

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ - ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΚΙΤΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟΥ ΤΥΠΟΥ ASSMAN

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ:
ΜΑΛΕΤΣΙΚΑ ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ

ΠΤ - ΦΠΑΠ
2002
ΜΑΛ

ΒΟΛΟΣ 2002



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 65/1
Ημερ. Εισ.: 01-09-2003
Δωρεά:
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2002
ΜΑΛ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070123

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟΥ ΤΥΠΟΥ ASSMAN

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΜΑΛΕΤΣΙΚΑ ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΙΤΤΑΣ - ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΑΛΕΖΙΟΣ - ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΘΕΟΦΑΝΗΣ ΓΕΜΤΟΣ - ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΒΟΛΟΣ 2002

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες στη χώρα μας βρίσκονται σε συνεχή ανάπτυξη. Η σπουδαιότητα των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων έγκειται στη δυνατότητα τροποποίησης ή ρύθμισης πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Η ακρίβεια με την οποία ρυθμίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών στο θερμοκήπιο προσδιορίζεται από τη σωστή κατασκευή, τον κατάλληλο εξοπλισμό και την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να κατανείμει τα διάφορα εφόδια.

Στην παρούσα διατριβή δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον εξοπλισμό του θερμοκηπίου και πιο συγκεκριμένα στη σπουδαιότητα των οργάνων μέτρησης των παραγόντων που επιδρούν στο κλίμα του θερμοκηπίου.

Με βάση τα παραπάνω στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα ψυχρόμετρο τύπου ASSMAN. Στη συνέχεια έγινε η βαθμονόμησή του, καθώς και η σύνταξη του απαραίτητου λογισμικού για τη λήψη και επεξεργασία των μετρήσεων. Επιπλέον έγινε ο υπολογισμός των σφαλμάτων του για να αποδειχθεί η ακρίβεια του.

Το ψυχρόμετρο είναι αεριζόμενο και κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο χώρο του θερμοκηπίου. Προκειμένου να εξακριβωθεί η απόδοση του έγιναν μετρήσεις υγρασίας σε πραγματικές συνθήκες θερμοκηπίου.

Τα αποτελέσματα τόσο από τη βαθμονόμηση όσο και από τον υπολογισμό των σφαλμάτων ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά, ενώ από τη λήψη μετρήσεων σε πραγματικές συνθήκες αποδείχθηκε ότι απαιτείται μια κατασκευαστική βελτίωση προκειμένου το ψυχρόμετρο να είναι ένα εργαλείο αξιόπιστο για μετρήσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	I
Περιεχόμενα	II
Ευχαριστίες	1
Κεφάλαιο 1^ο	
Εισαγωγή	2
1.1 Το θερμοκήπιο και η χρησιμότητά του	2
1.2 Το περιβάλλον του θερμοκηπίου	3
1.3 Ο ρόλος των οργάνων μέτρησης στην έρευνα των παραγόντων που αποτελούν το κλίμα του θερμοκηπίου	14
1.4 Υγροστάτες και θερμοστάτες	17
Κεφάλαιο 2^ο	
Ψυχομετρικά χαρακτηριστικά	18
2.1 Γενικά	18
2.2 Περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία	18
2.3 Ψυχομετρικό διάγραμμα	22
Κεφάλαιο 3^ο	
Μέτρηση υγρασίας	24
3.1 Μέθοδοι βαθμονόμησης	24
3.2 Επιλογή αισθητήρων	24
3.3 Λειτουργία ψυχρόμετρου	28
3.4 Μέτρηση θερμοκρασίας ξηρού και υγρού θερμομέτρου	33
Κεφάλαιο 4^ο	
Κατασκευή και Βαθμονόμηση ψυχρόμετρου τύπου ASSMAN	34

Κεφάλαιο 5°

Υλικά και Μέθοδοι	36
5.1 Κατασκευή και λειτουργία ψυχρόμετρου	36
5.1.1 Υλικά	36
5.1.2 Αεριζόμενο ψυχρόμετρο της Delta-T Devices	42
5.2 Μέθοδος βαθμονόμησης ψυχομέτρου	48
5.3 Ανάλυση σφαλμάτων θερμοκρασίας	57
5.4 Μετρήσεις σε συνθήκες θερμοκηπίου	58

Κεφάλαιο 6°

Αποτελέσματα	61
6.1 Βαθμονόμηση στο εργαστήριο	61
6.2 Υπολογισμός σφαλμάτων μετρήσεων θερμοκρασίας	66
6.2.1 Σφάλμα οφειλόμενο στο ψυχρόμετρο της Delta-T Devices	66
6.2.2 Σφάλμα οφειλόμενο στη βαθμονόμηση των Thermistor	66
6.3 Μετρήσεις στο θερμοκήπιο	68
6.3.1 Συσχέτιση θερμοκρασιών αισθητήρων ξηρού βολβού	68
6.3.2 Συσχέτιση θερμοκρασιών αισθητήρων υγρού βολβού	73

Κεφάλαιο 7°

Συμπεράσματα - Προοπτικές	78
---------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	80
---------------------	-----------

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Κωνσταντίνο Κίττα Καθηγητή της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο καθώς και για την καθοδήγηση και την επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Θεοφάνη Γέμτο Αναπληρωτή Καθηγητή Γεωργικής Μηχανολογίας της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Νικόλαο Δαλέζιο Καθηγητή Αγρομετεωρολογίας της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ επίσης τους Δρ. Παναγιώτη Γιαγλάρα, Μεταπτυχιακό Φοιτητή Dany Elobeid, Δρ. Νικόλαο Κατσούλα, Υποψήφιο Διδάκτορα Χρήστο Λύκα, Υποψήφιο Διδάκτορα Θωμά Μπαρτζάνα, κ. Χριστίνα Παπαϊωάννου Καθηγήτρια στα ΤΕΙ Λάρισας, και τον Υποψήφιο Διδάκτορα Δημήτρη Χριστάλη, για τη βοήθειά τους στην εκπόνηση του πειραματικού μέρους και τη διαμόρφωση της διατριβής, καθώς και για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχαν καθόλη τη διάρκεια.

Σημαντική ήταν επίσης και η συμπαράσταση όλων των συνεργατών του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος και ιδιαίτερα των Μεταπτυχιακών φοιτητών Γιώργο Δημόκα και Σπύρο Κάβουρα, τους οποίους και ευχαριστώ.

Ευχαριστώ επίσης τους γονείς μου για την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών και ιδιαίτερα των πατέρα μου για τη δική του συμβολή στην εκπόνηση της διατριβής.

1 Εισαγωγή

1.1 Το θερμοκήπιο και η χρησιμότητά του

Το θερμοκήπιο είναι μία κατασκευή η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού, που είναι απαραίτητος στην ανάπτυξη των φυτών.

Ο σκοπός της χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η τροποποίηση ή ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Με την καλύτερη ρύθμιση του περιβάλλοντος των φυτών η παραγωγή μπορεί:

1. Να αυξηθεί ποσοτικά, λόγω βελτίωσης των συνθηκών του περιβάλλοντος.
2. Να προγραμματισθεί χρονικά, ώστε να σταλεί στην αγορά σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν.
3. Να βελτιωθεί ποιοτικά, με την προστασία που προσφέρει το θερμοκήπιο από αντίξοα καιρικά φαινόμενα.

Με το θερμοκήπιο ειδικότερα:

1. Αποφεύγονται ζημιές από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι.
2. Ανάλογα με τον εξοπλισμό τους παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών, όπως: της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, με αρκετή ακρίβεια.
3. Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών όπως: της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμοκρασίας και των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών

καλλιεργειών, μπορούν να φτάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.

4. Μειώνονται, αλλά οπωσδήποτε δεν εξαλείφονται οι ζημιές από ασθένειες και έντομα. Ειδικότερα σε ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης του περιβάλλοντος, οι ασθένειες των φυτών είναι πάρα πολύ λιγότερες απ' ότι σε ένα θερμοκήπιο που ο εξοπλισμός δεν παρέχει τέτοια δυνατότητα.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το θερμοκήπιο παρέχει τη δυνατότητα για τη δημιουργία και τη διατήρηση ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών. Η ακρίβεια όμως με την οποία ρυθμίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών στο θερμοκήπιο, προσδιορίζεται από:

1. Τη σωστή κατασκευή
2. Τον κατάλληλο εξοπλισμό
3. Την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να καταναείμει τα διάφορα εφόδια.

1.2 Το περιβάλλον του θερμοκηπίου

Η ανάπτυξη και παραγωγή ενός φυτού εξαρτώνται από το γενότυπό του, δηλαδή το είδος και την ποικιλία ή το υβρίδιο, καθώς και από το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα αναπτυχθεί.

Το περιβάλλον του θερμοκηπίου συνιστούν όλα τα φυσικά μεγέθη του θερμοκηπίου που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών.

Για ένα συγκεκριμένο γενότυπο υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει στους χαρακτήρες του φυτού που προσδιορίζονται από το γενότυπό, να αναπτυχθούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό. Οπωσδήποτε, η ανάπτυξη των χαρακτήρων του φυτού θα πρέπει να είναι προς την επιθυμητή κατεύθυνση, γι' αυτό το βέλτιστο περιβάλλον διαφέρει ανάλογα με το σκοπό της καλλιέργειας. Αν με την καλλιέργεια επιδιώκεται η παραγωγή καλλωπιστικών φυτών γλάστρας, τότε το βέλτιστο περιβάλλον αποσκοπεί στη

μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης της κόμης και την καλή ποιότητα της (εμφάνιση), αν επιδιώκεται η παραγωγή καρπών τότε αποσκοπεί στο μέγιστο της παραγωγής καρπών, (ποιοτικά και ποσοτικά), και σε όλες τις περιπτώσεις με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Οι παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν καθοριστικά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στο θερμοκήπιο, μπορεί να χωριστούν σε δυο ομάδες:

1. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται κυρίως στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα και οι μικροοργανισμοί.
2. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμοκρασία της ρίζας, η υγρασία, το οξυγόνο και τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία.

Το περιβάλλον της κόμης επηρεάζεται από το χώρο του θερμοκηπίου, ενώ αυτό της ρίζας από το έδαφος του θερμοκηπίου, τα υποστρώματα καλλιέργειας, ή τα συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών που τυχόν χρησιμοποιούνται.

Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί η ρύθμιση καθενός από τους παράγοντες του περιβάλλοντος σ' ένα συγκεκριμένο άριστο σημείο, αλλά απαιτείται η ρύθμιση καθενός σε συνδυασμό με το επίπεδο όλων των άλλων παραγόντων. Έτσι στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της κόμης κατά τη διάρκεια της ημέρας θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η επικρατούσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η σχετική υγρασία αλλά και η θερμοκρασία του εδάφους, διαφορετικά το αποτέλεσμα μπορεί να είναι δυσμενές για την παραγωγή.

Παρακάτω αναλύονται κάποιοι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στο θερμοκήπιο:

1. Θερμοκρασία

Όλη σχεδόν η θερμότητα πάνω στη γη προέρχεται από τον ήλιο.

Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια φτάνει στο έδαφος και τη βλάστηση, όπου ένα μικρό μέρος ανακλάται και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα. Από τη θερμή επιφάνεια της γης μεταφέρεται θερμότητα με συναγωγή στον αέρα. Επίσης μεταφέρεται θερμότητα με αγωγιμότητα στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Δηλαδή ο ατμοσφαιρικός αέρας δε θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά έμμεσα από την επιφάνεια της γης.

Ένα σώμα πάνω στη γη απορροφά τόσο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, όσο πιο σκούρο χρωματισμό έχει, όσο πιο μεγάλη επιφάνεια έχει εκτεθειμένη στην ακτινοβολία, όσο πιο κάθετα δέχεται η επιφάνειά του την ακτινοβολία, όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ακτινοβολείται και όσο μεγαλύτερης έντασης είναι η ακτινοβολία.

Ειδικότερα, η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας το έδαφος μιας περιοχής, εξαρτάται από:

- Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής
- Την εποχή του έτους
- Τη διάρκεια της ηλιοφάνειας
- Τον προσανατολισμό και την κλίση του
- Το χρώμα του

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους μια συγκεκριμένη στιγμή εξαρτάται:

- Από το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφά
- Από τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους, που επηρεάζονται από τα φυσικά συστατικά του, άργιλος, άμμος κ.α.
- Από τη θερμοχωρητικότητα του, που κυρίως καθορίζεται από την ποσότητα νερού και αέρα που περιέχει
- Από την απαιτούμενη ενέργεια για τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό όπως εξάτμιση κλπ.
- Σημαντική επίσης επίδραση στη θερμοκρασία του εδάφους έχει και η βροχή ή η άρδευση. Η θερμοκρασία του νερού που προορίζεται για

πότισμα μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά τη θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή του ριζοστρώματος.

Η επιφάνεια της γης δεν δέχεται μόνο την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά ακτινοβολεί κι αυτή προς το διάστημα μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Έτσι κατά τη διάρκεια της νύχτας που δεν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, ψύχεται συνεχώς, ψύχοντας συγχρόνως και τον ατμοσφαιρικό αέρα που έρχεται σε επαφή μ' αυτήν.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας απορροφά ελάχιστη από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπει η γη. Απορρόφηση γίνεται κυρίως από τους υδρατμούς και το CO₂. Ο ξηρός αέρας επομένως δεν είναι δυνατό να εμποδίσει την ψύξη της επιφάνειας της γης. Τα σύννεφα όμως με την υγρασία που περιέχουν περιορίζουν την απώλεια μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας στο διάστημα και ένα σημαντικό μέρος της επανακτινοβολείται στη γη, εμποδίζοντας έτσι τη γρήγορη ψύξη.

Ο ψυχρός αέρας που δημιουργείται από την επαφή του με την ψυχρή επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας ασυνέφιαστης νύχτας με άπνοια, γίνεται βαρύτερος και κατρακυλά στις χαμηλότερες λεκάνες του ανάγλυφου της περιοχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι λεκάνες αυτές να διατηρούν για μακρύτερο χρονικό διάστημα χαμηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό καλά είναι να αποφεύγονται για την εγκατάσταση θερμοκηπίων.

Ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας ενός θερμοκηπίου εξαρτάται:

- Από τη θερμοκρασία του
- Από την έκταση της επιφάνειας του
- Από τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου
- Από το ισοζύγιο ακτινοβολίας

Το ισοζύγιο ακτινοβολίας σ' ένα συγκεκριμένο τόπο και χρόνο, επηρεάζεται από:

- Τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου και αυτής του γύρω χώρου
- Το ποσοστό νεφώσεως και υγρασίας της ατμόσφαιρας
- Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του

- Το ανάγλυφο της περιοχής που βρίσκεται ή την ύπαρξη άλλων σωμάτων

Η θερμοκρασία των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, από την ακτινοβολία που δέχονται ή εκπέμπουν, από τη θερμοχωρητικότητα τους και από τη λανθάνουσα θερμότητα που χάνουν ή δέχονται λόγω εξάτμισης (διαπνοής) ή συμπύκνωσης των υδρατμών.

Τα φυτά, με το υπέργειο μέρος τους δέχονται κατά τη διάρκεια της ημέρας την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της ανακλάται, περίπου 20%, ένα μικρό μέρος της χρησιμοποιείται για φωτοσύνθεση (μικρότερο από 10%), ενώ το υπόλοιπο αυξάνει τη θερμότητά τους. Ο μηχανισμός της αντίδρασης των φυτών στην αύξηση της θερμοκρασίας τους είναι η ένταση της λειτουργίας της διαπνοής.

Τα φυτά επίσης, όπως όλα τα σώματα που έχουν μια θερμοκρασία, ακτινοβολούν θερμότητα στο διάστημα, με αποτέλεσμα να ψύχονται τα ίδια, αλλά και να συμβάλλουν στην πτώση της θερμοκρασίας του αέρα που τα περιβάλλει. Αυτό συχνά έχει ως αποτέλεσμα τις νύχτες με άπνοια και καθαρό ουρανό η θερμοκρασία των φυτών να είναι χαμηλότερη από αυτή του αέρα, με συνέπεια να έχουμε συμπύκνωση υγρασίας πάνω σ' αυτά.

Η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει την πιο πολύπλοκη επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, γιατί επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες του φυτού όπως: φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή, μεταφορά και κατανομή των μεταβολιτών. Πιθανόν δε να επηρεάζει για μεγάλο διάστημα χρόνου και όχι μόνο στιγμιαία τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτά.

Όσον αφορά τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, εξαιρώντας τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας που μπορούν να βλάψουν τις βιολογικές δομές, τα θερμικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος επεμβαίνουν στην ένταση της φωτοσύνθεσης και αυτό συμβαίνει όσο ο φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Για ασθενείς φωτισμούς, μια άνοδος της θερμοκρασίας δεν έχει σχεδόν καμία επίδραση στην ένταση της φωτοσύνθεσης, ενώ η ένταση μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά, εάν ο φωτισμός είναι έντονος. Πάνω σ' αυτή την

αρχή βασίζεται και η προσαρμογή των χαρακτηριστικών θερμοκρασιών, που καθορίζονται με θερμοστάτες στα θερμοκήπια.

Η αναπνοή περιγράφεται με την αντίστροφη εξίσωση από αυτή που περιγράφει τη φωτοσύνθεση. Πρόκειται, δηλαδή, για οξείδωση των υδατανθράκων. Η καθαρή αφομοιωτική δράση, είναι η συνισταμένη δύο ανταγωνιστικών διαδικασιών, της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές της θερμοκρασίας και υπάρχει μια άριστη θερμοκρασία, πέρα από την οποία η καθαρή αφομοίωση ελαττώνεται. Παρ' όλα αυτά, στη θερμοκηπιακή πρακτική αναζητώνται θερμοκρασίες σχετικά υψηλές, για βελτίωση της πρωιμότητας, έστω και αν οι αποδόσεις μειώνονται.

Επιπλέον, με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνεται η διαπνοή. Σε υψηλές όμως θερμοκρασίες όπως το μεσημέρι η διαπνοή ελαττώνεται.

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές επιφέρουν σημαντικές τροποποιήσεις στα φαινόμενα κυκλοφορίας του νερού στο επίπεδο του ριζικού συστήματος. Η υδατοκατανάλωση γενικά περιορίζεται αισθητά σε περιπτώσεις μείωσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Αυτή η άμεση επίδραση οφείλεται κυρίως στην αύξηση των αντιστάσεων στην κίνηση του νερού μέσα στη ρίζα και σε μείωση της μεταβολικής δραστηριότητας των ριζικών ιστών.

Επίσης, η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση στο κόστος της παραγωγής στο θερμοκήπιο.

Γενικά οι φυσιολογικές διαδικασίες στα φυτά του θερμοκηπίου είναι δυνατό να εξελίσσονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 0 °C και 46 °C. Οποσδήποτε τα όρια αυτά μεταβάλλονται ανάλογα με το είδος του φυτού.

Όταν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία των επιφανειών μέσα στο θερμοκήπιο, αυξάνει περισσότερο από αυτή των αντίστοιχων επιφανειών εκτός θερμοκηπίου, γιατί ακριβώς ο αέρας γύρω τους είναι σχεδόν ακίνητος, οπότε ο ρυθμός ψύξης τους με συναγωγή είναι συγκριτικά μικρότερος. Άμεση συνέπεια είναι να αυξάνει και η θερμοκρασία του εγκλωβισμένου αέρα του θερμοκηπίου, αφού έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες αυτές. Σε αυτή την αιτία που δημιουργείται από το φαινόμενο του κλειστού χώρου, οφείλεται

κατά το μεγαλύτερο ποσοστό η ανύψωση θερμοκρασίας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Ένα άλλο φαινόμενο που συμμετέχει σημαντικά στην αύξηση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου είναι αυτό που αποκαλείται φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί και περνάει κατά το μεγαλύτερο μέρος από το κάλυμμα του θερμοκηπίου και οι επιφάνειες του εσωτερικού του απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Η ακτινοβολία όμως που εκπέμπουν οι επιφάνειες αυτές (φυτά, έδαφος κλπ.) λόγω της θερμοκρασίας τους είναι μεγάλου μήκους κύματος και δεν μπορεί να βγει εκτός θερμοκηπίου, επειδή το κάλυμμά του και ιδιαίτερα το γυαλί είναι λιγότερο περατό στη θερμική ακτινοβολία.

2. Σχετική υγρασία

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του υπέργειου μέρους των φυτών είναι η υγρασία που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας στη φυσική του κατάσταση είναι μίγμα αερίων, κυρίως οξυγόνου, αζώτου, διοξειδίου του άνθρακα, και άλλων αερίων σε ελάχιστες ποσότητες και υδρατμών. Η σύνθεση αυτή μεταβάλλεται λόγω των φαινομένων εξάτμισης, διαπνοής, αναπνοής, φωτοσύνθεσης και λόγω της δραστηριότητας του ανθρώπου στο χώρο του θερμοκηπίου, που προκαλεί αιώρηση οργανικών και ανόργανων ουσιών, όπως φυτοφαρμάκων, σκόνης, κλπ.

Την ποσότητα των υδρατμών ($g\ m^{-3}$) που περιέχει ο αέρας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση την ονομάζουμε **πυκνότητα υδρατμών ή απόλυτη υγρασία**. Όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει ο αέρας τόσο μεγαλύτερη ποσότητα μπορεί να συγκρατήσει, γιατί αυξάνει η κινητική ενέργεια των μορίων του. Ειδική υγρασία ονομάζουμε τον λόγο των υδρατμών προς τη μάζα του υγρού αέρα ($g_{υδρ} \cdot g_{α.α}^{-1}$).

Κορεσμένος με υγρασία είναι ο αέρας όταν σε ορισμένη θερμοκρασία και πίεση περιέχει τη μέγιστη ποσότητα υδρατμών, χωρίς όμως αυτοί να είναι υγροποιημένοι.

Θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας όταν ψυχθεί, χωρίς να μεταβληθεί η περιεκτικότητα του σε υδρατμούς γίνεται κορεσμένος.

Σχετική υγρασία λέμε το λόγο της πυκνότητας των υδρατμών του αέρα προς αυτή του κορεσμένου αέρα, στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις εκατό. Η σχετική υγρασία είναι 0 για τον ξηρό αέρα και 100 για τον κορεσμένο.

Σε αέρα μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας όσο αυξάνει η περιεκτικότητα σε υδρατμούς (χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του), τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει προς αυτή του αέρα.

Όσο χαμηλώνει η θερμοκρασία του αέρα που περιέχει μια συγκεκριμένη ποσότητα υδρατμών, τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει περισσότερο προς αυτή του αέρα, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν αυξάνει η θερμοκρασία του.

Όσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι πλησιέστερη προς τη θερμοκρασία του αέρα σ' ένα χώρο, τόσο υψηλότερη είναι η σχετική υγρασία και τόσο αυξάνει η πιθανότητα (με μια μικρή μείωση της θερμοκρασίας ή αύξηση της υγρασίας του χώρου), ο αέρας να καταστεί κορεσμένος και να συμπυκνωθούν οι υδρατμοί που περιέχει. Η συμπύκνωση αρχίζει να γίνεται επάνω στις επιφάνειες του χώρου που αποκτούν χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του αέρα. Επομένως για να αποφύγει κανείς τη συμπύκνωση θα πρέπει η θερμοκρασία του σημείου δρόσου να βρίσκεται αρκετά χαμηλότερα από αυτή του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται ή με τη μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υδρατμούς, είτε με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και των επιφανειών της κατασκευής ή και των δύο μαζί.

Η διατήρηση ενός κατάλληλου περιβάλλοντος υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας των φυτών αλλά και για την αποφυγή της ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών και εντόμων.

Οι μεταβολές της υγρασίας επηρεάζουν επίσης σημαντικά τη μεταφορά ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου. Οπουδήποτε γίνεται αλλαγή φάσης του

νερού και συνδυάζεται με φαινόμενα μεταφοράς, μπορούν να μεταφερθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας από ή προς μια επιφάνεια.

Η εξάτμιση 1 cm^3 νερού από μια επιφάνεια 1 cm^2 απορροφά περίπου 2,5 KJ, περίπου την ενέργεια που προσφέρεται σε 1 cm^2 επιφάνειας από τον ήλιο μια λαμπερή μέρα του καλοκαιριού. Όταν το νερό συμπυκνώνεται σε μια επιφάνεια, απελευθερώνει περίπου 2,5 KJ θερμότητα ανά γραμμάριο νερού. Η προσθήκη της ενέργειας που γίνεται από τη συμπύκνωση των υδρατμών σε διάφορες επιφάνειες του θερμοκηπίου, συχνά προστατεύει από την πτώση της θερμοκρασίας πολύ κάτω από το σημείο δρόσου.

Η πυκνότητα των υδρατμών στο χώρο του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερος από τη νύχτα, η σχετική υγρασία όμως είναι μικρότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη και συνήθως λειτουργεί ο εξαερισμός.

Στο χώρο γύρω από τα φυτά επιδιώκουμε η σχετική υγρασία να μην είναι ούτε πολύ υψηλή, διότι ευνοείται η ανάπτυξη πολλών μυκητολογικών και βακτηριολογικών ασθενειών των φυτών καθώς και η επιβίωση πολλών αυγών και νυμφών εντόμων, αλλά ούτε πολύ χαμηλή γιατί τότε αυξάνεται υπερβολικά η διαπνοή από τα φύλλα των φυτών και ακόμη ευνοείται η ανάπτυξη ακάρεων.

Ο πολύ υψηλός ρυθμός της διαπνοής έχει συχνά αποτέλεσμα τη μάρανση των φυτών γιατί η ρίζα δεν μπορεί να τροφοδοτεί με τον ανάλογο ρυθμό νερό. Μάρανση των φύλλων σημαίνει κλείσιμο των στομάτων, επομένως περιορισμό της διαπνοής αλλά και της ροής του CO_2 , που καταλήγει σε σταμάτημα της φωτοσύνθεσης.

Στο θερμοκήπιο όλοι οι παράγοντες που ευνοούν τη διαπνοή ενεργούν ταυτόχρονα το μεσημέρι, διότι τότε τα φύλλα έχουν την υψηλότερη θερμοκρασία, ο αέρας έχει την χαμηλότερη σχετική υγρασία και ταυτόχρονα υπάρχει έντονη κίνηση του αέρα, διότι τα παράθυρα είναι ανοιχτά. Κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών επομένως πολύ συχνά υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου.

Τρόποι με τους οποίους αυξάνεται η υγρασία του χώρου, είναι:

1. Βρέξιμο των διαδρόμων και των πλευρικών τοιχωμάτων του θερμοκηπίου.
2. Ψεκασμός νερού πάνω από τα φυτά με πολύ μικρές σταγόνες, που επιτυγχάνεται με σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης.
Η εξάτμιση του νερού μέσα στο θερμοκήπιο όχι μόνο αυξάνει τη σχετική υγρασία, αλλά ψύχει και το χώρο.
3. Κλείσιμο των παραθύρων ή παύση λειτουργίας των ανεμιστήρων, ώστε η υγρασία που διαπνέουν τα φυτά ή που εξατμίζεται από το έδαφος, να παραμένει μέσα στο θερμοκήπιο. Ο τρόπος όμως αυτός σπάνια μπορεί να εφαρμοστεί, διότι αν η ηλιακή ενέργεια που μπαίνει στο θερμοκήπιο είναι πολύ μεγάλη, θα δημιουργηθεί γρήγορα πρόβλημα πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

Οι συνθήκες που ευνοούν την υπερβολική υγρασία, ενεργούν επίσης ταυτόχρονα μέσα στο θερμοκήπιο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας οπότε ψύχεται ο αέρας η σχετική υγρασία αυξάνει και επειδή δεν υπάρχει σημαντικός εξαερισμός (τα παράθυρα κατά τη νύχτα είναι κλειστά), η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου αυξάνει συνεχώς.

Τρόποι για τη μείωση της υγρασίας, είναι:

1. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα πρέπει το νερό να χρησιμοποιείται με φειδώ, ώστε να μην υπάρχει υπερβολική υγρασία στο έδαφος ή στην επιφάνεια των φυτών.
2. Να μην γίνεται ψεκασμός του εδάφους ή των φυτών τις ώρες που η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή. Γενικά, καλό είναι να μην γίνονται το χειμώνα ψεκασμοί κατά το απόγευμα ή αργά το βράδυ, διότι τη νύχτα η σχετική υγρασία θα αυξηθεί υπερβολικά.
3. Να γίνεται εξαερισμός όταν επικρατεί πολύ υψηλή σχετική υγρασία. Στα θερμαινόμενα θερμοκήπια, ακόμα και με κρύο καιρό, όταν η σχετική υγρασία είναι υπερβολικά υψηλή μέσα στο θερμοκήπιο είναι αναγκαίο να ανοιχτούν τα παράθυρα για μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι θα βγει ο υγρός αέρας και θα αντικατασταθεί με τον εξωτερικό που λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας έχει μικρότερη πυκνότητα υδρατμών. Όταν ο εξωτερικός ανακατευτεί με το θερμότερο

εσωτερικό θα αυξήσει τη χωρητικότητα του σε υδρατμούς και θα μειωθεί στο σύνολο η σχετική υγρασία έστω κι αν χαθεί ένα ποσό θερμότητας, που όμως θα συμπληρώσει το σύστημα θέρμανσης.

3. Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών, καθώς και φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου.

Όταν όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, όπως η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, το διοξείδιο του άνθρακα, η θερμοκρασία, το νερό κ.α. βρίσκονται στο άριστο επίπεδο, τότε και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα, άρα και η ανάπτυξη και η παραγωγή των φυτών, βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο.

Όσον αφορά την ακτινοβολία, ένα στενό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση στα φυτά, το φάσμα της ορατής ακτινοβολίας, το οποίο κυμαίνεται από 400-800 nm. Η μέγιστη απορρόφηση από την χλωροφύλλη και επομένως η μέγιστη φωτοσυνθετική ικανότητα συμβαίνει σε μήκος κύματος 610-700 nm. Το δεύτερο μέγιστο της φωτοσύνθεσης συμβαίνει στο φάσμα των 400-510 nm.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια φωτισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια για τη φωτοσύνθεση.

Για προσδιορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και περιεκτικότητας σε CO₂ μπορούμε να παρατηρήσουμε σε επίπεδο απομονωμένου φύλλου, ένα φωτοσυνθετικό κορεσμό πέρα από μια ορισμένη τιμή φωτισμού. Αντίθετα σε επίπεδο φυτού, η αύξηση του φωτισμού επιτρέποντας τη φωτοσυνθετική λειτουργία μεγαλύτερου αριθμού φύλλων, δεν οδηγεί ποτέ σε κορεσμό. Οι καλλιεργητικές τεχνικές κατά συνέπεια θα πρέπει να αποβλέπουν στην εξασφάλιση του μέγιστου φωτισμού του φυλλώματος τουλάχιστον στην περιοχή P.A.R. (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία). Προκειμένου για θερμοκήπια, η εξασθένιση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας λόγω του υλικού κάλυψης, μπορεί να φτάσει μέχρι 50 % και ακόμη περισσότερο σε εξαιρετικές

περιπτώσεις. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να γίνει περιοριστικός και να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις.

4. Διοξείδιο του άνθρακα

Σε φυσικές συνθήκες, η ασθενής περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂ (0,3 %ο κατ' όγκο), μπορεί να γίνει περιοριστικός παράγοντας της φωτοσύνθεσης, κυρίως εάν οι αντιστάσεις στη διάχυση είναι σημαντικές. Τα μέσα επέμβασης περιορίζονται τότε στην αναζήτηση της διατήρησης των στοματικών ανοιγμάτων, με μια σωστή τροφοδοσία σε νερό.

Σε κλειστό χώρο αντίθετα, η περιορισμένη αύξηση της περιεκτικότητας του αέρα σε CO₂ (1%ο), μπορεί να έχει θετικά και διαρκή αποτελέσματα. Πρόκειται, στην περίπτωση αυτή για την τεχνική της ανθρακολίπανσης.

1.3 Ο ρόλος των οργάνων μέτρησης στην έρευνα των παραγόντων που αποτελούν το κλίμα του θερμοκηπίου

Στη μελέτη του κλίματος του θερμοκηπίου συμβάλλουν σημαντικά τα διάφορα όργανα μέτρησης των παραγόντων που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Έτσι για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι αισθητήρες μέτρησης όπως είναι το υδραργυρικό θερμόμετρο, το θερμοζεύγος, το θερμόμετρο αντίστασης, το Thermistor και άλλα.

Για τον υπολογισμό της υγρασίας χρησιμοποιούνται όργανα όπως είναι τα ψυχρόμετρα και τα υγρασιόμετρα.

Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται διάφορα όργανα όπως είναι το πυρανόμετρο, το πυργεόμετρο, το ραδιόμετρο, ο αισθητήρας μέτρησης φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας και οι διατάξεις για τη μέτρηση της διάχυτης ακτινοβολίας.

Τα όργανα μέτρησης πρέπει να έχουν μικρό κόστος, να είναι εύχρηστα και αξιόπιστα δηλαδή να δίνουν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια τις

διάφορες μετρήσεις, να χαρακτηρίζονται από σταθερότητα δηλαδή να μην μεταβάλλεται η ακρίβειά τους με την πάροδο του χρόνου, να έχουν μεγάλη ευαισθησία και γρήγορη απόκριση στις μεταβολές των διαφόρων παραγόντων.

Τα όργανα που αναφέρθηκαν παραπάνω διατίθενται στο εμπόριο αλλά χαρακτηριστικό είναι το μεγάλο κόστος τους. Επίσης αν και το κόστος είναι μεγάλο, η ακρίβειά τους δεν είναι πάντα η αναμενόμενη.

Σκοπός της χρήσης των διαφόρων οργάνων μέτρησης δεν είναι μόνο η επιστημονική μελέτη του κλίματος του θερμοκηπίου αλλά και η χρήση τους από τους παραγωγούς όταν πρόκειται για αυτοματοποιημένα θερμοκήπια.

Στα αυτοματοποιημένα θερμοκήπια, το σύστημα θέρμανσης αυτοματοποιείται με θερμοστάτες νερού και χώρου προκειμένου να γίνει προσαρμογή της θερμοκρασίας στις απαιτήσεις της καλλιέργειας. Αυτοί μπορεί να αποτελούνται από διάφορους αισθητήρες θερμοκρασίας.

Ανάλογα, όταν η υγρασία πέφτει κάτω από κάποιο επίπεδο, ενεργοποιούνται μηχανισμοί όπως είναι το σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης προκειμένου να αυξηθεί η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου. Η ενεργοποίηση γίνεται από αισθητήρες υγρασίας ή διάφορα όργανα που μετρούν υγρασία (υγροστάτες).

Για το φυσικό εξαερισμό των θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται ανοίγματα (παράθυρα) στην οροφή και τις πλευρές του θερμοκηπίου. Η ροή του αέρα ρυθμίζεται με την αυξομείωση της έκτασης των ανοιγμάτων εξαερισμού. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων οροφής γίνεται μέσω οδοντωτών ή σπαστών βραχιόνων. Οι βραχίονες αυτοί συγκρατούν την κάτω πλευρά του παραθύρου σε όλο το μήκος του και συνδέονται μεταξύ τους με ένα σωληνωτό άξονα, έτσι ώστε με την περιστροφή αυτού του άξονα να μετακινούνται όλοι οι βραχίονες μαζί και να ανοίγουν και να κλείνουν το παράθυρο. Η περιστροφή του άξονα μπορεί να γίνεται με χειροκίνητο μηχανισμό ή με ηλεκτροκινητήρα δεξιόστροφο και αριστερόστροφο, στον οποίο έχει παρεμβληθεί μειωτήρας στροφών. Στους ηλεκτροκίνητους μηχανισμούς η εντολή για το άνοιγμα ή το κλείσιμο δίνεται με χειροκίνητο διακόπτη ή με θερμοστάτη χώρου.

Επίσης στα αυτοματοποιημένα θερμοκήπια όταν ως σύστημα σκίασης χρησιμοποιείται η κουρτίνα, αυτή τοποθετείται αυτομάτως μόλις το επίπεδο εξωτερικής ακτινοβολίας φτάνει μια δεδομένη τιμή. Το σήμα δίνεται από έναν αισθητήρα ακτινοβολίας, που βρίσκεται στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Προτιμάται η τοποθέτηση του αισθητήρα στο εξωτερικό για να αποφεύγονται προβλήματα που σχετίζονται με εμπόδια μέσα στο θερμοκήπιο τα οποία κινδυνεύουν να διαταράξουν το σήμα και κατά συνέπεια τη λειτουργία του συστήματος.

Όλες αυτές οι παραπάνω λειτουργίες ρυθμίζονται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή (κεντρική μονάδα αυτοματισμού) με τη χρήση κατάλληλων προγραμμάτων.

Επίσης για την εξασφάλιση της επιθυμητής θερμοκρασίας αέρα και εδάφους στα θερμοκήπια είναι απαραίτητη η μέτρησή της με τα διάφορα όργανα, γιατί έτσι είναι δυνατόν να προληφθούν ζημιές στα φυτά από απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας πέρα από τα ανεκτά όρια. Από πολυάριθμες μετρήσεις έχει αποδειχτεί ότι η ανάπτυξη των φυτών περιορίζεται μεταξύ των θερμοκρασιών 0-49 °C. Η πρώτη είναι το σημείο που παγώνει το νερό και η δεύτερη το σημείο απονιτροποίησης των πρωτεϊνών. Βέβαια έχει βρεθεί ότι τα περισσότερα είδη και οι ποικιλίες των κηπευτικών θερμοκηπίων αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 10-25 °C.

Το ενεργειακό πρόβλημα είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της εποχής μας. Σε επίπεδο θερμοκηπίου είναι επίσης ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που ανάγκασε τους ερευνητές και τους καλλιεργητές να καταβάλλουν προσπάθειες για εξοικονόμηση ενέργειας. Έχει αποδειχτεί ότι μία από τις τεχνικές που έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση καυσίμων κατά 5-20 %, είναι η καλή συντήρηση των μέσων θέρμανσης των θερμοκηπίων, η μόνωση των αγωγών μεταφοράς του αέρα και η ρύθμιση των θερμοστατών.

1.4 Υγροστάτες και θερμοστάτες

Οι υγροστάτες είναι όργανα που με την ποσοτική επίδραση της σχετικής υγρασίας ανοίγουν ένα διακόπτη από τον οποίο περνάει ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι είναι δυνατό να ανοιγοκλείνουν αυτόματα τα παράθυρα του θερμοκηπίου όπως συμβαίνει και με τους θερμοστάτες ή να θέτουν σε λειτουργία τους ανεμιστήρες. Επίσης οι υγροστάτες μπορούν να συνδεθούν με το σύστημα ψεκασμού νερού και έτσι όταν η σχετική υγρασία πέσει σε χαμηλά επίπεδα να ψεκάζεται νερό στο χώρο του θερμοκηπίου.

Ο θερμοστάτης είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης ευαίσθητος στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Υπάρχουν πολλά είδη θερμοστατών, σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο το καθένα ώστε να εξυπηρετούν καλύτερα ένα συγκεκριμένο σκοπό. Όταν ο καλλιεργητής θέλει να διατηρήσει στο θερμοκήπιο μια συγκεκριμένη θερμοκρασία τοποθετεί το θερμοστάτη στους βαθμούς αυτούς γυρίζοντας ένα μικρό δείκτη. Όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τη θερμοκρασία αυτή, ο θερμοστάτης κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα και λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης.

Επειδή η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου δεν είναι ομοιόμορφη ακόμα και στις καλύτερες περιπτώσεις σημαντικό ρόλο παίζει η θέση όπου θα τοποθετηθεί το αισθητήριο του θερμοστάτη. Συνήθως τοποθετείται στο κέντρο του θερμοκηπίου, στο ύψος του φυλλώματος. Το αισθητήριο του θερμοστάτη πρέπει να προστατεύεται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία αλλιώς δεν θα αναφέρεται στη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου. Γι' αυτό σωστό είναι οι θερμοστάτες να τοποθετούνται μέσα σε ένα μεταλλικό κύλινδρο για προστασία και ο αέρας του θερμοκηπίου να προωθείται στο θερμοστάτη με ηλεκτρικό ανεμιστήρα που λειτουργεί συνεχώς.

Επειδή οι θερμοστάτες δεν είναι πάντα μεγάλης ακρίβειας θα πρέπει να συνοδεύονται και από υδραργυρικό θερμομόμετρο βάσει του οποίου θα ρυθμίζονται.

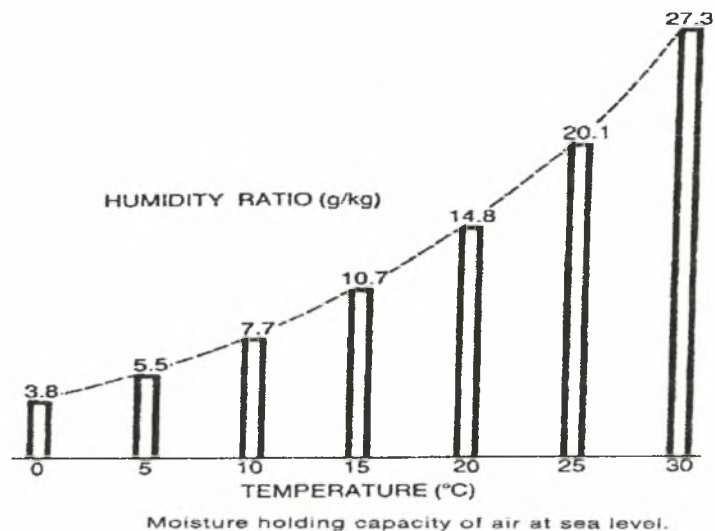
2 Ψυχομετρικά χαρακτηριστικά

2.1 Γενικά

Τα ψυχομετρικά χαρακτηριστικά του υγρού αέρα είναι βασικά για την κατανόηση του περιβάλλοντος καθώς σχετίζονται με τα αγροτικά κτίρια. Αυτά αναφέρονται στη σχέση μεταξύ αέρα και νερού και στις φυσικές διεργασίες. Η εξάτμιση του νερού είναι ένα σημαντικό μέσο απώλειας θερμότητας όταν ο καιρός είναι ζεστός. Η αφαίρεση υγρασίας από αυτά τα κτίρια είναι ένα συνεχές πρόβλημα όταν ο καιρός είναι ψυχρός. Αντίστροφα νερό μπορεί να εισαχθεί στα κτίρια κατά τη διάρκεια ζεστού καιρού με τη μορφή μικρών αιωρούμενων σταγονιδίων ή ομίχλης με σκοπό το δροσισμό εξαιτίας της εξάτμισης. Έτσι, ο υγρός αέρας είναι μία υπόσταση που μπορεί να ελεγχθεί και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χειρισμό των συνθηκών του περιβάλλοντος στα αγροτικά κτίρια.

2.2 Περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία

Ένα μίγμα αέρα – υδρατμών μπορεί να κορεστεί σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Το παρακάτω διάγραμμα (2.1) δείχνει την ποσότητα των υδρατμών που απαιτούνται για τον κορεσμό 1kg ξηρού αέρα σε διάφορες θερμοκρασίες.



