράφημα 3.40 Πειραματικά αποτελέσματα απόδοσης αφύγρανσης με διαφορετική παροχή αέρα

Κεφάλαιο 4^ο

Σφάλματα

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διεξαγωγή ενός πειράματος είναι τα σφάλματα. Αυτό συμβαίνει γιατί καμιά φυσική ποσότητα δεν μπορεί να μετρηθεί με απόλυτη ακρίβεια χωρίς να προκύψουν σφάλματα κατά τη μέτρηση. Έχοντας αυτό εις γνώση καταλαβαίνουμε ότι δεν μπορούμε να αποφύγουμε τα σφάλματα έτσι μετά την διεξαγωγή του πειράματος πρέπει να τα υπολογίσουμε και να τα παραθέσουμε μαζί με τις μετρήσεις. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ανάλυση σφάλματος και στηρίζεται στην κατανόηση της ακρίβειας μιας μέτρησης.

4.1 Ακρίβεια μέτρησης

Το πειραματικό σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ του μετρούμενου μεγέθους και της πραγματικής του τιμής. Τα πειραματικά σφάλματα χωρίζονται σε συστηματικά σφάλματα και τυχαία σφάλματα.

4.1.1 Συστηματικά σφάλματα

Συστηματικά σφάλματα είναι σφάλματα τα οποία παρατηρούνται πάντα στη μέτρηση είτε λόγω κακώς βαθμονομημένων οργάνων, λανθασμένης συντήρησης των μετρητικών οργάνων ή και λόγω λανθασμένης ανάγνωσης του μετρητικού οργάνου από το χρήστη. Εφόσον η επανάληψη του πειράματος δεν μπορεί να αφαιρέσει το σφάλμα, η μετρούμενη τιμή θα αποκλίνει πάντα από την πραγματική. Περιορισμός ή και εξάλειψη του συστηματικού σφάλματος μπορεί να επιτευχθεί με βελτίωση της πειραματικής διάταξης, καλύτερη βαθμονόμηση του μετρητικού οργάνου ή και αγορά πιο ακριβούς οργάνου εάν αυτό είναι δυνατό.

4.1.2 Τυχαία σφάλματα

Τα τυχαία σφάλματα είναι οι απρόβλεπτες και τυχαίες διακυμάνσεις που είναι υπεύθυνες για την απόκλιση της μετρούμενης τιμής από την πραγματική. Συνήθεις πηγές τυχαίων σφαλμάτων είναι η δυσκολία υπολογισμού της μέτρησης μεταξύ δύο ενδείξεων στο όργανο αλλά και στην ταχύ μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους κατά την διάρκεια της μέτρησης. Τα τυχαία σφάλματα -εξ' ορισμού- διαφέρουν από τη μια μέτρηση στην άλλη οπότε είναι και δύσκολο να εντοπιστούν. Ο υπολογισμός τους μπορεί να γίνει με στατιστική ανάλυση του μετρούμενου μεγέθους. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να περιοριστεί με βελτίωση της πειραματικής διαδικασίας και επανάληψη του πειράματος [20].

4.2 Διαδικασία υπολογισμού σφαλμάτων πειράματος

Υπολογισμός του σφάλματος της διαφοράς υγρασίας στον αέρα κατά την είσοδο του στον αφυγρανήρα και κατά την έξοδο του [21].

$$\Delta W = W_{Abs_in_air} - W_{Abs_out_air}$$

$$\varepsilon^2_{\Delta W} = \left(\frac{\partial \Delta W}{\partial W_{out}} \right)^2 \cdot \varepsilon^2_{ολ.out} + \left(\frac{\partial \Delta W}{\partial W_{in}} \right)^2 \cdot \varepsilon^2_{ολ.in}$$

$$\frac{\partial \Delta W}{\partial W_{out}} = -1 \quad \frac{\partial \Delta W}{\partial W_{in}} = 1$$

$$\varepsilon_{ολT} = \sqrt{\left(3\sigma_{μεγ.τυχ.T} \right)^2 + \left(\sigma_{συστ.T} \right)^2}$$

$$\sigma_{συστ.T} = \pm(0.3 + 0.005 \cdot T)$$

$$\sigma_{μεγ.τυχ.T} = 3\sigma_{τυχT}$$

$\sigma_{τυχT}$ → Τυπική απόκλιση της Θερμοκρασίας

$$\varepsilon_{ολRH} = \sqrt{\left(3\sigma_{μεγ.τυχ.RH} \right)^2 + \left(\sigma_{συστ.RH} \right)^2}$$

$$\sigma_{συστ.υγρ.} = \gamma_{υγρ.} \cdot RH \quad \text{για } 15-25^\circ\text{C} \text{ έχω } \gamma_{υγρ.} = 102\%$$

$$\text{αν } T < 15^\circ\text{C} \text{ ή } T > 25^\circ\text{C} \text{ έχω } \gamma_{υγρ.} = 102.04\%$$

$$\sigma_{μεγ.τυχ.RH} = 3\sigma_{τυχRH}$$

$\sigma_{τυχRH}$ → Τυπική απόκλιση της σχετικής υγρασίας

$$P_{ws} = \exp \left[\begin{array}{l} (-5.8002206 \cdot 10^3 \cdot T^{-1}) + (1.3914993) + (-4.8640239 \cdot T) + \\ (4.1764768 \cdot 10^{-5} \cdot T^2) + (-1.4452093 \cdot 10^{-8} \cdot T^3) + \\ (6.5459673 \cdot \ln(T)) \end{array} \right] \rightarrow [P_a]$$