Διάγραμμα 2.1 Ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του αέρα σε επίπεδο θαλάσσης

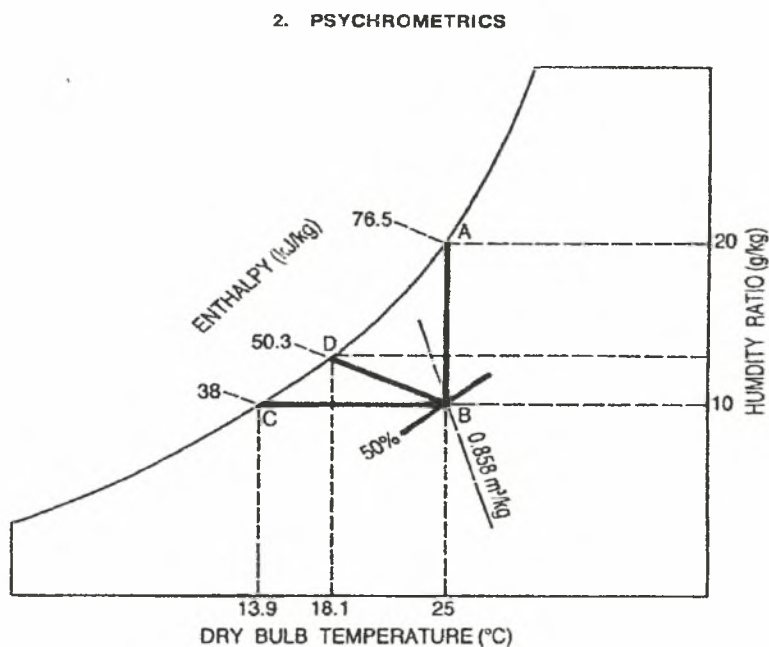
Καθώς η θερμοκρασία του αέρα αυξάνει κατά 10°C η ικανότητα συγκράτησης υδατμών του αέρα σχεδόν διπλασιάζεται. Η καμπύλη που προκύπτει από την ένωση των κορυφών των μπάρων καλείται καμπύλη κορεσμού για υδατμούς και αποτελεί τη βάση κατασκευής του ψυχομετρικού διαγράμματος.

Το **ψυχομετρικό διάγραμμα** παρέχει μία γραφική λύση, εξήγηση, εξισώσεων που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του μίγματος αέρα – υδατμών. Για να κατανοηθεί το ψυχομετρικό διάγραμμα πρέπει να καθοριστούν διάφοροι όροι.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύθηκαν όροι όπως η σχετική υγρασία, η απόλυτη υγρασία και η θερμοκρασία σημείου δρόσου. Άλλοι όροι στους οποίους πρέπει να γίνει αναφορά είναι ο λόγος υγρασίας, ο βαθμός κορεσμού, ο ειδικός όγκος, η ενθαλπία, η θερμοκρασία υγρού και ο αδιαβατικός κορεσμός.

Ο **λόγος υγρασίας (w)** είναι η ποσότητα νερού (υδατμών) σε gr περιεχόμενη σε 1 kg ξηρού αέρα.

Ο **βαθμός κορεσμού (μ)** είναι ένας πιο πρακτικός τρόπος υπολογισμού της σχετικής περιεκτικότητας του αέρα σε υδρατμούς καθώς αναφέρεται απευθείας στο λόγο των λόγων των σχετικών υγρασιών, που βασίζονται σε μάζες νερού και αέρα και όχι πιέσεις ατμών. Ο βαθμός κορεσμού χρησιμοποιείται για υπολογισμούς ελέγχου του περιβάλλοντος και όχι της σχετικής υγρασίας. Στο διάγραμμα (2.2) το σημείο B θα μπορούσε να οριστεί ότι έχει 50% βαθμό κορεσμού.



Διάγραμμα 2.2 Απεικόνιση της θερμοκρασίας κορεσμού (A), της θερμοκρασίας υγρού βολβού (D), της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου (C)

Ο **ειδικός όγκος (v)** ενός μίγματος αέρα – υδρατμών είναι ο όγκος που καταλαμβάνεται από αυτό ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα (m^3/kg). Ο ειδικός όγκος είναι ένα σημαντικό ποσοτικό χαρακτηριστικό για τους υπολογισμούς όσον αφορά το περιβάλλον, για τα αγροτικά κτίρια διότι ο εξοπλισμός που σχετίζεται με την κίνηση του αέρα (ανεμιστήρες, αγωγοί, κ.α.) έχει να κάνει με τον όγκο του αέρα. Ο ειδικός όγκος ενός μίγματος αέρα – υδρατμών στους 25 °C και 50% σχετική υγρασία είναι 0,858 m^3/kg όπως φαίνεται από το διάγραμμα 2.2.

Η **ενθαλπία (h)** ορίζεται ως η συνολική θερμότητα του μίγματος αέρα – υδρατμών. Περιλαμβάνει την αισθητή και τη λανθάνουσα θερμότητα. Τόσο ο ξηρός αέρας όσο και το νερό έχουν κάποια αισθητή θερμότητα που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, και οι υδρατμοί περιέχουν τη θερμότητα της εξάτμισης. Η ενθαλπία για μία μονάδα βάρους ξηρού αέρα (1kg) αναφέρεται ως ειδική ενθαλπία. Η ειδική ενθαλπία υπολογίζεται από το από το άθροισμα της λανθάνουσας και της αισθητής θερμότητας για 1 kg ξηρού αέρα.

Η **θερμοκρασία υγρού βολβού** είναι η θερμοκρασία στην κατάσταση του κορεσμού που επιτυγχάνεται κυρίως με τη διαδικασία της εξάτμισης ενώ η ενθαλπία διατηρείται σταθερή. Το σημείο D στο διάγραμμα 2.2 είναι η θερμοκρασία υγρού βολβού του μίγματος αέρα – υδρατμών του σημείου B. Η διαδικασία προχώρησε σε μία κατεύθυνση παράλληλη με τις γραμμές σταθερής ενθαλπίας του διαγράμματος 2.2. Το σημείο D είναι σε χαμηλότερη θερμοκρασία ξηρού βολβού από το σημείο B και έχει μεγαλύτερο λόγο υγρασίας.

Ο **αδιαβατικός κορεσμός** περιγράφει τη διαδικασία της εξάτμισης με σταθερή ενθαλπία από το σημείο B στο σημείο D στο διάγραμμα 2.2. Ο όρος αδιαβατικός σημαίνει ότι, ούτε προστίθεται ούτε χάνεται θερμότητα από τη διαδικασία.

Η γραμμή BD (διάγραμμα 2.2) είναι σχεδόν αλλά όχι ακριβώς παράλληλη με τις γραμμές σταθερής ενθαλπίας. Γι' αυτό το λόγο, πολλά ψυχομετρικά διαγράμματα παρουσιάζουν δύο ειδών διαγώνιες γραμμές, μία για τη σταθερή ενθαλπία και μία για τη θερμοκρασία υγρού βολβού. Ευτυχώς το σφάλμα είναι μικρό και κατά συνέπεια για υπολογισμούς που έχουν σχέση με το αγροτικό περιβάλλον μπορεί να υποθεθεί ότι η γραμμή είναι μία, αυτή της σταθερής ενθαλπίας. Επίσης να προστεθεί ότι το σημείο D (πλήρης κορεσμός) είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη. Η αποτελεσματικότητα της διαδικασίας εξάτμισης του υγρού βολβού καθορίζεται από το πόσο κοντά στον κορεσμό μπορεί να φτάσει.

2.3 Ψυχομετρικό διάγραμμα

Το ψυχομετρικό διάγραμμα είναι μία γραφική παράσταση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του υγρού αέρα. Οι ποσότητες που παριστάνονται στο ψυχομετρικό διάγραμμα είναι σε μονάδες SI. Στον x -άξονα βρίσκεται η θερμοκρασία ξηρού αέρα και στον y -άξονα ο λόγος υγρασίας. Αυτός ο τύπος ψυχομετρικού διαγράμματος ονομάζεται τύπου Mollier. Ο λόγος υγρασίας και η ενθαλπία αποτυπώνονται ως εξαρτώμενες μεταβλητές. Επίσης τα ψυχομετρικά διαγράμματα είναι βασισμένα σε μάζα ξηρού αέρα ίση με 1kg.

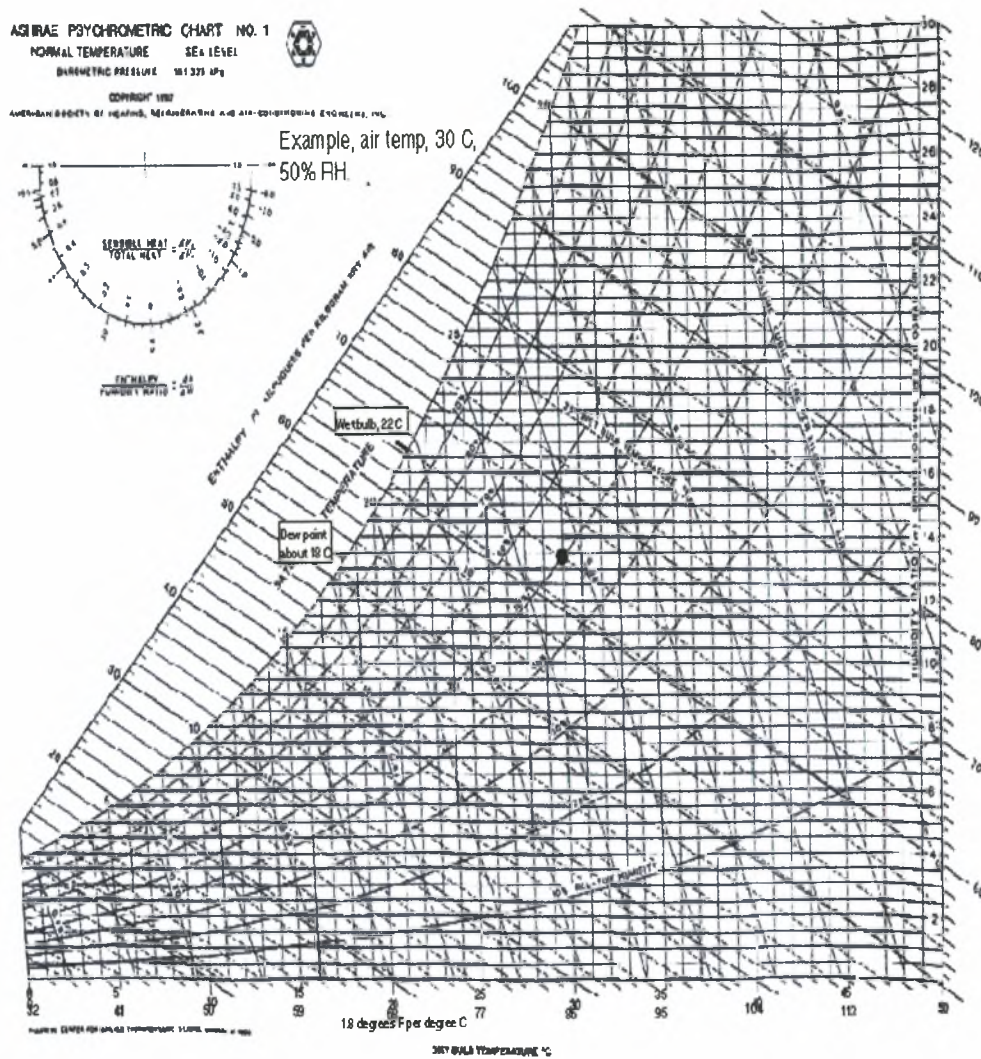
Οι γραμμές της ενθαλπίας είναι κεκλιμένες και σχεδιασμένες σχεδόν παράλληλες. Οι γραμμές ξηρού βολβού σχεδιάζονται ευθείες.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ψυχομετρικό διάγραμμα (2.3) το οποίο είναι βασισμένο σε συγκεκριμένη ατμοσφαιρική πίεση, σε επίπεδο θαλάσσης, των 101.325 kPa.

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1

(metric units)

Reproduced by permission of ASHRAE



Διάγραμμα 3.3 Ψυχομετρικό διάγραμμα

3 Μέτρηση υγρασίας

3.1 Μέθοδοι βαθμονόμησης

Υπάρχουν δύο διακριτά προβλήματα στη βαθμονόμηση των αισθητήρων υγρασίας:

- ❖ Η δημιουργία ενός δείγματος αέρα ομοιόμορφα εμπλουτισμένο με υγρασία.
- ❖ Η ακριβής μέτρηση της υγρασίας.

3.2 Επιλογή αισθητήρων

Όταν υπάρχει η ανάγκη να γίνει μέτρηση υγρασίας, υπάρχει ένα μεγάλο εύρος από όργανα και τύπους αισθητήρων από τα οποία μπορεί να επιλέξει κανείς. Το πρόβλημα είναι η επιλογή του πιο κατάλληλου οργάνου και/ή αισθητήρα για την εφαρμογή που προορίζεται, καθώς δεν υπάρχει ένα όργανο που να καλύπτει τις απαιτήσεις όλων των εφαρμογών. Μερικοί αισθητήρες ανταποκρίνονται καλύτερα σε υψηλά επίπεδα υγρασίας και άλλοι σε χαμηλά. Μερικοί προσφέρουν υψηλή ακρίβεια για ένα μεγάλο εύρος συνθηκών αλλά έχουν σχετικά μεγάλο κόστος. Άλλα λιγότερο ακριβά όργανα μπορεί να μην είναι υψηλής ακρίβειας αλλά αποκρίνονται γρήγορα στις μεταβολές. Οι κύριοι παράγοντες που σχετίζονται με την επιλογή του αισθητήρα υγρασίας παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Επίπεδα υδρατμών: Ένα από τα βασικά κριτήρια στην επιλογή του αισθητήρα υγρασίας είναι το εύρος της υγρασίας στο οποίο προορίζεται να λειτουργήσει. Επιλέγοντας έναν αισθητήρα που ανταποκρίνεται στο ζητούμενο εύρος μπορεί να αποφευχθεί ένα αξιοσημείωτο κόστος. Έτσι η πρώτη ερώτηση που θα έπρεπε να κάνει κανείς είναι αν ο αισθητήρας πρόκειται να

λειτουργήσει κάτω από ένα στενό εύρος υγρασίας και μόνο περιστασιακά κάτω από κάποιο μεγαλύτερο εύρος. Είναι σπάνιο ένας μόνο αισθητήρας να αποδίδει επαρκώς και στις δύο καταστάσεις. Είναι γενικά καλύτερο να χρησιμοποιούνται δύο αισθητήρες, ο καθένας για τις συνθήκες που είναι πιο κατάλληλος.

2. Εύρος θερμοκρασιών: Ένα άλλο χαρακτηριστικό πολύ σημαντικό για την επιλογή ενός αισθητήρα, είναι το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο προορίζεται να λειτουργήσει. Σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, το σημείο δρόσου δεν είναι δυνατό να ξεπεράσει τους 100 °C. Πολλοί λίγοι αισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν πάνω από 93 °C. Μπορεί να είναι αναγκαίο να μειωθεί η θερμοκρασία ενός δείγματος αέρα πριν γίνει μέτρηση της υγρασίας. Αυτό είναι εφικτό όσο δεν πραγματοποιείται συμπύκνωση υδρατμών κατά τη διεργασία δροσισμού και η θερμοκρασία διατηρείται στο σημείο δρόσου. Όπου είναι δυνατόν, θα ήταν επιθυμητό η θερμοκρασία να προσαρμόζεται σε ένα εύρος μεταξύ 5 °C έως 40 °C. Αυτό θα επιτρέψει την ευκολότερη επιλογή ενός αισθητήρα για την μέτρηση της υγρασίας καθώς υπάρχει ένα μεγάλο εύρος αισθητήρων για αυτές τις συνθήκες. Επίσης το κόστος θα είναι μικρότερο συγκριτικά με έναν αισθητήρα που θα είναι ειδικά κατασκευασμένος να λειτουργήσει σε υψηλές θερμοκρασίες.

3. Προσκόλληση ρύπων στον αισθητήρα: Όλοι οι αισθητήρες υγρασίας είναι ευαίσθητοι στη ρύπανση και έτσι είναι δυνατόν να μειωθεί η ακρίβειά τους, ο χρόνος απόκρισης και η αναμενόμενη διάρκεια ζωής ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα και το ποσοστό της ρύπανσης στο οποίο εκτίθεται ο αισθητήρας. Μερικοί αισθητήρες δεν έχουν δυνατότητα καθαρισμού από τη ρύπανση. Άλλοι μπορούν να καθαριστούν ή να επαναενεργοποιηθούν. Κανένας αισθητήρας δεν μένει ανεπηρέαστος από το περιβάλλον, ειδικά αυτοί που προορίζονται να λειτουργήσουν σε γεωργικές κατασκευές ή εγκαταστάσεις για ζώα. Αν το περιβάλλον είναι σχετικά καθαρό, τότε οι περισσότεροι αισθητήρες θα έχουν άριστη επίδοση για παρατεταμένο χρονικό διάστημα. Είναι προφανές, ότι πριν γίνει επιλογή ενός αισθητήρα υγρασίας

είναι απαραίτητο να μελετηθεί το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί και αν αναμένεται να αποδώσει ικανοποιητικά. Η ευκολία καθαρισμού του αισθητήρα και η σταθερότητα στις ενδείξεις με την πάροδο του χρόνου πρέπει να συνυπολογιστούν.

4. Ακρίβεια: Είναι κοινή πρακτική για τους μηχανικούς οργάνων να επιζητούν τα πιο ακριβή όργανα που μπορούν να αποκτήσουν για μετρήσεις. Όσον αφορά τη χρήση οργάνων για μέτρηση της υγρασίας, ακρίβεια πάνω από ένα συγκεκριμένο σημείο μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό κόστος. Γενικά, σύμφωνα με τα δεδομένα φαίνεται ότι σπάνια μπορούν επιτευχθούν μετρήσεις σχετικής υγρασίας με ακρίβεια μεγαλύτερη από $\pm 3\%$, ενώ για το σημείο δρόσου η ακρίβεια σπάνια μπορεί να είναι μεγαλύτερη από $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Αυτά τα όρια στην ακρίβεια ισχύουν σε καθαρό περιβάλλον. Σε ρυπαρό περιβάλλον, η ακρίβεια στις μετρήσεις σχετικής υγρασίας μπορεί να μειωθεί σε $\pm 5\%$ και για το σημείο δρόσου $\pm 1^\circ\text{C}$. Είναι σημαντικό για τους χρήστες, στην επιλογή οργάνων μέτρησης σχετικής υγρασίας να μην προσδοκούν ακρίβειες που να ξεπερνούν τα παραπάνω όρια παρά μόνο σε πολύ καθαρό περιβάλλον. Η επιθυμητή ακρίβεια στη μέτρηση της σχετικής υγρασίας θα πρέπει να εξεταστεί σε σχέση και με το κόστος που απαιτείται για να επιτευχθεί αυτή η ακρίβεια. Έτσι μπορεί το όργανο να είναι λιγότερο ακριβές και συγχρόνως λιγότερο ακριβό, αλλά κατάλληλο για την εφαρμογή που προορίζεται.

5. Δυνατότητα συντήρησης του αισθητήρα: Οι αισθητήρες υγρασίας συνήθως απαιτούν τακτική συντήρηση. Η συχνότητα και το επίπεδο της συντήρησης καθορίζονται από τον τύπο του αισθητήρα και από το επίπεδο της ρύπανσης στο περιβάλλον. Ένα απλό ψυχρόμετρο που λειτουργεί σε καθαρό περιβάλλον μπορεί να μην απαιτεί τίποτε άλλο από μία εξαμηνιαία αλλαγή του φιλτιού και μία περιοδική επιθεώρηση του συστήματος εφοδιασμού με νερό. Από την άλλη ένα (οπτικό υγρόμετρο σημείου δρόσου) που λειτουργεί σε ένα πολύ σκονισμένο περιβάλλον μπορεί να χρειάζεται καθαρισμό κάθε μέρα. Μερικοί αισθητήρες όπως αυτοί από οξείδιο αλουμινίου και ηλεκτρικοί αισθητήρες σχετικής υγρασίας χάνουν τη βαθμονόμησή τους

όταν ρυπαίνονται και πρέπει περιοδικά να καθαρίζονται και να βαθμονομούνται ή να αντικαθίστανται.

Η δυνατότητα και η συχνότητα συντήρησης ενός αισθητήρα είναι πολύ σημαντικά στοιχεία στην επιλογή ενός αισθητήρα σχετικής υγρασίας για μία συγκεκριμένη χρήση. Αν ένας αισθητήρας πρέπει να αντικαθίσταται όταν ρυπαίνεται ή χάνει τη βαθμονόμηση του, τότε πρέπει να συνυπολογιστούν, η συχνότητα και το κόστος από μία τέτοια αντικατάσταση.

6. Τρόποι λήψης των μετρήσεων: Οι περισσότεροι αισθητήρες μέτρησης υγρασίας τοποθετούνται απευθείας σε ένα ρεύμα αέρος ή σε κάποιο ανοιχτό δωμάτιο ή μπορεί να λειτουργούν σε συνδυασμό με ένα σύστημα καταγραφής των δεδομένων. Υπάρχουν αισθητήρες εγκατεστημένοι σε μόνιμες θέσεις σε κάποιο χώρο. Χρειάζεται προσοχή όταν πρόκειται για μόνιμη εγκατάσταση, οι αισθητήρες να τοποθετούνται σε θέσεις όπου η ροή του αέρα γύρω τους έχει ομαλοποιηθεί προκειμένου οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές. Το κόστος ενός τέτοιου καταγραφικού συστήματος μπορεί να ξεπεράσει το κόστος του οργάνου μέτρησης.

7. Χρόνος απόκρισης: Ο απαιτούμενος χρόνος απόκρισης πρέπει να ληφθεί υπόψη στην επιλογή ενός αισθητήρα υγρασίας. Οι αισθητήρες μέτρησης της σχετικής υγρασίας είναι γρήγορης απόκρισης. Αν δεν υπάρχει ανάγκη για αισθητήρα γρήγορης απόκρισης εκλέγονται άλλοι φθηνότεροι με χρόνο απόκρισης 3 έως 5 min. Στις περισσότερες γεωργικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται αισθητήρες που μπορούν να αποκριθούν σε γρήγορες μεταβολές της υγρασίας, οπότε κατά συνέπεια απαιτούνται αισθητήρες που αποκρίνονται αντίστοιχα.

8. Πίεση: Μερικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, ενώ άλλοι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε ένα εύρος πιέσεων που κυμαίνεται από συνθήκες κενού έως πολύ υψηλές πιέσεις. Μερικές φορές μπορεί να απαιτείται ένας μειωτής πίεσεως. Ίσως

επίσης πρέπει να μελετηθεί το γεγονός ότι η μέτρηση του σημείου δρόσου εξαρτάται από την πίεση.

9. Κόστος: Το κόστος είναι σχεδόν πάντα ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην επιλογή ενός αισθητήρα. Πρέπει να δοθεί προσοχή όχι μόνο στο αρχικό κόστος, αλλά ακόμα περισσότερο στο κόστος που προκύπτει από μία πιθανή αντικατάσταση του αισθητήρα, από τη συντήρησή του, κ.α..

3.3 Λειτουργία ψυχρόμετρου

Ψυχρόμετρο ξηρού και υγρού βολβού: Αν και είναι η πιο κοινώς χρησιμοποιούμενη διάταξη για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας σήμερα, δεν υπάρχει κάποια θεωρητική βάση που να συνοδεύει την ανακάλυψή της. Συχνά χρησιμοποιείται και ως δευτερεύον πρότυπο για βαθμονόμηση άλλων αισθητήρων.

Χρησιμοποιούνται δύο πανομοιότυπα θερμόμετρα, ή άλλοι αισθητήρες θερμοκρασίας. Το θερμόμετρο ξηρού βολβού που είναι εκτεθειμένο στον ατμοσφαιρικό αέρα και δείχνει τη θερμοκρασία και το θερμόμετρο υγρού βολβού. Το θερμόμετρο υγρού βολβού καλύπτεται με μία θήκη και διατηρείται υγρό με τη βοήθεια ενός φιτίλιου συνδεδεμένου με ένα δοχείο που περιέχει απεσταγμένο νερό. Το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια της θήκης οπότε δημιουργείται ψύξη και έτσι προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας, σε σχέση με το θερμόμετρο ξηρού, εκτός από την περίπτωση που ο αέρας είναι κορεσμένος.

Η ανάπτυξη της ψυχομετρικής θεωρίας του αδιαβατικού κορεσμού του αέρα από τον W. H. Carrier (1911) απέδειξε τη λογική θερμοδυναμική συμπεριφορά των ψυχομέτρων. Αυτή η θεωρία θεωρεί ότι ο ψυχομετρικός μηχανισμός ακολουθείται από μία αύξηση της λανθάνουσας θερμότητας μιας στοιβάδας αέρα γύρω από το φιτίλι σε βάρος μιας ίσης μείωσης της αισθητής θερμότητας γύρω από την ίδια στοιβάδα. Μία κατάσταση ισορροπίας λαμβάνει χώρα όταν δεν είναι δυνατή η επιπλέον μεταμόρφωση της θερμότητας.

Ο Penman (1958) υποθέτει ότι η απώλεια της αισθητής θερμότητας που εκτιμήθηκε από την πτώση της θερμοκρασίας στον υγρό βολβό είναι ίση με την αύξηση της λανθάνουσας θερμότητας που εκτιμήθηκε από την αύξηση σε νερό του αέρα.

Υπάρχουν δύο απόψεις όσον αφορά την ακρίβεια. Η πρώτη είναι η αναγκαία ακρίβεια στη μέτρηση της θερμοκρασίας ξηρού και υγρού ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή εκτίμηση της τάσης ατμών ή άλλων παραμέτρων υγρασίας. Η δεύτερη είναι πιο σημαντική και αναφέρεται στην ακρίβεια της εξίσωσης που συνδέει την αύξηση της λανθάνουσας θερμότητας γύρω από τον υγρό βολβό με την απώλεια της αισθητής θερμότητας.

Όπως προαναφέρθηκε το ψυχρόμετρο είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για μετρήσεις της σχετικής υγρασίας, RH, του αέρα. Ο υπολογισμός της σχετικής υγρασίας βασίζεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ξηρού και του υγρού θερμομέτρου.

Υπάρχουν τα αναρτώμενα ψυχρόμετρα και τα αεριζόμενα ψυχρόμετρα ASSMAN. Το αναρτώμενο ψυχρόμετρο είναι ο πιο απλός και λιγότερο ακριβός τύπος αεριζόμενου ψυχρομέτρου. Χρησιμοποιούνται δύο θερμομέτρα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Η λειτουργία είναι η ίδια αλλά η ψύξη στην επιφάνεια του υγρού βολβού επιτυγχάνεται περιστρέφοντας μία χειροκίνητη λαβή και στη συνέχεια διαβάζονται οι μετρήσεις. Στα ψυχρόμετρα ASSMAN, ο αέρας κινείται προς τον υγρό βολβό με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα.

Σύμφωνα με τον Penman (1958) η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει με γυάλινα υδραργυρικά θερμομέτρα, με αντιστάσεις από πλατίνα, με θερμοζεύγη και με Thermistors.

Η ακρίβεια με την οποία μπορεί να καθοριστεί η σχετική υγρασία με καθένα από τους παραπάνω τύπους αισθητήρων εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια με την οποία μπορεί να μετρηθεί η θερμοκρασία.

Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο και χρησιμοποιούμενο ψυχρόμετρο έχει τη δυνατότητα να παρέχει λογικά, σωστά δεδομένα. Παρ' όλα αυτά λίγα ψυχρόμετρα είτε αναρτώμενα είτε τύπου ASSMAN, έχουν αυτή τη δυνατότητα. Γι' αυτό το λόγο η χρήση αυτού του τύπου διατάξεων περιορίζεται σε εκείνες τις εφαρμογές όπου απαιτείται χαμηλό κόστος και

μέτρια ακρίβεια. Η ακρίβεια είναι υψηλότερη σε υψηλά επίπεδα υγρασίας και πέφτει καθώς αυξάνεται η πτώση της θερμοκρασίας του υγρού βολβού. Για το λόγο ότι ο υγρός βολβός είναι πηγή υγρασίας, το όργανο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μόνο σε περιβάλλοντα όπου οι προστιθέμενοι ατμοί νερού από το ψυχρόμετρο δεν θα επηρεάσουν τη μετρούμενη υγρασία του περιβάλλοντος. Γενικά τα ψυχρόμετρα δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε μικρούς, κλειστούς χώρους.

Στο συγκεκριμένο πείραμα οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του ξηρού και υγρού θερμομέτρου γίνονται με Thermistors. Ο ένας αισθητήρας είναι γυμνός και δίνει τη θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου ενώ ο άλλος αισθητήρας είναι καλυμμένος με το βαμβακερό φυτίλι το οποίο διαβρέχεται διαρκώς με απιονισμένο νερό και δίνει τη θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου. Η μέτρηση της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου βασίζεται στην εξάτμιση του νερού με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα από το βαμβακερό κάλυμμα που καλύπτει τον αισθητήρα, οπότε πέφτει η θερμοκρασία στην επιφάνειά του. Όσο πιο ξηρός είναι ο αέρας τόσο μεγαλύτερη είναι η πτώση της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι θερμοκρασία ξηρού βολβού (T_d) είναι η θερμοκρασία του αέρα ενώ θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου (T_w) είναι η θερμοκρασία που θα είχε ο αέρας αν ήταν κορεσμένος με υδρατμούς.

Γνωρίζοντας τη θερμοκρασία ξηρού και υγρού θερμομέτρου μπορούν να προσδιοριστούν, εκτός από τη σχετική υγρασία, και άλλες μεταβλητές του αέρα όπως είναι η απόλυτη υγρασία, το σημείο δρόσου και την ενθαλπία. Γενικότερα γνωρίζοντας δύο από τις παραπάνω μεταβλητές μπορούμε να υπολογίσουμε μια τρίτη. Αυτοί οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια ενός ψυχομετρικού διαγράμματος για διάφορες συνθήκες. Επίσης υπάρχουν πίνακες σχετικής υγρασίας όπως ο 3.1 που δίνουν απευθείας τη σχετική υγρασία γνωρίζοντας τη θερμοκρασία ξηρού και υγρού.

Επίσης η σχετική υγρασία μπορεί να εκφραστεί με εξισώσεις όπως η παρακάτω:

$$RH(T_w, T_d, e) = \frac{e^*_{(T_w)} - \gamma(T_d - T_w)}{e^*_{(T_d)}} \quad (3.1)$$

όπου T_d και T_w , είναι οι θερμοκρασίες ξηρού και υγρού θερμομέτρου αντίστοιχα, που μετρώνται με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου ASSMAN. Το σύμβολο e^* αναφέρεται στην τάση κορεσμού των υδρατμών του αέρα (kPa), στη θερμοκρασία T_w ή T_d και γ είναι η ψυχομετρική σταθερά (0,0667 kPa K⁻¹).

Η τάση κορεσμού των υδρατμών (kPa), σε μια θερμοκρασία T (°C), του αέρα δίνεται από τη σχέση:

$$e^*(T) = 0,64078 \exp[17,2699 T / (237,3 + T)] \quad (3.2)$$

Σχετική υγρασία του αέρα συναρτήσει της θερμοκρασίας του υγρού και ξηρού θερμομέτρου.

		Θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου																Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου															
°C		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	48	50	55	60	65	70	75	°C					
25	92	84	77	70	65	58	54	50	48	41	37	35	32	29	27	22	18	15	13	10	7							25					
26		92	84	77	70	65	60	55	51	48	43	38	36	33	30	25	21	17	14	12	8							26					
27			92	84	77	71	68	61	58	52	47	44	40	37	34	29	24	20	16	13	10							27					
28				92	84	78	72	68	62	57	53	48	45	41	38	32	27	23	19	16	12							28					
29					92	85	80	72	67	62	58	53	50	45	42	38	31	26	22	20	14							29					
30						93	86	80	73	68	63	59	54	50	45	40	34	29	25	21	15	11						30					
31							93	86	80	73	68	63	60	55	51	44	38	33	28	26	16	13						31					
32								93	86	80	74	69	64	60	56	48	41	36	31	27	20	14						32					
33									93	86	80	74	70	64	61	52	45	39	34	30	21	15						33					
34										93	87	81	75	70	65	57	49	43	37	33	23	17						34					
35											93	87	81	75	70	62	53	47	40	36	25	19	15					35					
36												93	87	81	76	66	58	51	44	39	28	20	16					36					
37													93	87	82	71	62	55	48	42	30	22	18					37					
38														93	87	77	67	59	52	46	33	24	20					38					
39															93	82	72	63	56	49	36	25	21					39					
40																88	77	68	60	53	39	27	22	19				40					
41																93	83	73	64	57	42	31	23	20				41					
42																	88	79	69	61	45	33	25	22	21			42					
43																	93	83	74	65	48	38	27	23	22	43			43				
44																		88	79	70	52	39	30	24	24	44			44				
45																		94	84	74	55	42	32	25	25	45			45				
46																			89	79	59	45	34	28	26	46			46				
47																				94	84	83	48	38	28	27	47			47			
°C		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	48	50	55	60	65	70	75	°C					

Πίνακας 3.1

3.4 Μέτρηση θερμοκρασίας ξηρού και υγρού θερμομέτρου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο υπολογισμός της θερμοκρασίας ξηρού και υγρού θερμομέτρου γίνεται με τα Thermistor. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται τα Thermistor που έχουν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας (NTC type).

Τα Thermistor είναι ημιαγωγοί κατασκευασμένοι από ειδικά μίγματα καθαρών οξειδίων του νικελίου, μαγνησίου, χαλκού, κοβαλτίου, κασσίτερου, ουρανίου, σιδήρου, μαγγανίου, τιτανίου και άλλων μετάλλων που λιώνουν σε θερμοκρασίες της τάξης των 982 °C (1800 °F). Τα διακριτά τους χαρακτηριστικά είναι ένας υψηλός συντελεστής θερμοκρασίας και το γεγονός ότι η αντίστασή τους είναι μία συνάρτηση της απόλυτης θερμοκρασίας. Κατασκευάστηκαν στα εργαστήρια του Bell πριν περίπου 100 χρόνια ονομάζοντάς τα «θερμικά ευαίσθητες αντιστάσεις».

Ο συντελεστής θερμοκρασίας αυτών των αισθητήρων είναι συνήθως αρνητικός, αν και μπορεί να είναι επίσης θετικός. Στην πράξη μόνο τα Thermistor που έχουν αρνητικό συντελεστή θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για μετρήσεις θερμοκρασίας. Ο αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας σημαίνει ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και αντίστασης, και επομένως άνοδος της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της τιμής της αντίστασης. Επιπλέον η αλλαγή της αντίστασης του ημιαγωγού είναι αρκετά μεγάλη ανά βαθμό Κελσίου και κατά συνέπεια είναι εύκολο να μετρηθούν μικρές αλλαγές της θερμοκρασίας.

Επίσης ένα άλλο χαρακτηριστικό των Thermistor είναι ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και αντίστασης.

4 Κατασκευή και βαθμονόμηση ψυχρομέτρου τύπου ASSMAN

Σκοπός της εργασίας είναι η σχεδίαση, κατασκευή και βαθμονόμηση ψυχρομετρικής μονάδας καθώς και η σύνταξη του απαραίτητου λογισμικού για την επεξεργασία των μετρήσεων που γίνονται από την παραπάνω κατασκευή.

Το ψυχρόμετρο είναι αεριζόμενο και κατά συνέπεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο χώρο του θερμοκηπίου. Έτσι για να εξακριβωθεί η απόδοση του λαμβάνεται ένας αριθμός μετρήσεων υγρασίας σε συνθήκες θερμοκηπίου.

Η βαθμονόμηση γίνεται για να καθοριστεί, να ελεγχθεί ή να διορθωθεί ο τρόπος μέτρησης ενός οργάνου που δίνει ποσοτικές μετρήσεις, πριν αυτό τοποθετηθεί σε πραγματικές συνθήκες περιβάλλοντος (θερμοκήπιο).

Μετά τη βαθμονόμηση το ψυχρόμετρο αναμένεται να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Ακρίβεια στις μετρήσεις σχετικής υγρασίας.
- Σταθερότητα, δηλαδή οι μετρήσεις να μην αλλοιώνονται από μεταβολές των συνθηκών του περιβάλλοντος ή να μην μεταβάλλονται με το χρόνο. Δηλαδή να χαρακτηρίζεται από σταθερότητα.
- Ικανοποιητική ευαισθησία.
- Γρήγορη απόκριση στις μεταβολές της σχετικής υγρασίας.



Εικόνα 4.1 Οι τρεις ψυχομετρικές μονάδες και το ψυχρόμετρο αναφοράς

5 Υλικά και Μέθοδοι

5.1 Κατασκευή και Λειτουργία Ψυχομέτρου

5.1.1 Υλικά

Η κατασκευή η οποία πραγματοποιήθηκε από τον κ. Χριστάλη Δημήτρη υποψήφιο διδάκτορα, αποτελείται από τρεις όμοιες επιμέρους ψυχομετρικές μονάδες, στηριζόμενες σε σκελετό κατασκευασμένο από αλουμίνιο. Οι διαστάσεις του οργάνου είναι: συνολικό μήκος 55cm, συνολικό πλάτος 30cm και συνολικό ύψος 1.4m. Χρησιμοποιούνται τρεις ψυχομετρικές μονάδες για να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Το συνολικό κόστος κατασκευής του οργάνου είναι 176 ευρώ. Οι τρεις αισθητήρες, thermistor που χρησιμοποιήθηκαν κοστίζουν στο σύνολό τους 30 ευρώ.

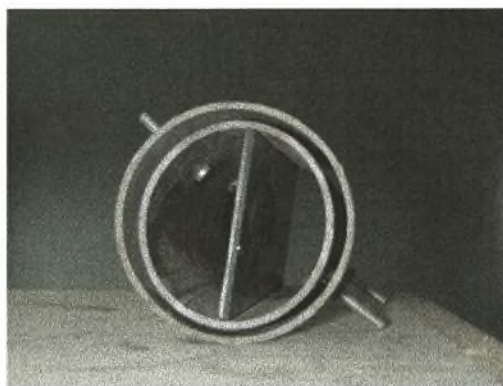
Η κάθε ψυχομετρική μονάδα αποτελείται από:

1. Δύο σωλήνες από σκληρό PVC χρώματος γκρι. Οι σωλήνες διατάσσονται έτσι ώστε ο ένας να είναι μέσα στον άλλο. Οι σωλήνες αυτοί προορίζονται να λειτουργήσουν ως προστατευτικό περίβλημα των αισθητήρων, Thermistor, και επιπλέον για να παρέχουν θερμική μόνωση στους αισθητήρες. Μεταξύ των δύο σωλήνων υπάρχει και ένα λεπτό στρώμα αέρα που δρα επίσης ως θερμομονωτικό. Η μόνωση των αισθητήρων είναι απαραίτητη προκειμένου οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες και να μην επηρεάζονται από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι σωλήνες πρόκειται να τοποθετηθούν παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των σωλήνων, ο εξωτερικός σωλήνας έχει εσωτερική διάμετρο 7cm ενώ ο εσωτερικός έχει εσωτερική διάμετρο 6 cm. Ο εξωτερικός σωλήνας έχει εξωτερική διάμετρο 7,4 cm ενώ ο εσωτερικός 6,5 cm. Το πάχος των σωλήνων είναι 0,4 cm και 0,5 cm αντίστοιχα, ενώ τα μήκη τους 29,7 cm και 20,7 cm αντίστοιχα.



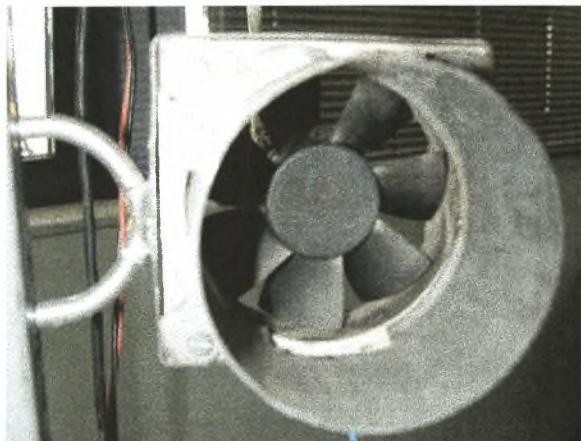
5.1 Σωλήνας από σκληρό PVC

2. Το διαχωριστικό σωλήνων είναι κατασκευασμένο από πλαστικό fumé, plexi-glass και έχει τις εξής διαστάσεις: μήκος 20 cm, πλάτος 6 cm και πάχος 3 mm. Ο ρόλος του διαχωριστικού είναι να χωρίζει τον εσωτερικό χώρο που ορίζεται από τους σωλήνες σε δύο μέρη. Στο ένα θα τοποθετείται ο αισθητήρας ξηρού βολβού και στον άλλο ο αισθητήρας υγρού βολβού.



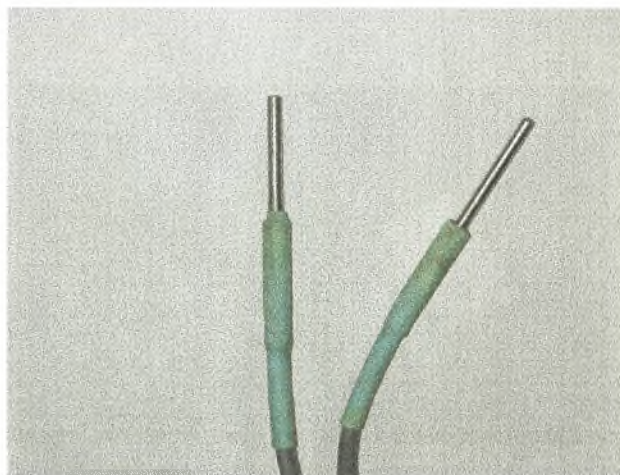
5.2 Διαχωρισμός του σωλήνα

3. Ένας ανεμιστήρας ακτινικής ροής, Top motor DF 1208 SL, DC 12V, 0.20A, Dynaeon industrial CO,LTD και παροχής 2,6 m/sec. Τοποθετείται στο πίσω άκρο των σωλήνων και παρέχει ρεύμα αέρα σε όλο το μήκος των σωλήνων.



5.3 Ανεμιστήρας

4. Δύο Thermistors που χρησιμοποιούνται ως αισθητήρες θερμοκρασίας. Τα Thermistors έχουν αντίσταση $5\text{ k}\Omega \pm 0,09\text{ k}\Omega$ στους $25\text{ }^\circ\text{C}$.



5.4 Thermistor

5. Ένα 100 % βαμβακερό κάλυμμα (φτίλι) που έχει μήκος 68cm. Χρησιμοποιείται για να δημιουργεί γύρω από τον αισθητήρα υγρού βολβού, υγρό περιβάλλον λόγω εξάτμισης.
6. Ένα πλαστικό δοχείο, λευκό όγκου 1 l, το οποίο γεμίζει απιονισμένο νερό. Μ' αυτό διαβρέχεται το βαμβακερό κάλυμμα.
7. Δύο καλώδια με τα οποία συνδέονται οι αισθητήρες με τον καταγραφέα, μήκους 9,5m και διαμέτρου 7mm.

Για τη βαθμονόμηση των τριών ψυχομετρικών μονάδων χρησιμοποιήθηκε ως όργανο αναφοράς ένα αεριζόμενο ψυχρόμετρο της εταιρίας DELTA-T Devices LTD.

Εκτός από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των ψυχομετρικών μονάδων χρησιμοποιήθηκαν επίσης:

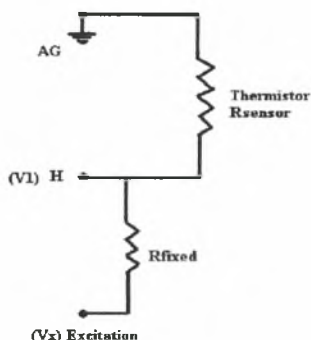
1. Ένας καταγραφέας (datalogger), CR10WP της εταιρίας Campbell Scientific LTD.
2. Ένα πληκτρολόγιο Keyboard Display CR10KD επίσης της εταιρίας Campbell Scientific LTD, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται ο προγραμματισμός του καταγραφέα.