$$\varepsilon_{\text{ολ}, P_{ws}}^2 = \left(\frac{\partial P_{ws}}{\partial T} \right)^2 \cdot \varepsilon_{\text{ολ}, T}^2, \quad \varepsilon_{\text{ολ}, T}^2 \rightarrow \text{Τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας}$$

$$\frac{\partial P_{ws}}{\partial T} = P_{ws} \cdot [(5.8002206 \cdot 10^3 \cdot T^{-2}) + (-4.8640239) + (2 \cdot 4.1764768 \cdot 10^{-5} \cdot T) + (-3 \cdot 1.4452093 \cdot 10^{-8} \cdot T^2) + (6.5459673 \cdot T^{-1})]$$

όπου T είναι η μέση θερμοκρασία από τα δείγματα των πειραματικών μετρήσεων

$$C_{P_W}^2 = C_{RH}^2 + C_{P_{WS}}^2$$

$$C_{RH} = \frac{\varepsilon_{\text{ολ}, RH}}{RH}, \quad \overline{RH} \rightarrow \text{Μέση σχετική υγρασία αέρα}$$

$$C_{P_{WS}} = \frac{\varepsilon_{\text{ολ}, P_{ws}}}{P_{ws}}, \quad P_{WS} \rightarrow \text{Πίεσης υδρατμού για μέση θερμοκρασία αέρα}$$

$$W = \frac{0.622 \cdot P_w}{P_a} = \frac{0.622 \cdot P_w}{1.013 \cdot 10^5 - P_w} \rightarrow [\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg dry air}]$$

$$C_W^2 = C_{0.622}^2 + C_{P_w}^2 + C_{(1.013 \cdot 10^5 - P_w)}^2 = C_{P_w}^2 + C_{P_w}^2 = 2C_{P_w}^2$$

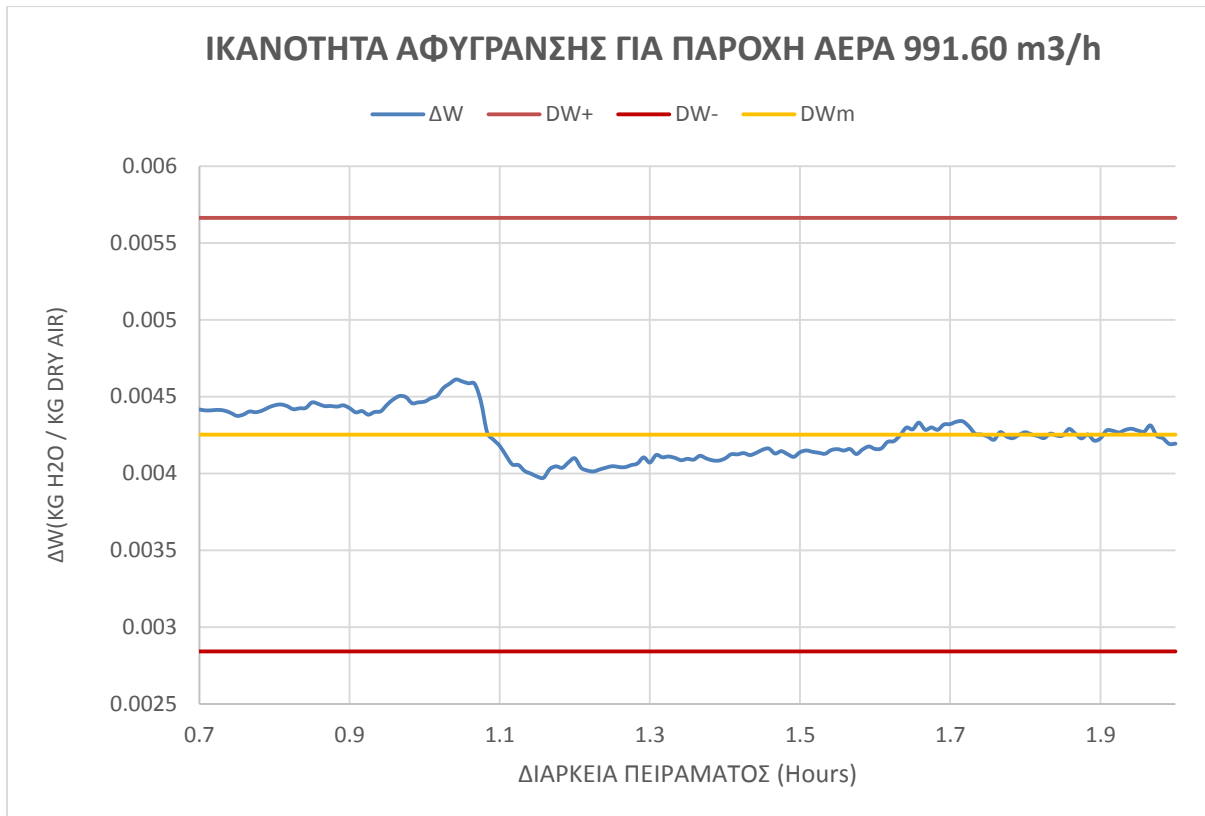
$$C_W = \sqrt{2} C_{P_w}$$

$$\varepsilon_{\text{ολ}, W} = C_W \cdot \overline{W}, \quad \overline{W} \rightarrow \text{Μέση υγρασία αέρα}$$