5.5 Ο καταγραφέας και το πληκτρολόγιο

3. Ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής.
4. Πέντε αντιστάσεις των 11,69 kΩ, δύο των 11,68 kΩ και μία των 11,70 kΩ.
5. Ένα πολύμετρο, CM 3300 Digital/Analog.
6. Ένα τροφοδοτικό που δίνει τάση 12V DC στο σύστημα καταγραφέας-όργανο όταν οι μετρήσεις λαμβάνονται στο εργαστήριο ενώ όταν οι μετρήσεις γίνονται σε συνθήκες θερμοκηπίου χρησιμοποιείται μπαταρία των 12V DC.

Η σύνδεση των Thermistor των ψυχομετρικών μονάδων με τον καταγραφέα γίνεται μέσω δύο καλωδίων. Η συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 5.6. και ονομάζεται Half bridge.



5.6 Συνδεσμολογία Half bridge

Τα σήματα των αισθητήρων οδηγούνται στην καταγραφική μονάδα του καταγραφέα (datalogger) μέσω αναλογικών καναλιών.

Όπως φαίνεται από το σχήμα 5.6, η είσοδος του σήματος των αισθητήρων στον καταγραφέα, οδηγείται μέσω αντίστασης R_f , έτσι ώστε να γίνεται υποβάθμιση του εισερχόμενου σήματος των αισθητήρων, στα όρια του καταγραφέα. Για κάθε ένα Thermistor απαιτείται και μία αντίσταση R_f . Οι αντιστάσεις αυτές έχουν τις τιμές 11,69 kΩ, 11,68 kΩ, 11,69 kΩ, 11,69 kΩ, 11,68 kΩ, 11,70 kΩ, 11,69 kΩ, 11,69 kΩ αντίστοιχα για κάθε ένα Thermistor.

Οι αντιστάσεις των Thermistors συμβολίζονται ως εξής: $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8$.

Μέσω του λογισμικού του καταγραφέα γίνεται η μετατροπή της τιμής του εισερχόμενου σήματος που αντιστοιχεί σε μία τιμή αντίστασης R_{sensor} , σε θερμοκρασία, T . Ο καταγραφέας έχει τη δυνατότητα μέσα από μια σειρά εντολών να δώσει μετρήσεις θερμοκρασίας. Χρησιμοποιήθηκαν οι οδηγίες χρήσεως του καταγραφέα (manual). Δηλαδή επιλέχθηκε η κατάλληλη εντολή που πρέπει να χρησιμοποιηθεί και οι παράμετροι που πρέπει να εισαχθούν.

Σε πρώτο στάδιο γίνεται υπολογισμός της τάσης V_1 στα άκρα του αισθητήρα, με τη σχέση 5.1:

$$V_1 = V_x \times \frac{R_s}{R_s + R_f} \quad (5.1)$$

όπου, V_x είναι η τάση στην είσοδο και είναι ίση με 2100 mV

R_s είναι η αντίσταση του κάθε Thermistor

Η R_f παίρνει μία τιμή 11690 Ω , 11680 Ω ή 11700 Ω ανάλογα με τον αισθητήρα κάθε φορά.

Η αντίσταση του αισθητήρα R_s υπολογίζεται από τη σχέση 5.2:

$$R_s = R_f \times \frac{X}{1 - X} \quad (5.2)$$

όπου, X η εισαγόμενη μεταβλητή που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$X = \frac{V_1}{V_x} \quad (5.3)$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση 5.2 την τιμή του X με τη σχέση 5.3,

προκύπτει η σχέση,
$$R_s = R_f \times \frac{\frac{V_1}{V_x}}{1 - \frac{V_1}{V_x}} \quad (5.4)$$

Η μετατροπή της τιμής της αντίστασης του κάθε Thermistor, R_s , σε τιμή θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια πολυωνύμων της μορφής:

$$F(X) = C_0 + C_1X + C_2X^2 + C_3X^3 + C_4X^4 + C_5X^5 \quad (5.5)$$

όπου, C_0 έως C_5 είναι οι συντελεστές του X οι οποίοι είναι διαφορετικοί για κάθε αισθητήρα.

Οι συντελεστές αυτοί προκύπτουν από την καμπύλη βαθμονόμησης των αισθητήρων του ψυχομέτρου της Delta-T Devices:

Το μέγεθος της τιμής του συντελεστή περιορίζεται σε ένα εύρος από $\pm 0,00001$ έως ± 99999 .

Για τον υπολογισμό των παραπάνω τιμών γίνεται καταγραφή των δεδομένων από τον καταγραφέα κάθε 1min.

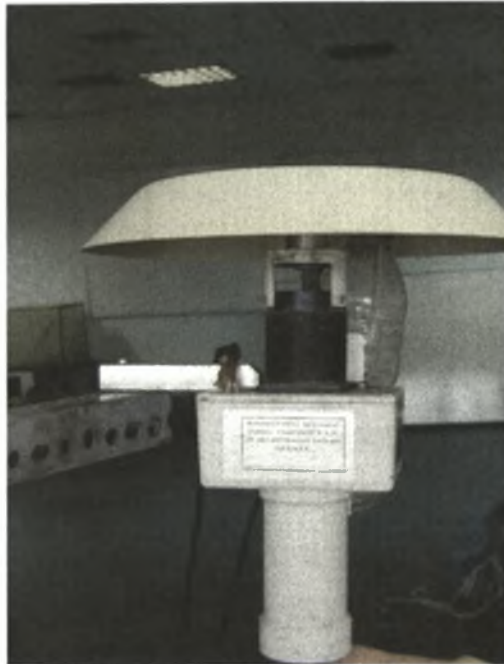
5.1.2 Αεριζόμενο ψυχρόμετρο της Delta-T Devices

Παρακάτω δίνονται πληροφορίες για την εγκατάσταση και τη λειτουργία του αεριζόμενου ψυχομέτρου της Delta-T Devices. Το ψυχρόμετρο αυτό όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε ως ψυχρόμετρο αναφοράς για τη βαθμονόμηση των τριών άλλων ψυχομετρικών μονάδων.

Σ' αυτό το ψυχρόμετρο ως αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε αντιστάσεις από πλατίνα pt , είτε *thermistors*. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται *thermistors*.

Ο τύπος *thermistor* που χρησιμοποιείται είναι 2K3A9.

Τα *thermistors* έχουν δύο καλώδια το καθένα για σύνδεση με το datalogger. Το χρώμα των καλωδίων έχει σημασία για τη σύνδεση. Έτσι στην περίπτωση του ψυχομέτρου της Delta-T Devices το χρώμα των καλωδίων του αισθητήρα ξηρού είναι το κόκκινο και το μπλε, ενώ το χρώμα των καλωδίων του αισθητήρα υγρού είναι το πράσινο και το κίτρινο.



5.7 Ψυχρόμετρο αναφοράς της Delta-T Devices

Η αντίσταση του κάθε αισθητήρα είναι περίπου 2000 Ω στους 25 °C και έχει ανοχή $\pm 0,1$ °C για ένα εύρος θερμοκρασιών από 0 έως 70 °C.

Το μήκος των καλωδίων μπορεί να επηρεάσει την αντίσταση των αισθητήρων. Η αντίσταση των καλωδίων είναι 8,8 Ω για 100m μήκος. Για τους συγκεκριμένους αισθητήρες που έχουν αντίσταση 2KΩ τα σφάλματα που θα προκληθούν είναι αμελητέα. Αύξηση της αντίστασης του καλωδίου οδηγεί σε μία πτώση της θερμοκρασίας. Παρακάτω δίνονται τα σφάλματα σε °C για κάθε Ω της αντίστασης του καλωδίου:

Αισθητήρας θερμοκρασίας, °C	Σφάλμα λόγω καλωδίωσης, °C/Ω
-20	-0,001
+20	-0,009
+40	-0,023
+60	-0,055

Πίνακας 5.1

Η διάμετρος του καλωδίου είναι 4,1-4,6 mm.

Ο κάθε αισθητήρας έχει δύο καλώδια προκειμένου να γίνει η σύνδεση με τον καταγραφέα. Απαιτούνται δύο αναλογικά κανάλια για κάθε αισθητήρα με τον καταγραφέα.

α) Χαρακτηριστικά

Πρόκειται για ένα αεριζόμενο ψυχρόμετρο που χρησιμοποιεί τη μέθοδο του ξηρού και υγρού βολβού για τον καθορισμό της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα. Τα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Διπλό κυλινδρικό τοίχωμα μέσα στο οποίο εσωκλείονται οι αισθητήρες Thermistors, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα που οφείλονται στη ηλιακή ακτινοβολία.
- Σχεδιασμός που αντέχει στη χρήση και προσφέρει εύκολη πρόσβαση στα στοιχεία προς βαθμονόμηση, καθάρισμα ή αντικατάσταση βαμβακερού καλύματος.
- Ένα δοχείο χωρητικότητας 500ml που έχει τη δυνατότητα να παρέχει νερό για επτά ημέρες περίπου συνεχούς χρήσης.
- Μεγάλη παροχή αέρα για σωστή πτώση της θερμοκρασίας υγρού βολβού.
- Κινητήρα μεγάλης διάρκειας ζωής.

β) Απόδοση κατασκευαστή

Ακρίβεια: 0,2 °C σε κανονικές μετεωρολογικές συνθήκες, μετά τη βαθμονόμηση του.

Εύρος θερμοκρασιών: από -20 °C έως +65 °C. Σε συνθήκες ψύχους ο αισθητήρας υγρού μπορεί να παγώσει.

Χρόνος ανταπόκρισης: 50 δευτερόλεπτα.

Μένιστη ταχύτητα ανέμου: πάνω από 75 m/s (170 mph, 150 kts).

γ) Ηλεκτρικά στοιχεία κατασκευαστή

Αντίσταση: 100 Ohm \pm 0,033% @ 0 °C, 1/3 DIN43760.

Βασικό διάστημα: 38,5 Ohm.

Αντίσταση σύνδεσης: 0,8 Ohm (5m καλώδιο).

Αντίσταση μόνωσης: ξεπερνά τα 100 MOhm.

Εκτίμηση ανεμιστήρα: 40 κυβικά μέτρα την ώρα (μηδενική πτώση πίεσης), 20 mm νερού (μηδενική ροή).

Ταχύτητα αέρα πέρα από τους αισθητήρες: 4m/s (BS4485).

Ρεύμα που περνά από το μοτέρ: 350 mA σε 12V DC.

Διάρκεια ζωής του μοτέρ: 12000 hr σε 12V DC (υγρασία αέρα 83% σε DIN40046).

δ) Μηχανικά στοιχεία κατασκευαστή

Βάρος: 1,4 kg

Υλικά: μεταλλικό κουτί με ABS πλαστικά, ανοξειδωτες ατσάλινες βίδες και ανοδικός αισθητήρας από κράμα αλουμινίου.

Μήκος καλωδίων: 5m.

ε) Οδηγίες λειτουργίας

1.Συναρμολόγηση

Πρέπει το όργανο ή να είναι διαρκώς εκτεθειμένο σε ηλιακή ακτινοβολία ή σε σκιά και μακριά από γωνίες κτιρίων ή άλλα αντικείμενα που μπορεί να προκαλέσουν ανατάραξη ή μεταφορά θερμότητας. Επίσης πρέπει να τοποθετείται μακριά από επιφάνειες που αντανακλούν πολύ. Προτείνεται επίσης το όργανο να τοποθετείται σε συγκεκριμένο ύψος το οποίο κυμαίνεται στα 1,2 m πάνω από τη βλάστηση.

2. Βαθμονόμηση Ξηρού Βολβού

Για να γίνει η βαθμονόμηση αφαιρείται προσεχτικά η θήκη του ψυχομέτρου και εξέρχεται ο αισθητήρας ξηρού βολβού έτσι ώστε να μην προκληθεί καμία βλάβη.

Ετοιμάζεται ένα φαρδύ δοχείο με νερό και λιωμένο πάγο, έτσι ώστε η θερμοκρασία του διαλύματος να είναι στους 0 °C. Σ' αυτό βυθίζεται ο

αισθητήρας ξηρού βολβού. Γίνεται ανάδευση του μίγματος νερού-πάγου ενώ η θερμοκρασία ελέγχεται με κάποιο θερμόμετρο.

3. Έλεγχος της θερμοκρασίας του μηδενός (0 °C)

Αφαιρείται η θήκη του ψυχομέτρου προσεκτικά έτσι ώστε να μην προκληθεί καμία βλάβη στους αισθητήρες. Ακολουθεί ξεβίδωμα του σφικτήρα του υγρού βολβού και απομάκρυνση του βαμβακερού καλύμματος (φιτιλιού). Σταματά ο ανεμιστήρας και ελέγχονται οι ενδείξεις και του ξηρού και του αισθητήρα υγρού βολβού οι οποίες πρέπει να είναι ίδιες, δηλαδή μηδενική η πτώση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του υγρού βολβού.

Αφού γίνει ο έλεγχος επανατοποθετείται ο αισθητήρας υγρού βολβού στη θέση του. Όταν επανατοποθετείται το βαμβακερό κάλυμμα στον αισθητήρα πρέπει να δίνεται προσοχή να καλύπτει τον αισθητήρα σε όλο το μήκος.

4. Λειτουργία του συστήματος 'βαμβακερό κάλυμμα'

Γίνεται τοποθέτηση του δοχείου στη μεσαία θέση και γεμίζεται το δοχείο του ψυχομέτρου με 500 ml απιονισμένο νερό. Το βαμβακερό κάλυμμα αφήνεται 12 h στο νερό ώστε να διαποτιστεί καλά. Δεν πρέπει να επιταχυνθεί η διαδικασία βρέχοντας την άκρη του βαμβακερού καλύμματος γιατί δημιουργείται ρεύμα αναχαιτίσης στο σωλήνα που βρίσκεται το βαμβακερό κάλυμμα (φιτίλι). Γεμίζεται ξανά το δοχείο όταν η στάθμη πέσει στα 200 ml.

Ο αρχικός ρυθμός ροής νερού στο βαμβακερό κάλυμμα είναι περίπου 1 ml/hr, οπότε σε 10 ημέρες έχει απορροφηθεί περίπου το μισό περιεχόμενο του δοχείου. Ως βοήθεια για να μειωθεί η υπερβάλλουσα υγρασία με μορφή σταγόνων νερού που απομακρύνονται λόγω βαρύτητας κατά το χρονικό διάστημα που η υγρασία είναι υψηλή, το δοχείο ξαναπροσαρμόζεται στη χαμηλότερη θέση. Ο απαιτούμενος ρυθμός ροής αυξάνεται όταν αυξάνεται και η πτώση της θερμοκρασίας στον υγρό βολβό. Έτσι 0,5 ml/ hr είναι επαρκή για μέγιστη αναμενόμενη πτώση των 12,5 °C, η οποία μπορεί να συμβεί στις ζεστές, ξηρές ημέρες. Σε υγρές ημέρες ένας μειωμένος ρυθμός ροής θα είναι ικανοποιητικός για να παίρνονται ακριβείς ενδείξεις.

Για να εξακριβωθεί αν το βαμβακερό κάλυμμα είναι ικανοποιητικά βρεγμένο, μεταφέρεται το δοχείο με το απιονισμένο νερό, ψηλά από την χαμηλή θέση σε ψηλότερη για να βραχεί το κατώτερο μισό του φπιλιού. Ακολουθεί απομάκρυνση και αναμονή 5 min με τον ανεμιστήρα σε λειτουργία. Παίρνεται μία καινούρια ένδειξη. Αυτή πρέπει να είναι ίδια με την προηγούμενη, πριν ξαναβραχεί το βαμβακερό κάλυμμα. Ο ρυθμός ροής αυξάνεται όταν αυξάνεται η στάθμη του νερού στο δοχείο.

Το βαμβακερό κάλυμμα φθείρεται με τη χρήση, ακόμα και σε καθαρό περιβάλλον και με τη χρήση απιονισμένου νερού, προκαλώντας μειωμένη ροή.

Κατά συνέπεια προτείνεται, το δοχείο να εφοδιάζεται με νερό ως τα 500ml κάθε εβδομάδα και να υψώνεται στην πιο υψηλή θέση κατά την τρίτη εβδομάδα χρήσης του.

Μετά από τρεις εβδομάδες το βαμβακερό κάλυμμα πρέπει να πλυθεί ή να αντικατασταθεί. Ένα πλυμένο βαμβακερό κάλυμμα θα λειτουργήσει για άλλες δύο εβδομάδες και μία τρίτη αν ξαναπλυθεί για δεύτερη φορά. Ανάμεσα στις παραπάνω διαδικασίες πρέπει να καθαρίζονται οι δύο άκρες του σωλήνα που περιέχει το κάλυμμα και περνά αέρας. Η καθαρότητα του βαμβακερού καλύμματος πρέπει να εξετάζεται σε τακτά διαστήματα. Αν δεν είναι καθαρό τότε μπορεί να επηρεαστεί η λειτουργία του μέσα σε χρόνο μιας ώρας.

5. Πλύσιμο βαμβακερού καλύμματος

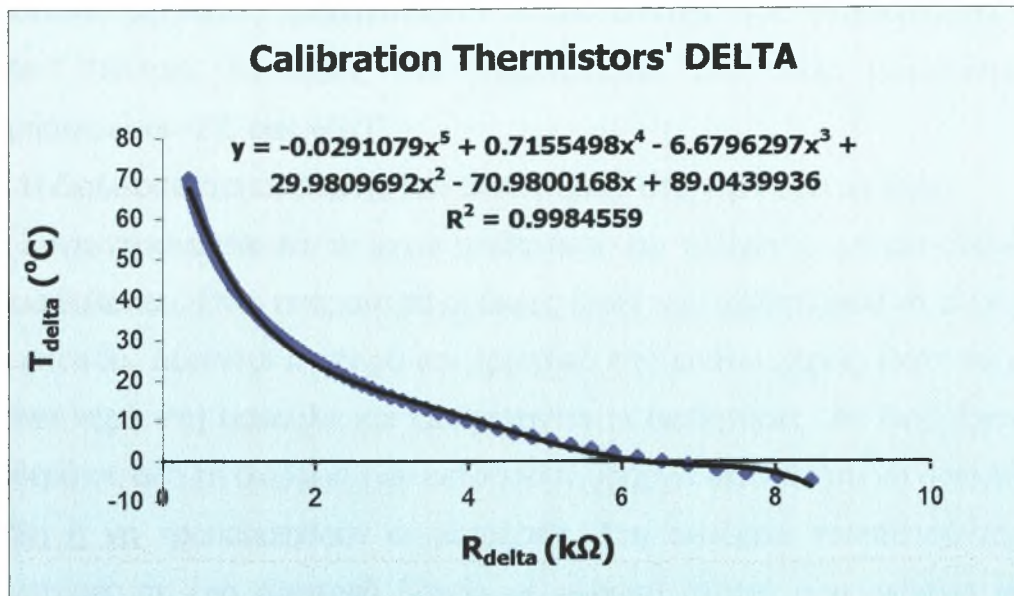
Αφαιρείται το βαμβακερό κάλυμμα από το σωλήνα. Ο σωλήνας τοποθετείται σε ένα ζεστό μέρος ώστε να στεγνώσει.

Το πλύσιμο του καλύμματος γίνεται σε ένα γυάλινο δοχείο με βραστό νερό όπου έχει προστεθεί απορρυπαντικό. Στη συνέχεια ξεπλένεται με κρύο νερό και στίβεται. Επαναλαμβάνεται το πλύσιμο με βραστό νερό, ξεπλένεται με καθαρό νερό, στίβεται και αφήνεται να στεγνώσει.

5.2 Μέθοδος βαθμονόμησης ψυχομέτρου τύπου ASSMAN

Όπως προαναφέρθηκε στην παράγραφο 5.1 το όργανο που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος αποτελείται από τρία αεριζόμενα ψυχρόμετρα. Το κάθε ψυχρόμετρο αποτελείται από δύο αισθητήρες Thermistor. Ο ένας χρησιμοποιείται ως αισθητήρας ξηρού βολβού και ο άλλος ως αισθητήρας υγρού βολβού.

Προκειμένου να γίνει αξιολόγηση του οργάνου που κατασκευάστηκε, θα χρησιμοποιηθεί το ψυχρόμετρο της Delta-T Devices, που διαθέτει το Εργαστήριο. Το όργανο αυτό, που περιγράφηκε στην παράγραφο 5.1 είναι βαθμονομημένο, υπάρχει δηλαδή ένα πολυώνυμο που δείχνει πως μεταβάλλεται η αντίστασή του με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το πολυώνυμο είναι το ίδιο και για τους δύο αισθητήρες Thermistor του ψυχομέτρου και κατά συνέπεια, η ένδειξή τους είναι η αυτή. Αυτό μπορεί να εξακριβωθεί μετατρέποντας τον αισθητήρα υγρού βολβού, σε ξηρού βολβού, δηλαδή αφαιρώντας το βαμβακερό κάλυμμα (φιτίλι). Στην περίπτωση αυτή οι ενδείξεις των αισθητήρων είναι ταυτόσημες. Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα που δίνει τη σχέση θερμοκρασίας - αντίστασης για το ψυχρόμετρο της Delta-T Devices:



Διάγραμμα 5.1. Σχέση της μεταβολής αντίστασης R_{delta} του οργάνου με τη θερμοκρασία

Το ψυχρόμετρο αυτό είναι ακριβείας και για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση των ψυχομέτρων. Χρησιμοποιώντας το πολυώνυμο αυτού του οργάνου για τα έξι Thermistor των ψυχομέτρων που κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο, παρατηρείται ότι αποκλίνουν σημαντικά από τους αισθητήρες του ψυχομέτρου της Delta-T Devices. Έτσι πρέπει να βαθμονομηθούν.

Αρχικά πρέπει να εξακριβωθεί ότι ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνονται οι μετρήσεις είναι σωστός. Γι' αυτό ενεργοποιείται το καταγραφικό και λαμβάνονται παράλληλα μετρήσεις των αισθητήρων μας με αυτούς του ψυχομέτρου της Delta-T Devices.