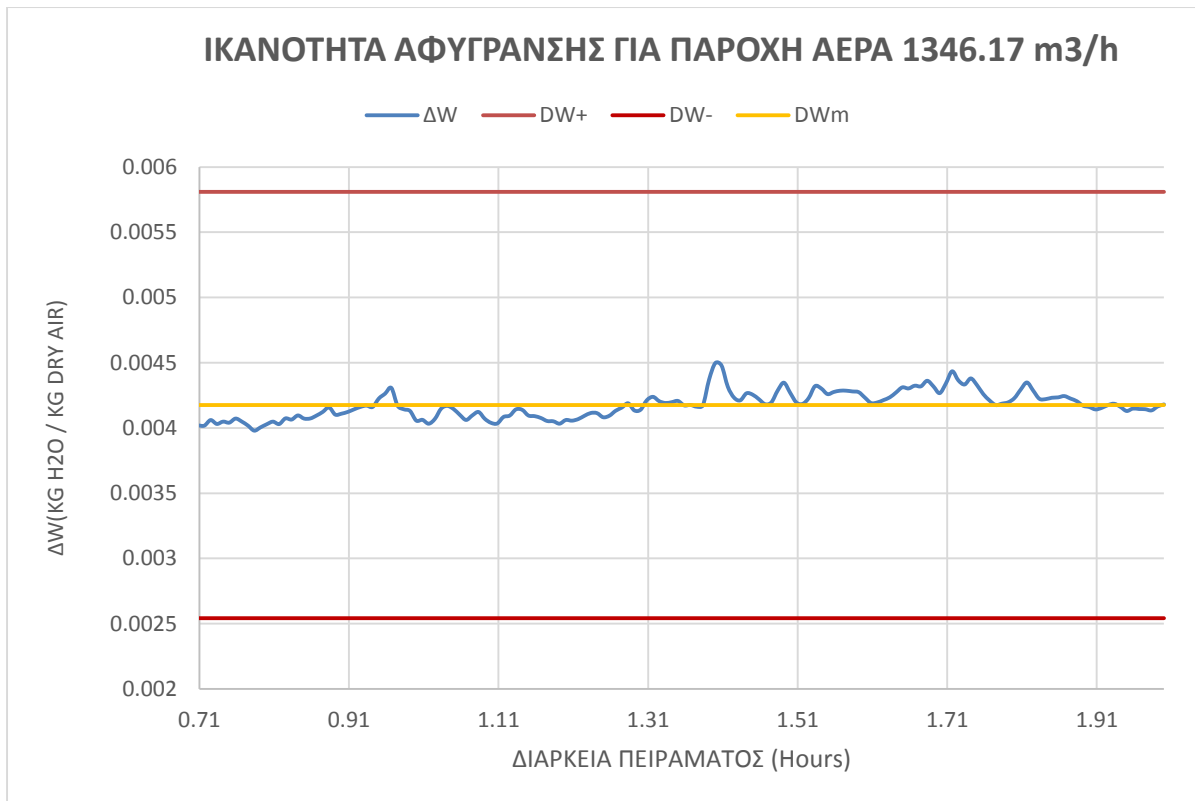
$$\Delta W = 2\varepsilon_{\text{ολ}, W}$$