Οι ενδείξεις παρατηρούνται σε ένα φορητό υπολογιστή, οπότε είναι δυνατόν να παρατηρούνται συγχρόνως και οι οχτώ αισθητήρες.

Σ' αυτό το στάδιο της βαθμονόμησης είναι επιθυμητό οι αισθητήρες να βρίσκονται όλοι στο ίδιο περιβάλλον και μάλιστα όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφο. Για να επιτευχθεί αυτό τοποθετούνται οι αισθητήρες στο νερό και έτσι η περιβάλλουσα θερμοκρασία είναι η ίδια. Για να παίρνονται όλες οι

παραπάνω μετρήσεις χρησιμοποιείται το πολυώνυμο του ψυχρομέτρου της Delta-T Devices. Το εύρος των θερμοκρασιών στο οποίο παίρνονται οι μετρήσεις είναι -1°C έως 65°C .

Η διαδικασία τοποθέτησης των αισθητήρων στο νερό έχει ως εξής:

Συγκεντρώνονται και οι οχτώ αισθητήρες και τυλίγονται με μία σακούλα πολυαιθυλενίου. Είναι απαραίτητο οι άκρες όλων των αισθητήρων να είναι στο ίδιο επίπεδο. Δένονται σταθερά και ερμητικά στο επάνω μέρος, ώστε να μην μπαίνει νερό στη σακούλα και διαβρέχονται οι αισθητήρες. Αν διαβρέχονται σταθερά σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί βλάβη ή να τροποποιηθούν οι μετρήσεις. Στη συνέχεια τοποθετούνται οι αισθητήρες σε ένα πλαστικό δοχείο με ανοιχτό στόμιο που περιέχει νερό βρύσης.

Πιο συγκεκριμένα για τη λήψη θερμοκρασιών στους 0°C και στους 65°C ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Θερμοκρασία 0°C : Γίνεται θρυμματισμός μερικών κύβων πάγου και στη συνέχεια τοποθετούνται στο δοχείο. Ακολουθεί προσθήκη νερού βρύσης τόσο ώστε οι αισθητήρες να είναι καλά τοποθετημένοι μέσα στο νερό. Η αναλογία πάγου - νερού να είναι τέτοια ώστε η θερμοκρασία να μειωθεί στους 0°C . Στα κομμάτια πάγου να δίνεται προσοχή να μην είναι ιδιαίτερα μεγάλα. Παρατηρήθηκε ότι όταν τα κομμάτια πάγου είναι μεγάλα ή καθόλου θρυμματισμένα, η θερμοκρασία δεν είναι εξίσου ομοιόμορφη παντού. Αισθητήρες που βρίσκονται δίπλα στα κομμάτια πάγου παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτούς που τη δεδομένη στιγμή είναι σε επαφή μόνο με νερό. Όταν ο πάγος θρυμματίζεται, επιτυγχάνεται ομοιόμορφο περιβάλλον.

Θερμοκρασία 65°C : Θερμαίνεται το νερό και όταν η θερμοκρασία του φτάσει στους 65°C , γίνεται έγχυση του στο άδειο δοχείο. Κατά τη διαδικασία της αλλαγής του νερού από κρύο σε ζεστό ή το αντίθετο, υπάρχει ένα χρονικό διάστημα που οι αισθητήρες εκτίθενται σε θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, πράγμα ανεπιθύμητο αφού τα Thermistor ανταποκρίνονται γρήγορα σε βίαιες μεταβολές της θερμοκρασίας αλλά αναπόφευκτο. Οι τιμές θερμοκρασίας που λαμβάνονται στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι μη αξιόπιστες.

Οι ενδιάμεσες θερμοκρασίες στις οποίες λαμβάνονται μετρήσεις, επιτυγχάνονται κατά την ομαλή εξομοίωση του κρύου (0 °C) ή του ζεστού νερού (65 °C) με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Βίαιες εναλλαγές της θερμοκρασίας οδηγούν σε μη αξιόπιστες μετρήσεις.

Οι μετρήσεις χρονικά λαμβάνονταν κάποιες ημέρες από τα διαστήματα 8-12-2000 έως 21-12-2000, 8-1-2001 έως 17-1-2001, 14-3-2001 έως 24-3-2001 και 22-5-2001 έως 13-7-2001.

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας γίνονται σε όλο το εύρος θερμοκρασιών από -1 °C έως 65 °C, με στόχο να ληφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες μετρήσεις για κάθε τιμή. Στη συνέχεια γίνεται επεξεργασία των δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται συσχέτιση της θερμοκρασίας του ψυχομέτρου της Delta-T Devices με τις τιμές των αντιστάσεων των αισθητήρων μας. Ως θερμοκρασία του οργάνου μάρτυρα θεωρείται η μέση θερμοκρασία των δύο αισθητήρων του, η οποία στο εξής θα αποκαλείται T_{mean} . Από τις συσχετίσεις οι οποίες είναι πολυωνυμικές προκύπτουν έξι πολυώνυμα, ένα για κάθε αισθητήρα.

Οι συντελεστές αυτών των πολυωνύμων χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός προγράμματος, το οποίο αν δοθεί στον καταγραφέα, κάθε αισθητήρας θα δείχνει την ίδια θερμοκρασία. Οι συντελεστές αυτοί που προκύπτουν από τις καμπύλες βαθμονόμησης των αισθητήρων, είναι οι εξής:

	Rtd_1	Rtd_2	Rtd_3	Rtd_4	Rtd_5	Rtd_6	Rtd_delta
C0	90.824	90.234	96.971	94.97	93.135	92.626	89.04399
C1	-24.23	-22.835	-28.597	-28.17	-24.894	-25.173	-70.98
C2	3.1543	2.7912	4.0674	4.0974	3.196	3.3726	29.98097
C3	-0.2085	-0.1734	-0.2805	-0.2868	-0.2012	-0.2255	-6.67962
C4	0.0053	0.0041	0.0072	0.0074	0.0047	0.0057	0.71555
C5							-0.02911

Πίνακας 5.2

Το πρόγραμμα που προκύπτει είναι το παρακάτω:

; $\{CR10\}$

*Table 1 Program

01: 5.0000 Execution Interval (seconds)

1: Excite-Delay (SE) (P04)

1: 6 Reps

2: 35 2500 mV 50 Hz Rejection Range (Delay must be zero)

3: 1 SE Channel

4: 1 Excite all reps w/Exchan 1

5: 0 Delay (units 0.01 sec)

6: 2100 mV Excitation

7: 1 Loc

8: .0005 Mult

9: 0 Offset

2: BR Transform $Rf[X/(1-X)]$ (P59)

1: 6 Reps

2: 1 Loc

3: 11.69 Multiplier (Rf)

3: Polynomial (P55)

1: 1 Reps

2: 1 X Loc

3: 9 F(X) Loc

4: 90.824 C0

5: -24.23 C1

6: 3.1543 C2

7: -0.2085 C3

8: 0.0053 C4

9: 0 C5

4: Polynomial (P55)

1: 1 Reps
2: 2 X Loc
3: 10 F(X) Loc
4: 90.234 C0
5: -22.835 C1
6: 2.7912 C2
7: -0.1734 C3
8: 0.0041 C4
9: 0.0 C5

5: Polynomial (P55)

1: 1 Reps
2: 3 X Loc
3: 11 F(X) Loc
4: 96.971 C0
5: -28.597 C1
6: 4.0674 C2
7: -0.2805 C3
8: 0.0072 C4
9: 0 C5

6: Polynomial (P55)

1: 1 Reps
2: 4 X Loc
3: 12 F(X) Loc
4: 94.97 C0
5: -28.17 C1
6: 4.0974 C2
7: -0.2868 C3
8: 0.0074 C4

9: 0 C5

7: Polynomial (P55)

1: 1 Reps

2: 5 X Loc

3: 13 F(X) Loc

4: 93.135 C0

5: -24.894 C1

6: 3.196 C2

7: -.2012 C3

8: 0.0047 C4

9: 0.0 C5

8: Polynomial (P55)

1: 1 Reps

2: 6 X Loc

3: 14 F(X) Loc

4: 92.626 C0

5: -25.173 C1

6: 3.3726 C2

7: -0.2255 C3

8: 0.0057 C4

9: 0 C5

9: Excite-Delay (SE) (P4)

1: 2 Reps

2: 35 2500 mV 50 Hz Rejection Range (Delay must be zero)

3: 7 SE Channel

4: 3 Excite all reps w/Exchan 3

5: 0 Delay (units 0.01 sec)

6: 2100 mV Excitation

7: 7 Loc
8: .0005 Mult
9: 0 Offset

10: BR Transform $Rf[X/(1-X)]$ (P59)

1: 2 Reps
2: 7 Loc
3: 11.69 Multiplier (Rf)

11: Polynomial (P55)

1: 2 Reps
2: 7 X Loc
3: 15 F(X) Loc
4: 89.044 C0
5: -70.98 C1
6: 29.981 C2
7: -6.6796 C3
8: .7155 C4
9: -.0291 C5

*Table 2 Program

01: 5.0000 Execution Interval (seconds)

1: If time is (P92)

1: 0 Minutes (Seconds --) into a
2: 1 Interval (same units as above)
3: 10 Set Output Flag High

2: Real Time (P77)

1: 220 Day,Hour/Minute (midnight = 2400)

3: Average (P71)

1: 8 Reps
2: 1 Loc

4: Average (P71)

1: 8 Reps
2: 9 Loc

*Table 3 Subroutines

End Program

-Input Locations-

1 _____ 5 3 2
2 _____ 9 3 2
3 _____ 9 3 2
4 _____ 9 4 2
5 _____ 9 3 2
6 _____ 17 3 2
7 _____ 5 3 2
8 _____ 17 3 2
9 _____ 5 1 1
10 _____ 1 1 1
11 _____ 1 1 1
12 _____ 1 1 2
13 _____ 1 1 1
14 _____ 1 1 1
15 _____ 5 1 1
16 _____ 17 1 1

-Program Security-

0

0

0

-Mode 4-

-Final Storage Area 2-

0

Επιθυμητό θα ήταν στο ίδιο σύστημα αξόνων να τοποθετηθούν όλες οι γραμμές συσχέτισης και να συμπίπτουν. Έτσι θα υπήρχε ένα πολυώνυμο. Το ότι είναι επιθυμητό να υπάρχει ένα πολυώνυμο έχει να κάνει με τον καταγραφέα (datalogger), καθώς πολλά πολυώνυμα σημαίνει ότι χρησιμοποιείται μεγαλύτερο μέρος από τη μνήμη του.

5.3 Ανάλυση σφαλμάτων θερμοκρασίας

5.3.1 Γενικά στοιχεία για τα σφάλματα μετρήσεων

Κατά τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους το αποτέλεσμα έστω x , πάντα διαφέρει από την πραγματική τιμή του. Η πραγματική τιμή του μεγέθους είναι άγνωστη αλλά βρίσκεται κοντά στην τιμή x κατά $\pm \Delta x$. Το μέγεθος αυτό Δx είναι το σφάλμα της μέτρησης. Συνήθως το αποτέλεσμα της μέτρησης γράφεται, $x \pm \Delta x$.

Το Δx εκφράζεται με τις ίδιες μονάδες μέτρησης με το x και είναι το απόλυτο σφάλμα σε αντίθεση με το σχετικό σφάλμα που είναι ο λόγος $\Delta x / x$ και εκφράζεται επί τοις %.

Τυχαίο σφάλμα είναι αυτό που ποικίλει κατά τυχαίο τρόπο όταν το άγνωστο μέγεθος μετριέται επαναληπτικά.

Συστηματικό είναι αυτό που παραμένει σταθερό ή ποικίλει κατά ένα τρόπο που μπορεί να προσδιοριστεί όταν η ίδια ποσότητα μετριέται επαναληπτικά κάτω από τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Αν ένα συστηματικό σφάλμα είναι γνωστό τότε μπορεί να γίνει διόρθωση στη μέτρηση.

Η ακρίβεια μιας μέτρησης προσδιορίζεται από το μέγεθος του σφάλματος με το οποίο συνοδεύεται. **Σε καμία περίπτωση η ακρίβεια μιας μέτρησης δεν μπορεί να υπερβεί την ακρίβεια βαθμονόμησης του οργάνου μέτρησης ακόμα και κάτω από τις πιο ιδανικές συνθήκες μέτρησης.**

5.4 Μετρήσεις σε συνθήκες θερμοκηπίου

5.4.1 Μέθοδος

Στις 1 Ιουλίου 2002 έγινε τοποθέτηση του οργάνου στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο. Στο εν λόγω θερμοκήπιο ήταν εγκατεστημένη υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και μελιτζάνας. Το θερμοκήπιο ήταν τροποποιημένο τοξωτό διαστάσεων 8 x 20 (m²). Το υλικό κάλυψης ήταν πολυαιθυλένιο και ο αερισμός ήταν φυσικός και εξασφαλιζόταν με πλαϊνά παράθυρα.

Σκοπός ήταν η λήψη μετρήσεων σχετικής υγρασίας σε συνθήκες θερμοκηπίου. Οι αισθητήρες υγρού βολβού ήταν καλυμμένοι με το βαμβακερό κάλυμμα και διαβρεγμένοι.

Οι μετρήσεις αφορούν την περίοδο 1 έως 9 Ιουλίου 2002. Ανά δύο μέρες γινόταν έλεγχος της ορθής λειτουργίας των τριών ψυχομετρικών μονάδων καθώς και του ψυχομέτρου της Delta-T Devices.



10.1 Καλυμμένος αισθητήρας υγρού βολβού

Οι ψυχρομετρικές μονάδες βρίσκονται σε ύψος 0,85 m, 1 m, 1,25 m αντίστοιχα από την επιφάνεια του εδάφους και δίπλα στο ένα πλαϊνό παράθυρο του θερμοκηπίου. Υπάρχει δυνατότητα να εναλλάσσεται το ύψος των ψυχρομετρικών μονάδων πάνω στο σκελετό καθώς και των δοχείων. Τα δοχεία προσδένονται με σχοινί πάνω στο σκελετό και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να είναι κυμαινόμενο το ύψος τους.

Την 1-7-2002, τα δοχεία τοποθετήθηκαν σε ύψος 4 cm από τους αισθητήρες και προστέθηκε απιονισμένο νερό. Στο ψυχρόμετρο αναφοράς η απόσταση μεταξύ αισθητήρων και δοχείου ήταν περίπου 10 cm.

Ακολουθεί σύνδεση των αισθητήρων με τον καταγραφέα και με τη βοήθεια φορητού υπολογιστή δίνεται σ' αυτόν το πρόγραμμα που περιγράφηκε στο όγδοο κεφάλαιο. Οι ενδείξεις, οι οποίες είναι θερμοκρασία ξηρού και υγρού παρατηρούνταν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όταν δεν χρησιμοποιούταν ο υπολογιστής οι ενδείξεις παρατηρούνταν στο Keyboard Display CR10KD. Η λήψη μετρήσεων γινόταν ανά 10 λεπτά.

Στις 3-7-2002, πραγματοποιήθηκε ο πρώτος έλεγχος και έγινε συλλογή των δεδομένων. Διαπιστώθηκε ότι τα βαμβακερά καλύμματα και των τριών ψυχρομετρικών μονάδων ήταν στεγνά και μάλιστα καθ' όλο το χρονικό διάστημα. Αντίθετα η παροχή νερού στο ψυχρόμετρο αναφοράς ήταν κανονική.

Πριν αρχίσει η μέτρηση της σχετικής υγρασίας έπρεπε να γίνει καλή διαβροχή των βαμβακερών καλυμμάτων για κάποιες ώρες και στη συνέχεια να επιτευχθούν μετρήσεις σχετικής υγρασίας. Αυτό σε συνδυασμό με το μεγάλο μήκος του καλύμματος και τις πολύ υψηλές τιμές θερμοκρασίας είχε ως αποτέλεσμα να μην διαβραχούν τα καλύμματα και να μην επιτευχθούν μετρήσεις σχετικής υγρασίας. Στο ψυχρόμετρο της Delta-T Devices το κάλυμμα ήταν πιο κοντό και η απόσταση αισθητήρα υγρού βολβού – δοχείου, μεγαλύτερη. Έτσι αν και δεν έγινε αρχικά διαβροχή επιτεύχθηκαν μετρήσεις σχετικής υγρασίας.

Αφού έγιναν οι παραπάνω παρατηρήσεις, πραγματοποιήθηκε διαβροχή των αισθητήρων σε όλο το μήκος τους και προστέθηκε νερό σε όλα τα δοχεία, καθώς και σε αυτό του ψυχρομέτρου αναφοράς. Στο δοχείο του ψυχρομέτρου

αναφοράς οι απώλειες είχαν φτάσει γύρω στα 100 ml αφού η παροχή νερού ήταν κανονική ενώ στα άλλα δοχεία η απώλεια ήταν πολύ μικρή.

Στις 6-7-2002, έγινε δεύτερος έλεγχος και παρατηρήθηκε ότι και πάλι τα βαμβακερά καλύμματα ήταν στεγνά. Ακολούθησε συλλογή των δεδομένων και παρατηρήθηκε ότι τα καλύμματα διατηρήθηκαν για κάποιες ώρες υγρά και στη συνέχεια στέγνωσαν. Εκτός από το μεγάλο μήκος του καλύμματος και τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ένα άλλο μειονέκτημα ήταν η απόσταση των αισθητήρων υγρού βολβού από τα δοχεία, η οποία τελικά θεωρήθηκε μικρή. Επίσης δεν δόθηκε η απαιτούμενη προσοχή στην καθαριότητα του καλύμματος των αισθητήρων γεγονός που μπορεί να επηρέασε την σωστή λειτουργία του.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν τα δοχεία πιο ψηλά, δηλαδή στα 10 cm από τους αισθητήρες. Ο μάρτυρας συνέχισε να αντεπεξέρχεται κανονικά. Αυτή τη φορά δεν προστέθηκε νερό αφού οι απώλειες ήταν όπως και παραπάνω.

Στις 8-7-0002 πραγματοποιήθηκε ένας ακόμα έλεγχος. Παρατηρήθηκε ότι μόνο μία ψυχομετρική μονάδα με αισθητήρες τους R_5 και R_6 παρείχε κανονικά νερό στον αισθητήρα υγρού βολβού. Τα καλύμματα των άλλων δύο καθώς και του μάρτυρα ήταν στεγνά. Από τα δεδομένα παρατηρήθηκε ότι ενώ έδιναν κανονικές μετρήσεις μετά από κάποια χρονική στιγμή στέγνωσαν τα καλύμματα. Στη συνέχεια προστέθηκε νερό στα δοχεία.

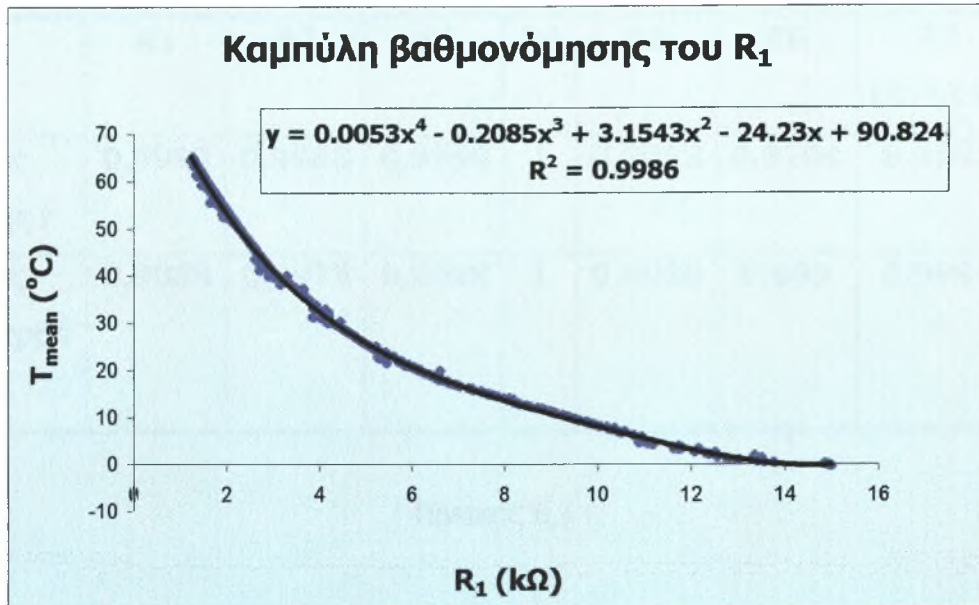
Στις 9-7-2002 παρατηρήθηκε ότι τα καλύμματα και των τριών ψυχομετρικών μονάδων ήταν στεγνά εκτός από αυτό του μάρτυρα. Ακολούθησε συλλογή των δεδομένων και επεξεργασία τους στο εργαστήριο.

6 Αποτελέσματα

6.1 Βαθμονόμηση στο εργαστήριο

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης προκειμένου να ληφθούν μετρήσεις θερμοκρασίας σε όλο το εύρος θερμοκρασιών από $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, προκαλούνταν κάποιες ανεπιθύμητες μεταβολές στο περιβάλλον των αισθητήρων. Αυτό γινόταν είτε προσθέτοντας θρυμματισμένο πάγο για να μειωθεί η θερμοκρασία, είτε προσθέτοντας ζεστό νερό για να ανεβεί η θερμοκρασία. Έτσι μέχρι να επιτευχθεί η ομοιομορφία στο περιβάλλον τους, οι μετρήσεις θερμοκρασίας δεν ήταν αξιόπιστες. Κάνοντας τις συσχετίσεις της T_{mean} με την αντίσταση του κάθε αισθητήρα παρατηρούνται έντονες αποκλίσεις. Για να γίνει εξακρίβωση ότι οι αποκλίσεις οφείλονται στη δική μας παρεμβολή και όχι σε σφάλμα του αισθητήρα γίνονται τα γραφήματα της θερμοκρασίας T_i του κάθε αισθητήρα με το χρόνο σε ώρες. Είναι πολύ σημαντικό να ελεγχθεί αν οι αποκλίσεις συμβαίνουν την ίδια χρονική στιγμή για όλους τους αισθητήρες. Τα σημεία αυτά απορρίπτονται προκειμένου να επιτευχθούν ακριβείς καμπύλες βαθμονόμησης.