4.3 Αποτελέσματα σφαλμάτων

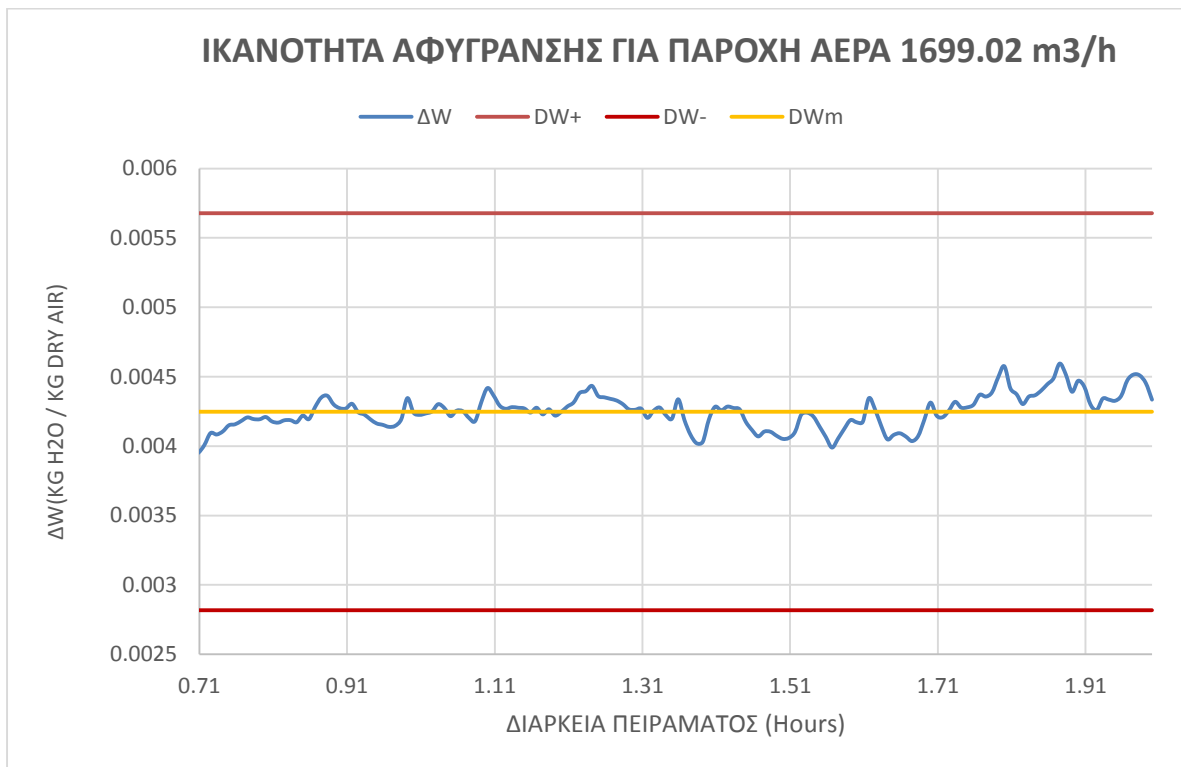
Τα τελικά αποτελέσματα των πιο πάνω υπολογισμών σφάλματος για την μέτρηση της διαφοράς υγρασίας του αέρα πριν και μετά την είσοδο στον αφυγραντήρα παρουσιάζονται πιο κάτω. Οι κόκκινες γραμμές είναι το συνολικό σφάλμα της μέτρησης της διαφοράς υγρασίας και η πορτοκαλί γραμμή ο μέσος όρος της ικανότητας αφύγρανσης.



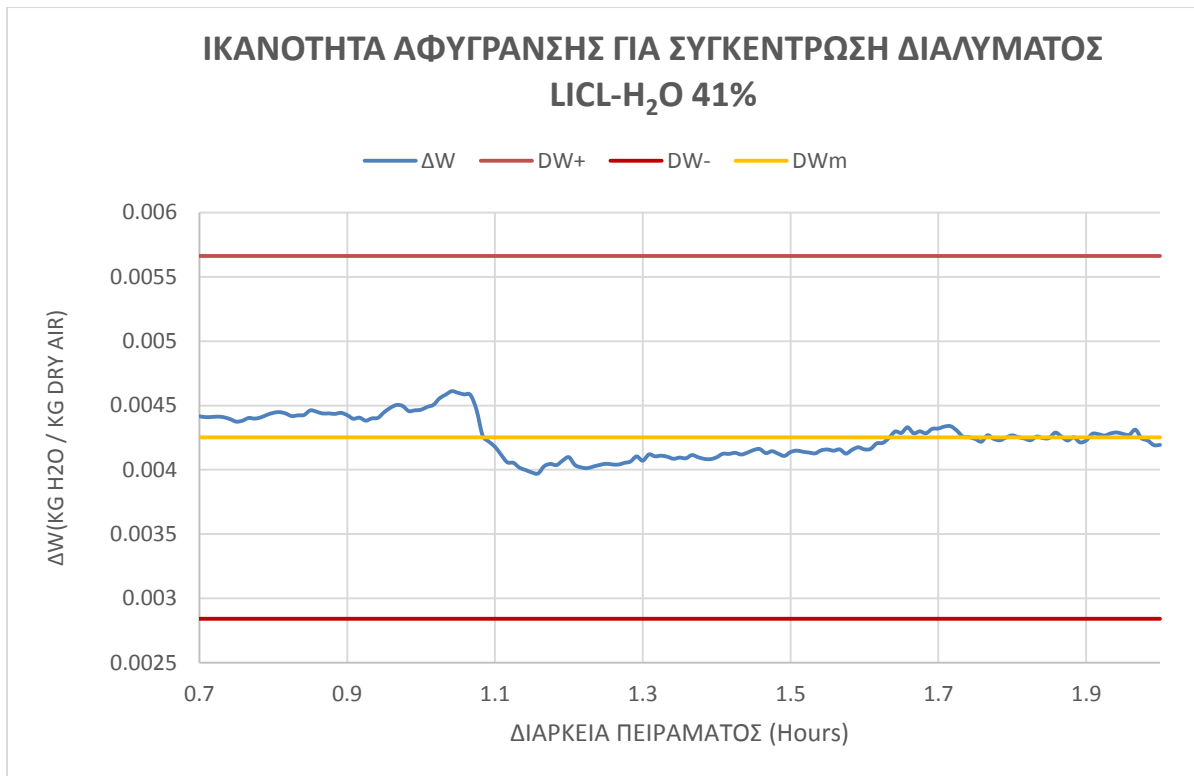
Γράφημα 4.1 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για παροχή αέρα 991.60 m³/h