Οι τελικές καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε αισθητήρα παρουσιάζονται παρακάτω:



Διάγραμμα 6.1. Σχέση της μεταβολής της αντίστασης R_1 με τη θερμοκρασία T_{mean}

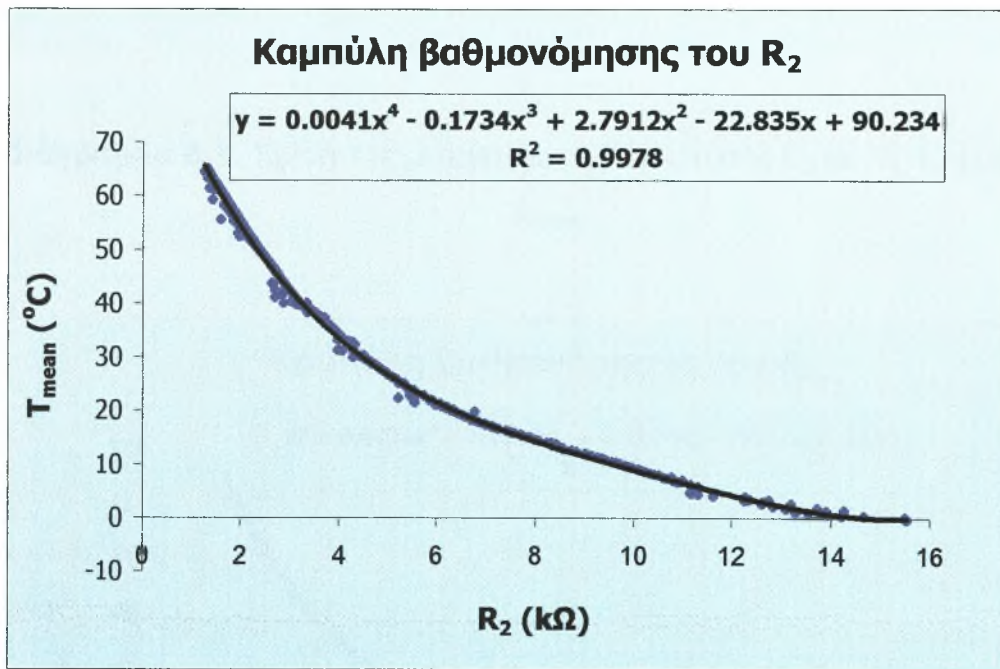
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.1 ο συντελεστής προσδιορισμού, R^2 , έχει την τιμή 0,9986, είναι δηλαδή πολύ κοντά στη μονάδα γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί με ακρίβεια να υπολογιστεί η μία τιμή από την άλλη.

Να αναφερθεί ότι ο συντελεστής R^2 προέρχεται από το συντελεστή συσχέτισης r , υψώνοντας τον στο τετράγωνο. Ο r παίρνει την τιμή 0,9992 γεγονός που σημαίνει ότι υπάρχει απόλυτη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Μάλιστα, πρόκειται για αρνητική συσχέτιση αφού όταν αυξάνεται η τιμή της αντίστασης, η τιμή της θερμοκρασίας μειώνεται.

Το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες καμπύλες βαθμονόμησης όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

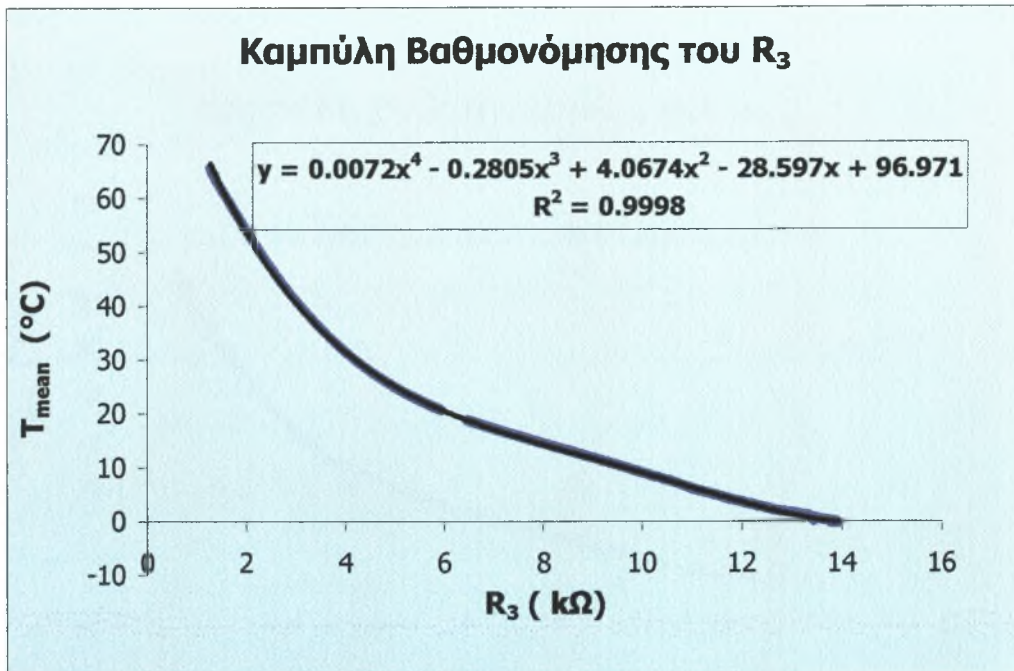
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7 (DELTA)	R8 (DELTA)
Συντ/της συσχέτισης r	0,9992	0,9988	0,9998	1	0,9993	0,9994	0,9991	0,9991
Συντ/της προσδιορισμού R ²	0,9986	0,9978	0,9998	1	0,9988	0,999	0,9984	0,9984

Πίνακας 6.1

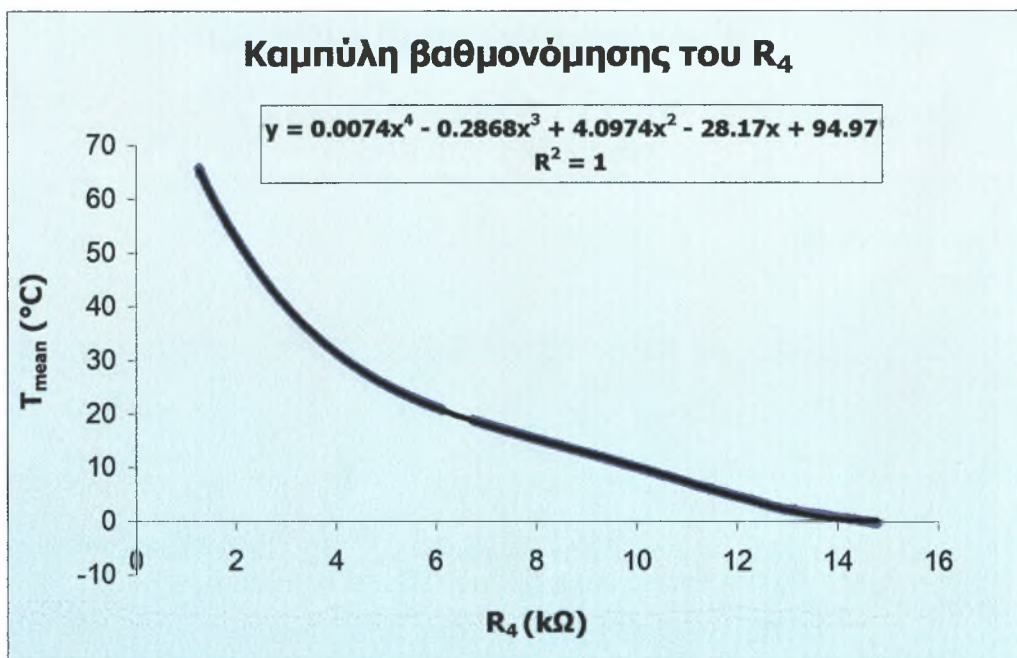


Διάγραμμα 6.2. Σχέση της μεταβολής της αντίστασης R₂ με τη θερμοκρασία

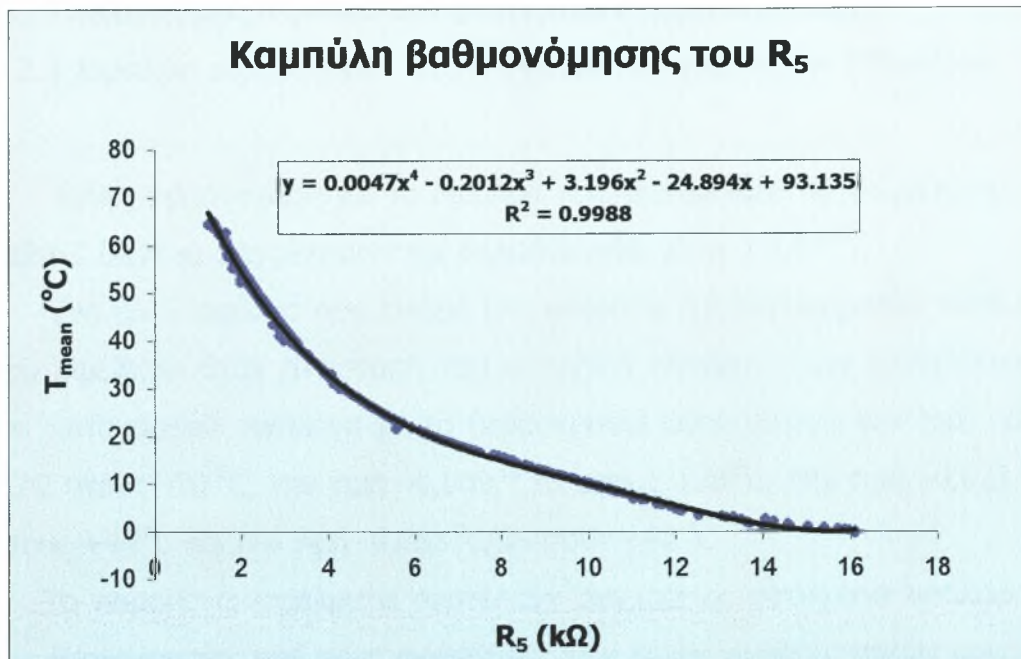
T_{mean}



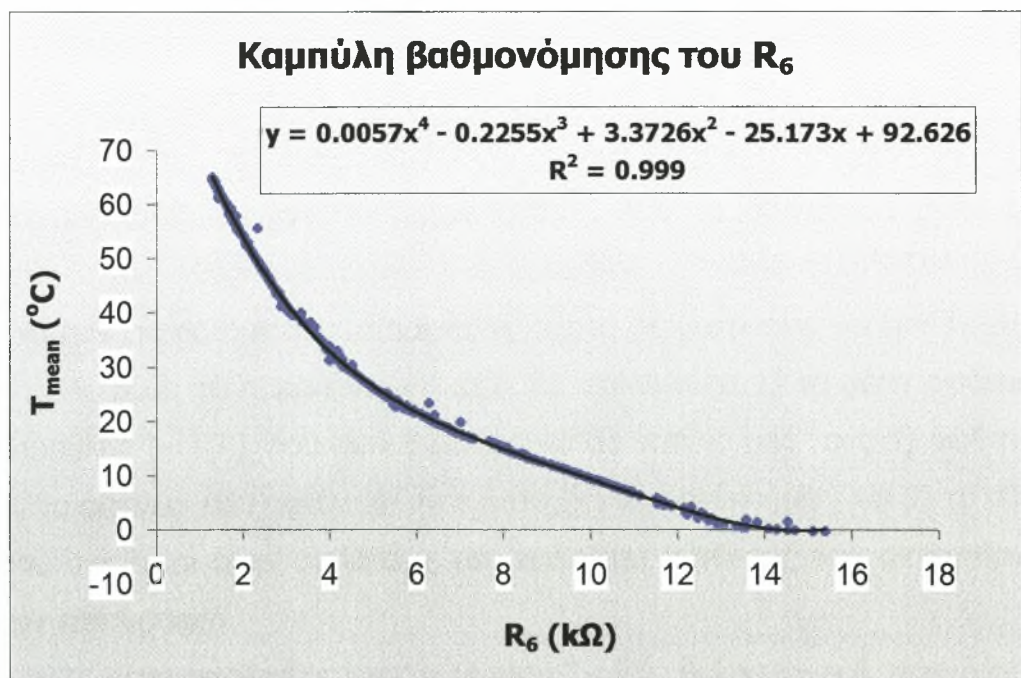
Διάγραμμα 6.3. Σχέση της μεταβολής της αντίστασης R_3 με τη θερμοκρασία T_{mean}



Διάγραμμα 6.4. Σχέση της μεταβολής της αντίστασης R_4 με τη θερμοκρασία T_{mean}



Διάγραμμα 6.5. Σχέση της μεταβολής της αντίστασης R_5 με τη θερμοκρασία T_{mean}



Διάγραμμα 6.6. Σχέση της μεταβολής της αντίστασης R_6 με τη θερμοκρασία T_{mean}

6.2 Υπολογισμός σφαλμάτων μετρήσεων θερμοκρασίας

6.2.1 Σφάλμα οφειλόμενο στο ψυχρόμετρο της Delta-T Devices

Όπως προαναφέρθηκε το σφάλμα που παρουσιάζει το ψυχρόμετρο της Delta-T Devices στη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι $\pm 0,2$ °C.

Ένα άλλο σφάλμα που επιδρά στη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι αυτό που οφείλεται στην αντίσταση του καλωδίου σύνδεσης των αισθητήρων με τον καταγραφέα. Ανάλογα με τη θερμοκρασία αυτό παίρνει την τιμή $-0,001$ °C/Ω στους -20 °C, την τιμή $-0,009$ °C/Ω στους $+20$ °C, την τιμή $-0,023$ °C/Ω στους $+40$ °C και την τιμή $-0,055$ °C/Ω στους $+60$ °C.

Τα παραπάνω σφάλματα αποτελούν συγχρόνως σφάλματα υπολογισμού της θερμοκρασίας από τους αισθητήρες των τριών ψυχρομετρικών μονάδων, αφού η βαθμονόμησή τους έγινε με βάση το παραπάνω όργανο.

6.2.2 Σφάλμα οφειλόμενο στη βαθμονόμηση των Thermistor

Όπως προαναφέρθηκε οι αισθητήρες, Thermistor, που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες μετρήσεις, βαθμονομήθηκαν σε εύρος θερμοκρασιών από -1 °C έως 65 °C. Με τη διαδικασία βαθμονόμησης βρέθηκαν τα ζευγάρια (T_i, R_i) , θερμοκρασίας και αντίστασης αντίστοιχα. Από τα ζευγάρια (T_i, R_i) με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων βρέθηκαν τα πολυώνυμα $5^{ου}$ βαθμού $T = f(R)$ που εκφράζουν συναρτησιακά τη σχέση θερμοκρασίας και αντίστασης.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία θα υπολογιστεί 1) το μέσο σφάλμα της καμπύλης $T = f(R)$, που είναι διαφορετικό για καθένα από τους έξι αισθητήρες, 2) το σφάλμα που οφείλεται στον καταγραφέα (datalogger) και 3) το σφάλμα που οφείλεται στην αντίσταση του καλωδίου σύνδεσης των αισθητήρων με τον καταγραφέα.

Το μέσο σφάλμα (ε_γ) της καμπύλης $T = f(R)$ βρίσκεται από τη σχέση:

$$\varepsilon_\gamma = \left\{ \left(\frac{1}{N} \right) \times \sum_{i=1}^N \{ T_i - f(R_i) \}^2 \right\}^{0,5} \quad (6.1)$$

όπου N είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Για κάθε αισθητήρα υπολογίστηκε το μέσο σφάλμα της καμπύλης και τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

Αισθητήρας (kΩ)	ϵ_{γ} (°C)
R₁	0,0423
R₂	0,0527
R₃	0,0128
R₄	0,0075
R₅	0,0542
R₆	0,037

Πίνακας 6.2

Τα σφάλματα που οφείλονται στον καταγραφέα είναι:

- αυτό που οφείλεται στο σύστημα ασφάλισης του και παίρνει την τιμή 0,08 %.
- αυτό που οφείλεται στο σήμα διαμόρφωσης και παίρνει την τιμή 0,03%.

Το σφάλμα που οφείλεται στην αντίσταση του καλωδίου σύνδεσης των αισθητήρων με τον καταγραφέα, σύμφωνα με τον κατασκευαστή θα θεωρηθεί αμελητέο.

Οι αισθητήρες ανά δύο αποτελούν την κάθε ψυχομετρική μονάδα οπότε συνεπάγεται από τα παραπάνω το σφάλμα της καθεμίας.

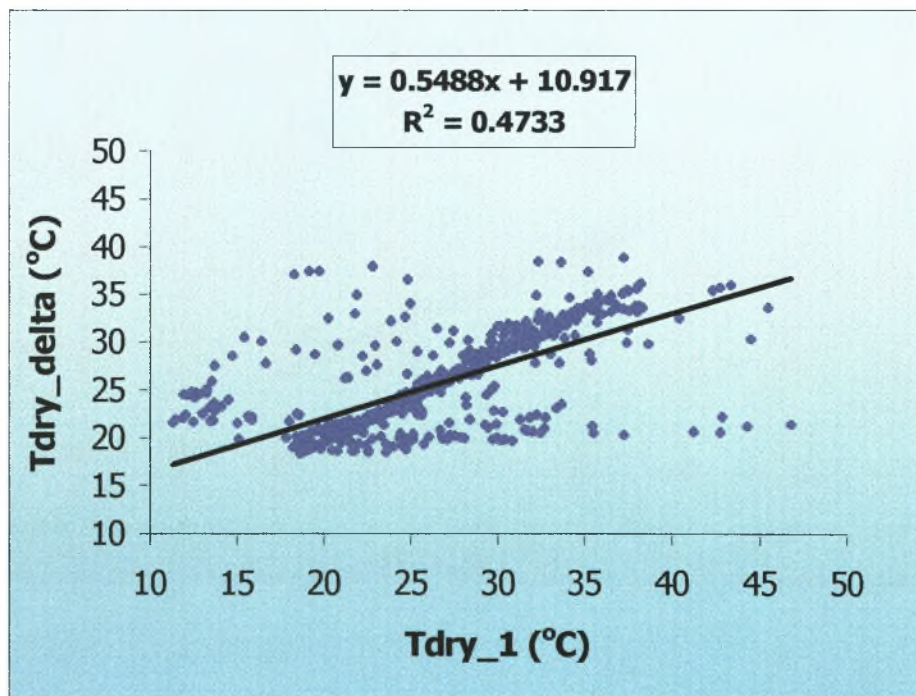
Όσον αφορά τα σφάλματα στη μέτρηση της υγρασίας από την κάθε ψυχομετρική μονάδα είναι αυτά που προαναφέρθηκαν καθώς ο υπολογισμός της υγρασίας γίνεται με βάση τη θερμοκρασία ξηρού και υγρού βολβού.

6.3 Μετρήσεις στο θερμοκήπιο

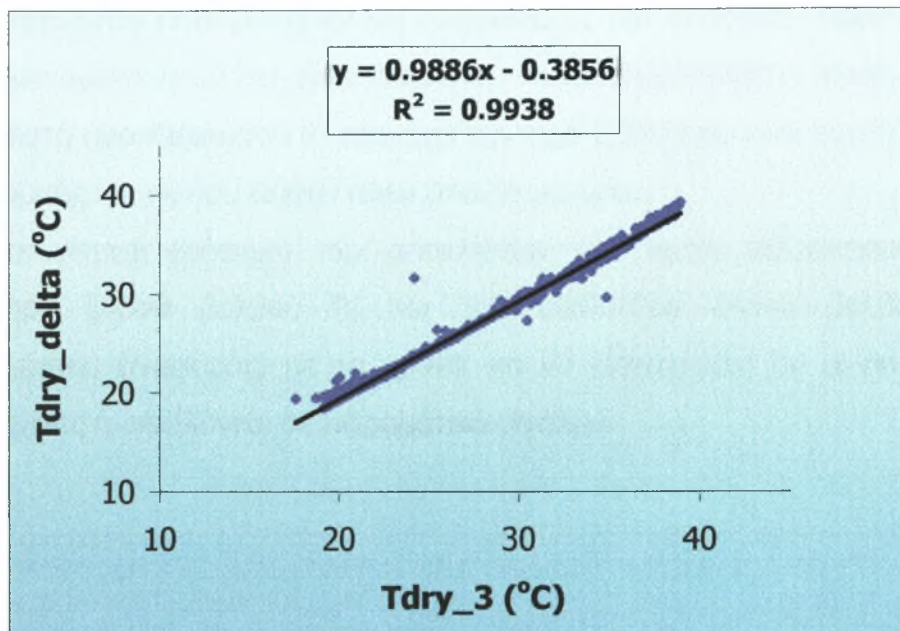
Για να εξακριβωθεί η δυνατότητα του ψυχομέτρου, που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο γεωργικών κατασκευών και ελέγχου περιβάλλοντος, να δίνει αξιόπιστες μετρήσεις σχετικής υγρασίας, έγινε γραμμική συσχέτιση της θερμοκρασίας του αισθητήρα ξηρού βολβού της κάθε ψυχομετρικής μονάδας με αυτή του αισθητήρα ξηρού βολβού ψυχομέτρου αναφοράς, καθώς και της θερμοκρασίας υγρού βολβού της κάθε ψυχομετρικής μονάδας με την αντίστοιχη του ψυχομέτρου αναφοράς.