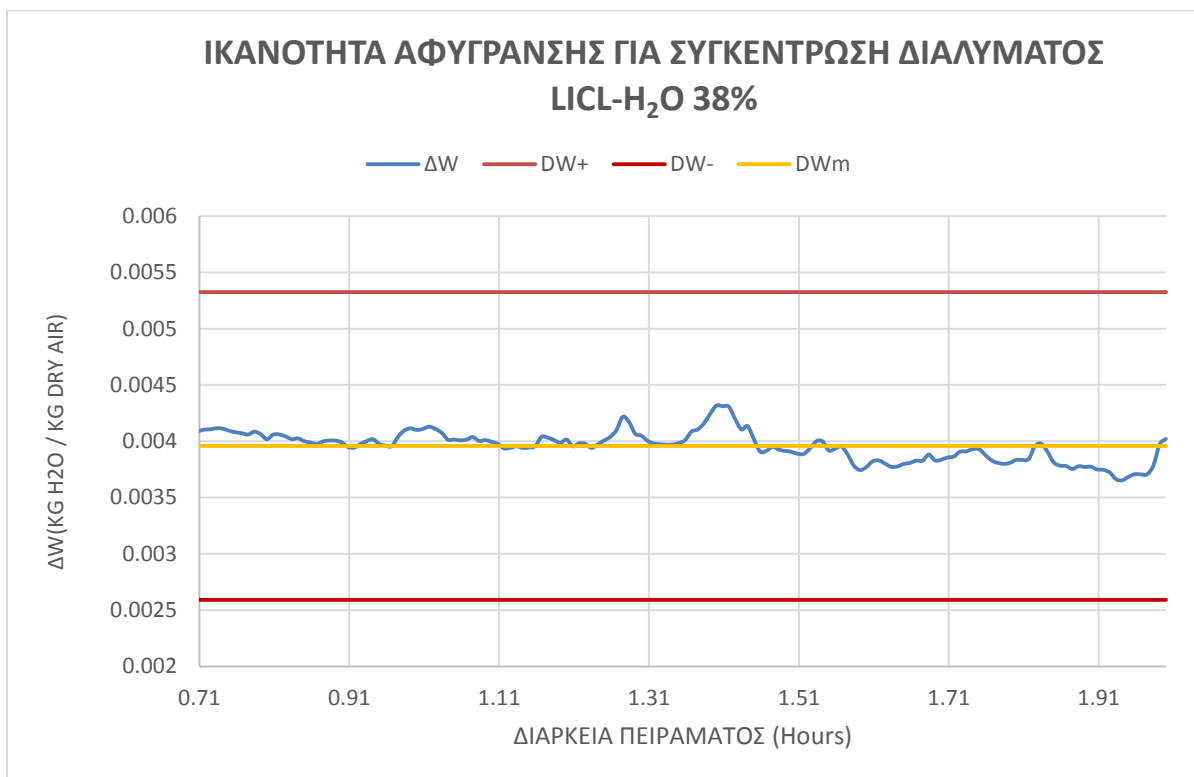
Γράφημα 4.2 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για παροχή αέρα 1346.17 m³/h



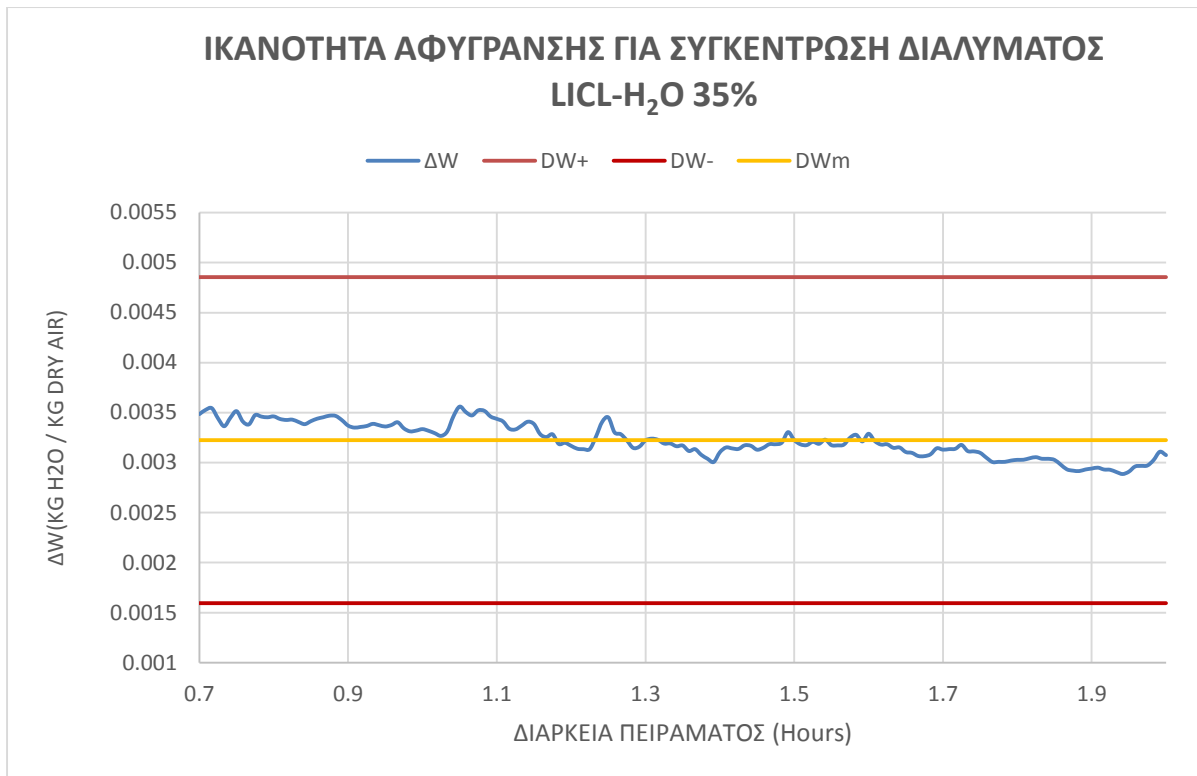
Γράφημα 4.3 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για παροχή αέρα 1699.02 m³/h



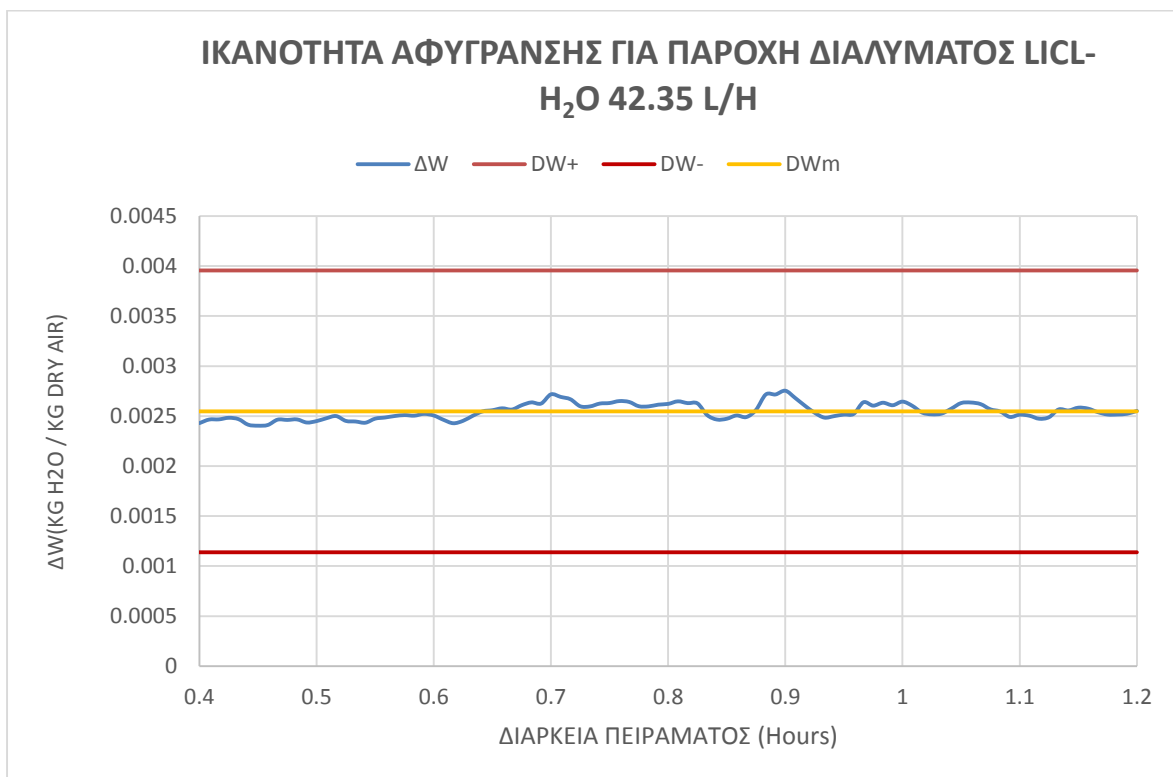
Γράφημα 4.4 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 41%



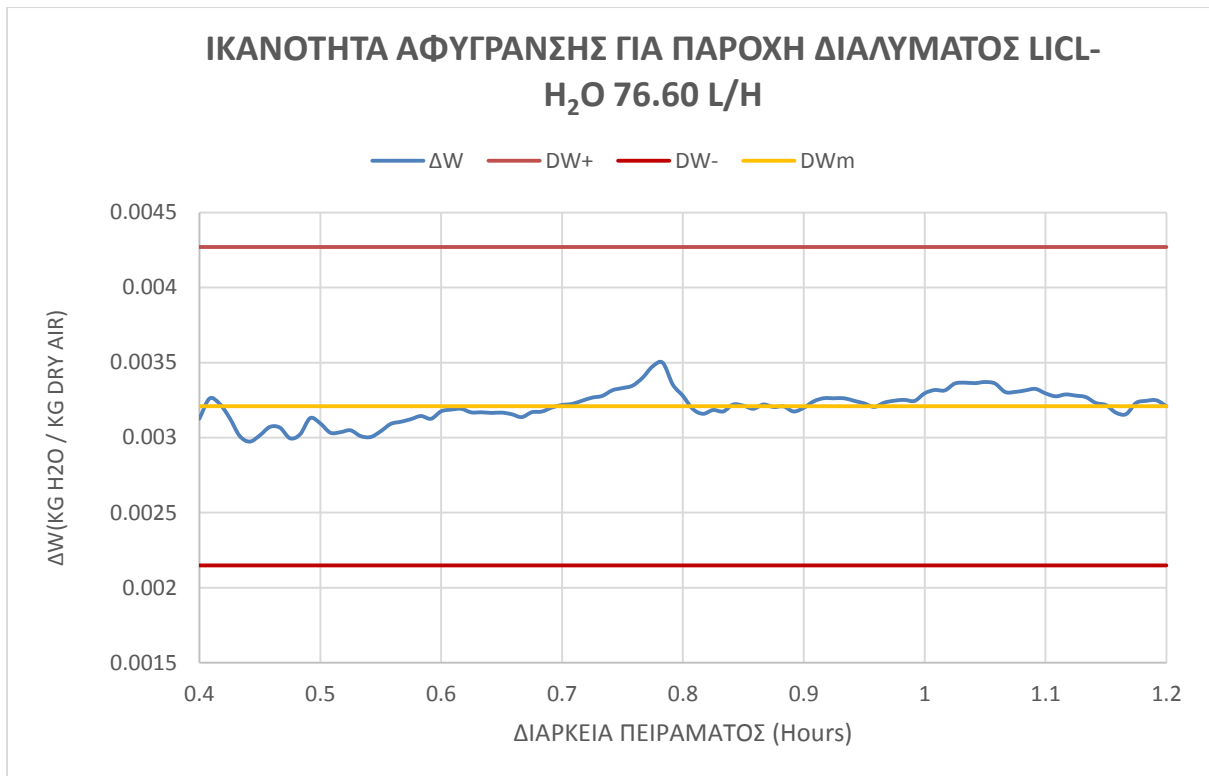
Γράφημα 4.5 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 38%



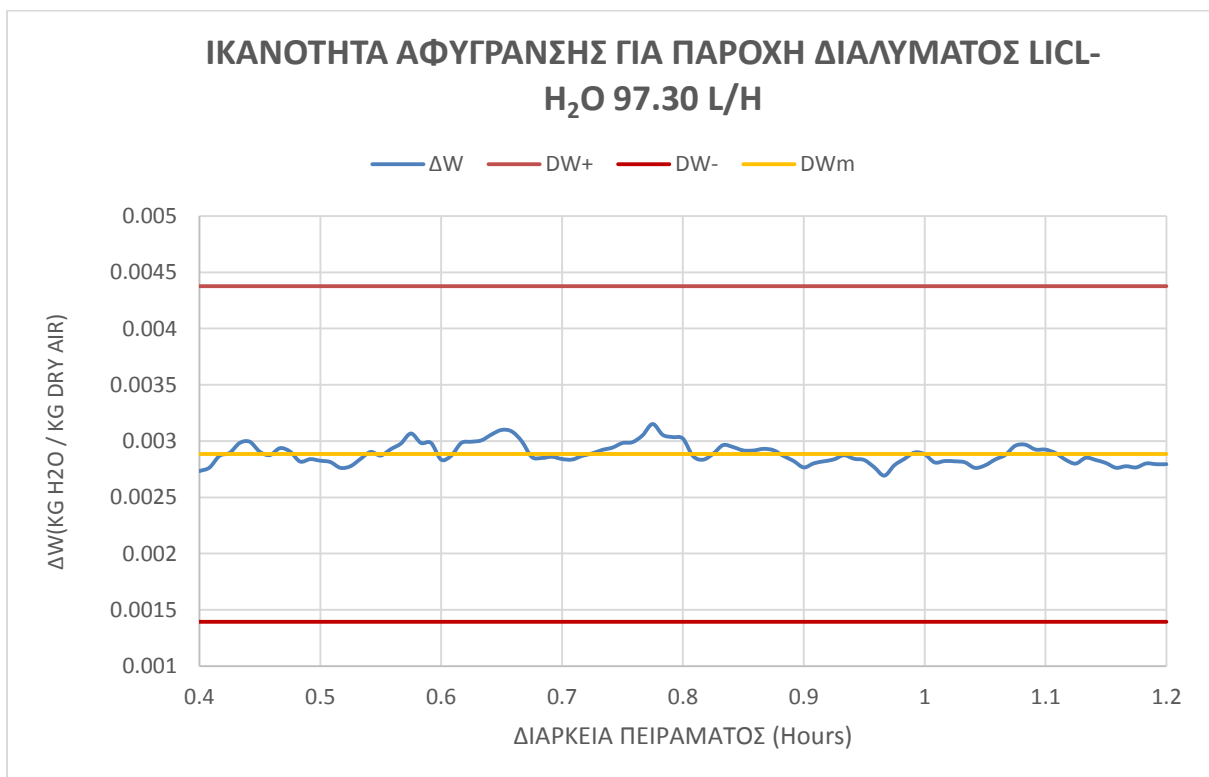
Γράφημα 4.6 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για συγκέντρωση διαλύματος LiCl-H₂O 35%



Γράφημα 4.7 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 42.35 L/h



Γράφημα 4.8 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 76.60 L/h



Γράφημα 4.9 Πειραματικά αποτελέσματα αφύγρανσης, σφάλμα και μέση τιμή για παροχή διαλύματος LiCl-H₂O 97.30 L/h

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε πειραματικά η διάταξη συστήματος υγρού ξηραντικού στοιχείου, εσωτερικά ψυγμένου, αντίθετης ροής που είναι εγκατεστημένη στο εργαστήριο του Τομέα Θερμότητας. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η μεταβολή του ρυθμού αφύγρανσης σε σχέση με τη μεταβολή της παροχής εισόδου του αέρα καθώς και της παροχής και συγκέντρωσης του υγρού ξηραντικού διαλύματος. Με τη μελέτη των διαγραμμάτων του Κεφαλαίου 3 γίνεται δυνατή η κατανόηση της συμπεριφοράς του αφυγραντήρα υγρού στοιχείου και εξάγονται συμπεράσματα για την απόδοση του.

Αρχικά, στην εγκατάσταση μπορεί να παρατηρηθεί ότι γίνεται η ανάμιξη του αέρα εισόδου με τον αφυγραμένο αέρα μέσα στον αφυγραντήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη λανθασμένης ένδειξης της σχετικής υγρασίας του αέρα εισόδου: Η ενθαλπία λαμβάνει χαμηλότερη τιμή και κατά συνέπεια ο συντελεστής συμπεριφοράς όπως και η μεταβολή της αφύγρανσης του αέρα της εγκατάστασης, προκύπτουν χαμηλότερα.

Λόγω του πιο πάνω σφάλματος, οι ακριβείς τιμές των μετρούμενων μεγεθών που εξετάστηκαν δεν ήταν δυνατό να εξαχθούν σε όλα τα σενάρια. Παρ' όλα αυτά, τα προφίλ των γραφικών παραστάσεων (Κεφάλαιο 3) έρχονται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία: Μείωση του ρυθμού αφύγρανσης με τη μείωση της συγκέντρωσης του υγρού ξηραντικού διαλύματος και μείωση του ρυθμού αφύγρανσης με αύξηση της παροχής αέρα.

Στην περίπτωση της μεταβολής της παροχής του υγρού ξηραντικού διαλύματος μπορεί να παρατηρηθεί ότι η μεσαία με την ελάχιστη παροχή έρχονται σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία, αφού ο ρυθμός αφύγρανσης αυξάνεται όσο αυξάνεται η παροχή. Εντούτοις, στη μέγιστη αναμενόμενη τιμή της παροχής βλέπουμε ότι έχουμε τον ίδιο βαθμό αφύγρανσης με τη μεσαία παροχή.

Βελτίωση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας, θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη μεταφορά του μετρητικού οργάνου υγρασίας έξω από τον αφυγραντήρα. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα μια πιο σωστή μέτρηση της σχετικής υγρασίας. Επιπρόσθετα, καλύτερα αποτελέσματα θα μπορούσαν να επιτευχθούν με τη διεξαγωγή των πειραμάτων κατά την καλοκαιρινή περίοδο όπου οι συνθήκες περιβάλλοντος μεταβάλλονται ελάχιστα από μέρα σε μέρα. Τέλος, θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί η συμπεριφορά του συστήματος με μεγαλύτερο αριθμό πειραμάτων σε μεγαλύτερες κλίμακες μεγεθών που επηρεάζουν τον αφυγραντήρα έτσι ώστε τα συμπεράσματα να είναι πληρέστερα.

Βιβλιογραφία

- [1] Public, [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Air_conditioning.
- [2] Public, "Wikipedia," [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Refrigerant>.
- [3] L. Yutong, «Study on Solar Liquid Desiccant Dehumidification and Regeneration for Central Air-Conditioning Applications,» 2008.
- [4] D. Y. G. V Oberg, "A review of liquid desiccant cooling," vol. 12, 1998.
- [5] P. Viktoria Martin, «Effectiveness of heat and mass transfer process in a packed bed liquid desiccant dehumidifier/regenerator,» *HVAC&R Research*, τόμ. 6, αρ. 1, 2000.
- [6] A. Lowenstein, "Review of Liquid Desiccant Technology for HVAC Applications," *HVAC&R Research*, vol. 14, no. 6, 2008.
- [7] C. L. Z. Anmin Wu, "The Primary Research on Liquid Desiccant Dehumidifier With Cooling Capacity Using Compression Heat Pump System," 2006.
- [8] S. Alizabeth, "A Feasibility Study of Using Solar Liquid-Desiccant Air Conditioner in Queensland, Australia," *ASME*, 2008.
- [9] K. A. A.M. Ahmed, "Experimental study of heat and mass transfer of Solar Powered liquid desiccant regeneration system," *Annual Conference of Postgraduate Studies and Scientific Research*, vol. 1, pp. 299-304, 2012.
- [10] R. C. V. P. E. R. I.P. Koronaki, "Προκαταρκτική έρευνα συστήματος υγρού στοιχείου για αφύγρανση και ψύξη στην Αθήνα," *ASME*, 2013.
- [11] [Online]. Available: <http://www.endress.com/corporate#product/PMC131>.
- [12] Public. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Ball_valve.
- [13] Kimo, [Online]. Available:
<http://www.instrumentation2000.com/kimotemperatureandhumiditytransmitter.aspx>.
- [14] Public. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Relief_valve.
- [15] Public. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Relay>.

- [16] [Online]. Available: http://www.caem-therm.it/en/prodotti/8_Electric+thermostat+single+pole%3Amodel+TU.10+B+16+A+-+250+V.
- [17] Public. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_osmosis.
- [18] Κ. Α. Αντωνόπουλος, "Κλιματισμός," 2008.
- [19] Σ. Χατζηδάκης, "Ψύξη," 2003.
- [20] Illinois State University, [Online]. Available: <http://www.phyilstu.edu/slh/Errors.pdf>.
- [21] Σ. Σιμόπουλος, Μετρήσεις τεχνικών μεγεθών, Αθήνα, 1989.