6.3.1 Συσχέτιση θερμοκρασιών αισθητήρων ξηρού βολβού

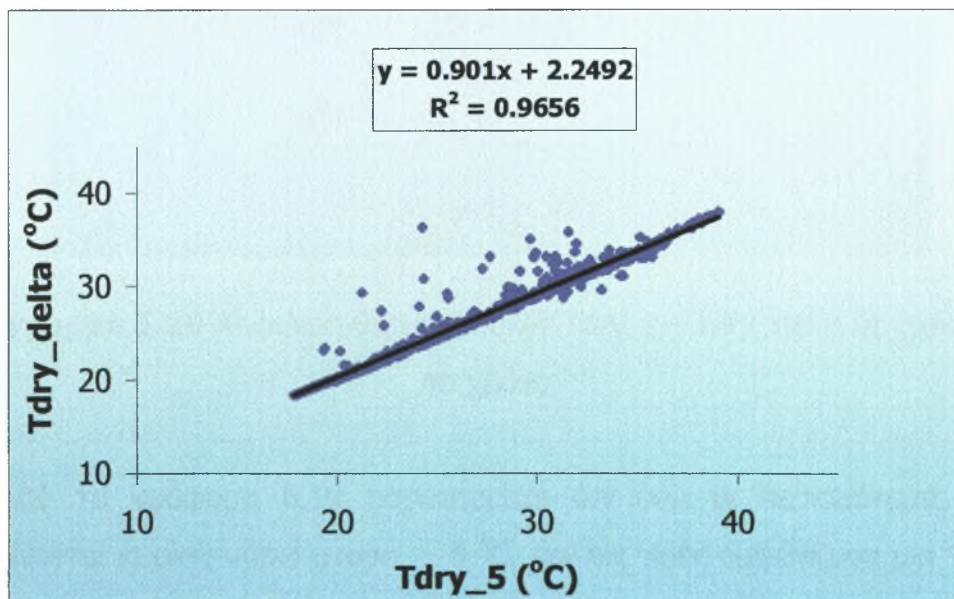
Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των πιο αντιπροσωπευτικών ημερών, παρουσιάζονται τα παρακάτω γραφήματα των γραμμικών συσχετίσεων:



Διάγραμμα 6.7 Γραμμική συσχέτιση θερμοκρασίας ξηρού βολβού ψυχομετρικής μονάδας Tdry_1 και ψυχομέτρου αναφοράς Tdry_delta



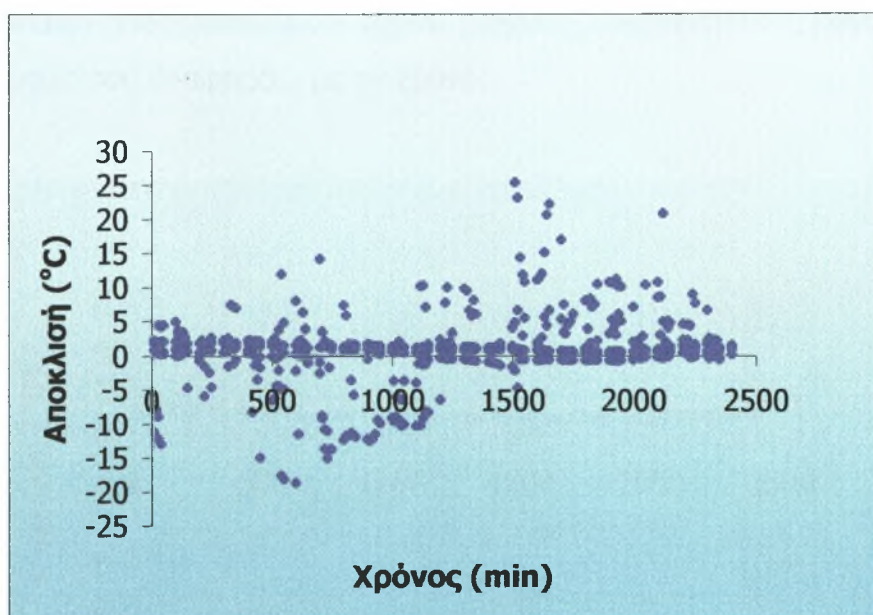
Διάγραμμα 6.8 Γραμμική συσχέτιση θερμοκρασίας Ξηρού βολβού ψυχομετρικής μονάδας Tdry_3 και ψυχομέτρου αναφοράς Tdry_delta



Διάγραμμα 6.9 Γραμμική συσχέτιση θερμοκρασίας Ξηρού βολβού ψυχομετρικής μονάδας Tdry_5 και ψυχομέτρου αναφοράς Tdry_delta

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.7, η συσχέτιση μεταξύ των τιμών των μεταβλητών είναι μικρή αν και σύμφωνα με την καμπύλη βαθμονόμησης το αναμενόμενο ήταν να είναι απόλυτη. Αυτό αποδεικνύεται τόσο από το συντελεστή προσδιορισμού R^2 που έχει την τιμή 0,4733 όσο και από την κλίση της γραμμής τάσης που απέχει πολύ από τη μονάδα.

Έτσι γίνεται γράφημα των αποκλίσεων των τιμών θερμοκρασίας του αισθητήρα ξηρού βολβού R_1 και του αισθητήρα ξηρού βολβού του ψυχομέτρου αναφοράς, με το χρόνο για να διαπιστωθεί αν οι αποκλίσεις είναι τυχαίες ή οφείλονται σε πειραματικό σφάλμα:



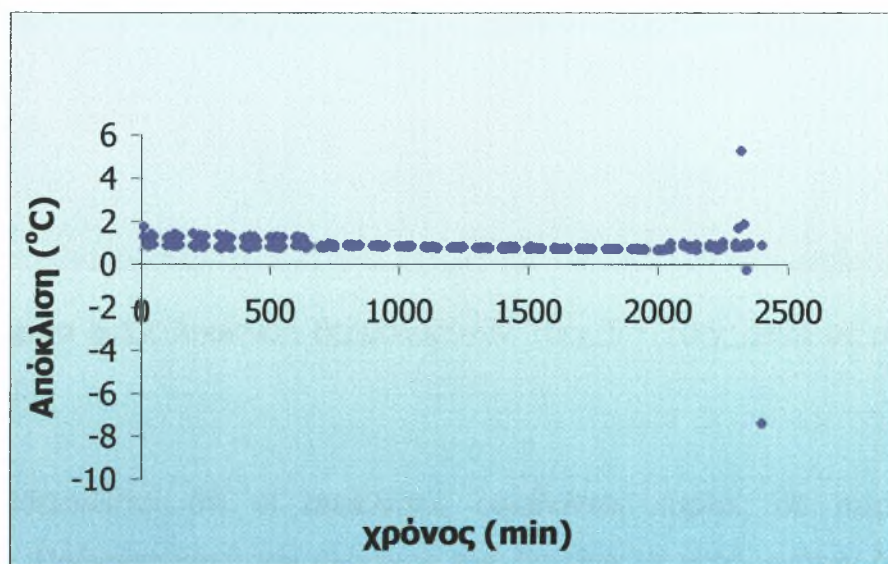
Διάγραμμα 6.10 Απόκλιση θερμοκρασιών $T_{dry_1} - T_{dry_delta}$ σε σχέση με το χρόνο

Από το γράφημα 6.10 παρατηρείται ότι ενώ οι περισσότερες τιμές κυμαίνονται κυρίως γύρω στους ± 5 °C, πολλές τιμές εμφανίζουν μια τυχαία διασπορά ως προς τον άξονα x, δεν οφείλονται δηλαδή σε συγκεκριμένες μεταχειρίσεις. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε λόγω ευαισθησίας της σύνδεσης του αισθητήρα με τον καταγραφέα (είναι από τους αισθητήρες που παρουσίαζαν πρόβλημα στη σύνδεση) ή γιατί έχει επηρεαστεί κάποιο από τα

χαρακτηριστικά του όπως η ακρίβειά του, ο χρόνος απόκρισης, η βαθμονόμησή του.

Στο διάγραμμα 6.8 παρουσιάζεται η συσχέτιση θερμοκρασιών του αισθητήρα ξηρού βολβού R_3 και του αισθητήρα ξηρού βολβού του ψυχομέτρου αναφοράς. Από αυτό αποδεικνύεται ότι ο αισθητήρας απέδωσε πλήρως σε συνθήκες θερμοκηπίου όπως ήταν αναμενόμενο από την καμπύλη βαθμονόμησης. Υπάρχει απόλυτη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών όπως αυτό φαίνεται και από τον συντελεστή προσδιορισμού που έχει την τιμή 0,9938 και από την κλίση της γραμμής τάσης που τείνει στη μονάδα.

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.11 παριστάνεται γραφικά η απόκλιση των θερμοκρασιών των αισθητήρων ξηρού βολβού (ψυχομετρικής μονάδας, R_3 , και ψυχομέτρου αναφοράς) με το χρόνο:

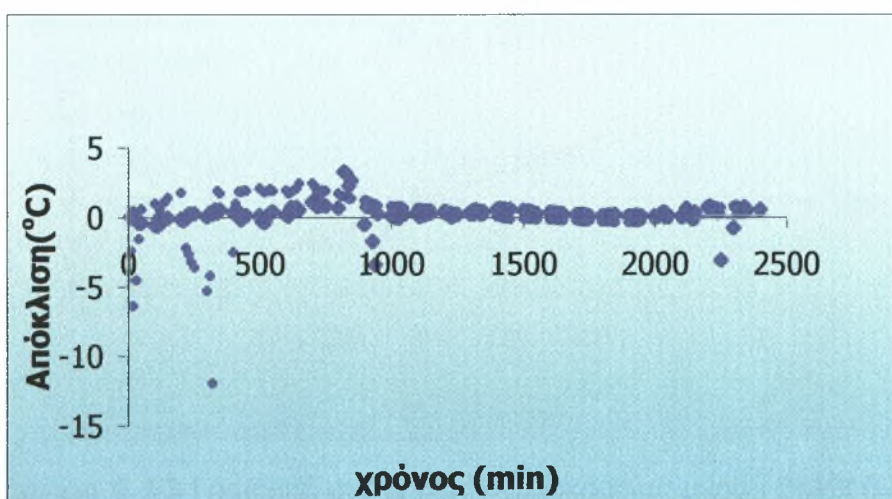


Διάγραμμα 6.11 Απόκλιση θερμοκρασιών $T_{dry_3} - T_{dry_delta}$ σε σχέση με το χρόνο

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται ότι υπάρχει σταθερά μία απόκλιση του αισθητήρα ξηρού βολβού της ψυχομετρικής μονάδας από αυτή του ψυχομέτρου αναφοράς που οφείλεται είτε στη βαθμονόμηση του είτε σε πειραματικό σφάλμα είτε στη απόδοσή του σε περιβάλλον θερμοκηπίου.

Η θερμοκρασία του αισθητήρα ξηρού βολβού R_5 συσχετίζεται με τη θερμοκρασία του αισθητήρα ξηρού βολβού του ψυχομέτρου αναφοράς στο διάγραμμα 6.9. Αποδεικνύεται ότι και αυτός ο αισθητήρας απέδωσε πολύ καλά στο θερμοκήπιο τόσο από τον συντελεστή προσδιορισμού όσο και από την κλίση της γραμμής τάσης που πλησιάζει τη μονάδα.

Στο παρακάτω διάγραμμα 6.12 παριστάνεται γραφικά η απόκλιση των θερμοκρασιών των αισθητήρων ξηρού βολβού (ψυχομετρικής μονάδας, R_5 , και ψυχομέτρου αναφοράς) με το χρόνο:

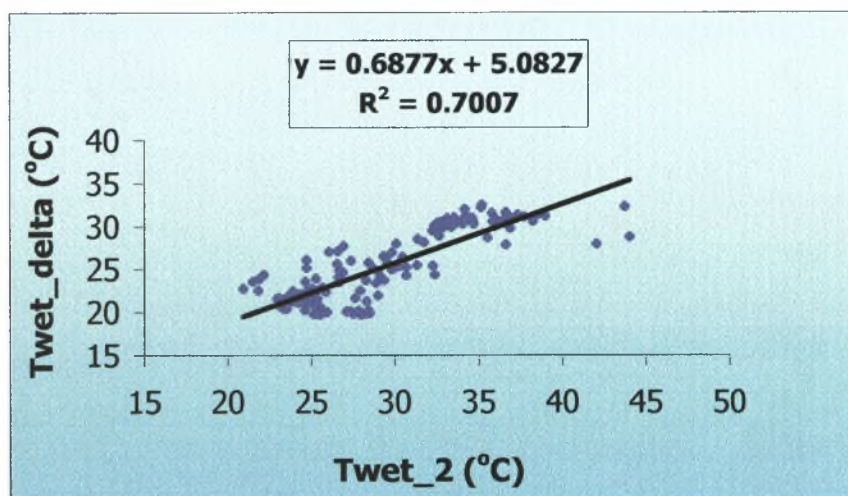


Διάγραμμα 6.12 Απόκλιση θερμοκρασιών $T_{dry_5} - T_{dry_delta}$ σε σχέση με το χρόνο

Αποδεικνύεται ότι οι αποκλίσεις οφείλονται κυρίως σε πειραματικό σφάλμα. Πράγματι κατά την πλήρωση των δοχείων με νερό γινόταν διαβροχή και των αισθητήρων ξηρού βολβού με αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμοκρασία στην επιφάνειά τους και να προκαλούνται έτσι αποκλίσεις στις μετρήσεις. Αντίστοιχα κατά τη συλλογή των μετρήσεων γινόταν διακοπή της λειτουργίας του ανεμιστήρα με συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του αισθητήρα και την πρόκληση αποκλίσεων. Πέρα από αυτές τις αποκλίσεις παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις κυμαίνονται γύρω στο μηδέν.

6.3.2 Συσχέτιση θερμοκρασιών αισθητήρων υγρού βολβού

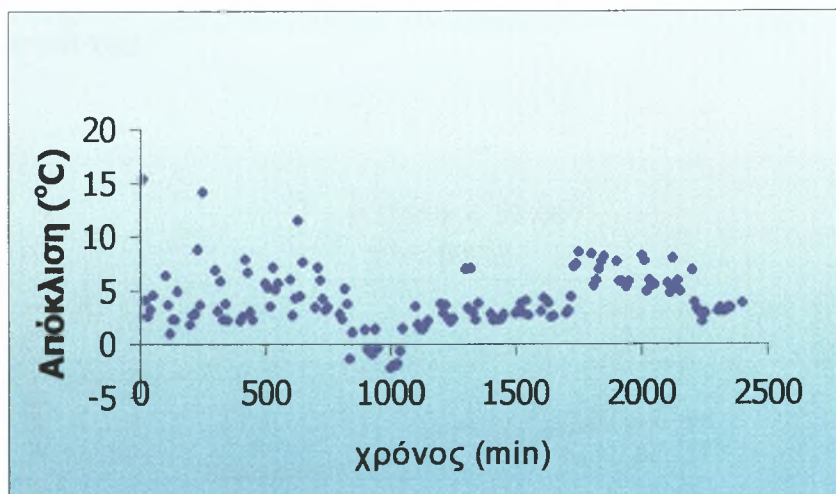
Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των πιο αντιπροσωπευτικών ημερών, έγιναν οι γραμμικές συσχετίσεις των θερμοκρασιών αισθητήρων υγρού βολβού με τη θερμοκρασία του αισθητήρα υγρού βολβού του ψυχομέτρου αναφοράς.



Διάγραμμα 6.13 Γραμμική συσχέτιση θερμοκρασίας υγρού βολβού Twet_2 ψυχομετρικής μονάδας και Twet_delta ψυχομέτρου αναφοράς

Από το διάγραμμα 6.13 παρατηρείται ότι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι μικρή. Είναι σημαντικό να εξεταστεί αν αυτή η διασπορά των τιμών οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα ή είναι τυχαία.

Έτσι παριστάνεται γραφικά η απόκλιση της θερμοκρασίας υγρού με το χρόνο:



Διάγραμμα 6.14 Απόκλιση θερμοκρασιών $T_{wet_2} - T_{wet_delta}$ σε σχέση με το χρόνο

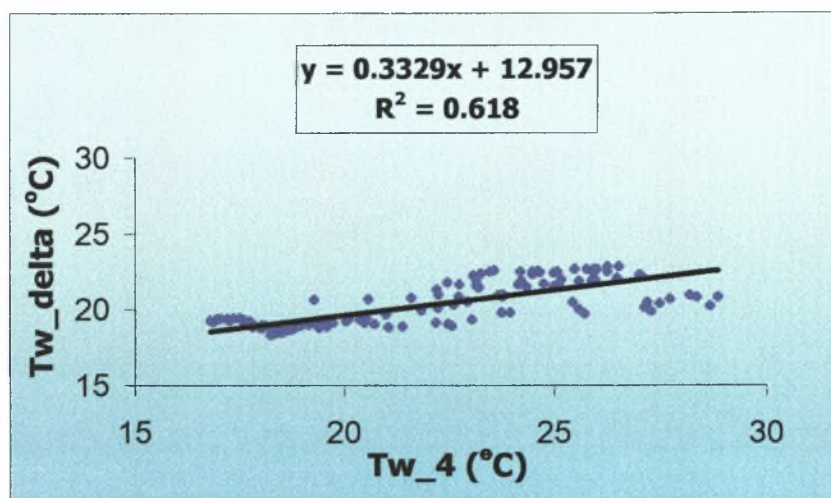
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.14, ο αισθητήρας έδωσε κάποιες ενδείξεις θερμοκρασίας υγρού βολβού αλλά γενικά ήταν στεγνός. Επίσης κατά τη διάρκεια της νύχτας μειώνεται η απόκλιση των δύο θερμοκρασιών υγρού βολβού αλλά αυτό οφείλεται στην πτώση της θερμοκρασίας στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και όχι σε κανονική διαβροχή του αισθητήρα.

Όπως αναφέρθηκε ο αισθητήρας R_2 ήταν σχεδόν πάντα στεγνός εκτός από ελάχιστες ώρες. Επιπλέον για να γίνεται σωστή διαβροχή των αισθητήρων υγρού βολβού γινόταν κάποιες επεμβάσεις όπως μεταβολή του ύψους των δοχείων σε σχέση με τους αισθητήρες, διακοπή της λειτουργίας των ανεμιστήρων για να επιτευχθούν οι παραπάνω αλλαγές ή για να ληφθούν οι μετρήσεις, απότομη διαβροχή των αισθητήρων όταν ήταν στεγνοί.

Οι παράγοντες αυτοί σε συνδυασμό με την ευαισθησία στις συνδέσεις των αισθητήρων με τον καταγραφέα αλλά και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο περιβάλλον του θερμοκηπίου (στέγνωσαν πιο εύκολα τα καλύμματα), συνετέλεσαν στις παραπάνω αποκλίσεις.

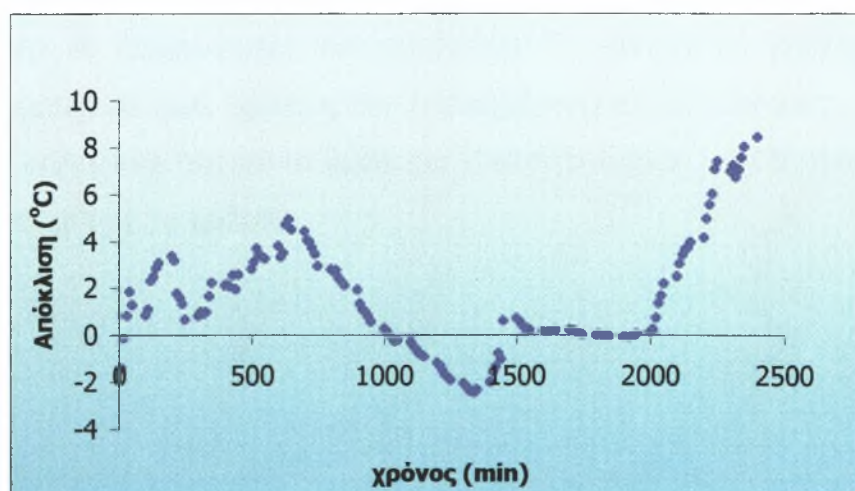
Τέλος ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που μπορεί να συνέβαλε στο στέγνωμα των αισθητήρων και στις αποκλίσεις των τιμών είναι η προσκόλληση ρύπων στην επιφάνεια των βαμβακερών καλυμμάτων. Δεν

δόθηκε η απαιτούμενη προσοχή σ' αυτόν τον παράγοντα παρά τη σημαντικότητά του.

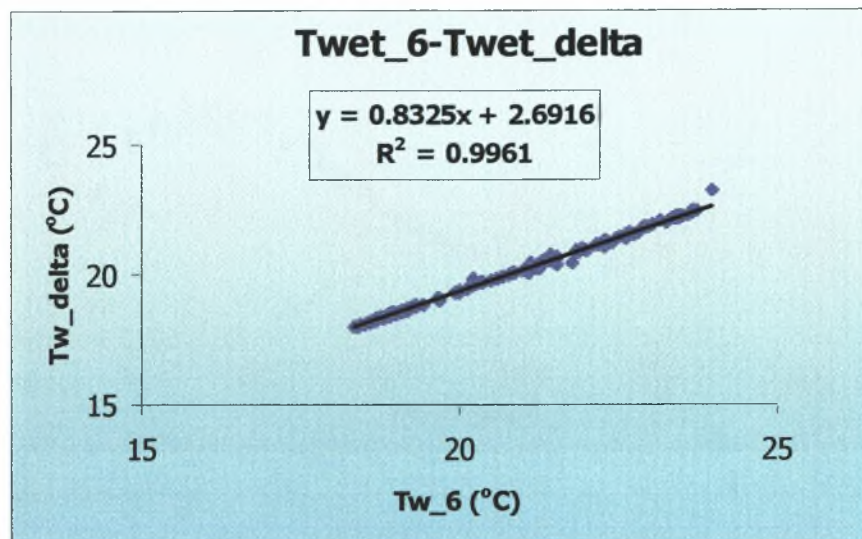


Διάγραμμα 6.15 Γραμμική συσχέτιση θερμοκρασίας Twet_4 υγρού βολβού ψυχομετρικής μονάδας και Twet_delta ψυχομέτρου αναφοράς

Τα ίδια ισχύουν και για τον αισθητήρα R₄ όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6.15 αλλά και από τις αποκλίσεις των θερμοκρασιών υγρού του αισθητήρα R₄ και του αισθητήρα του οργάνου αναφοράς.



6.16 Η διαφορά των θερμοκρασιών Twet_4- Twet_delta σε σχέση με το χρόνο

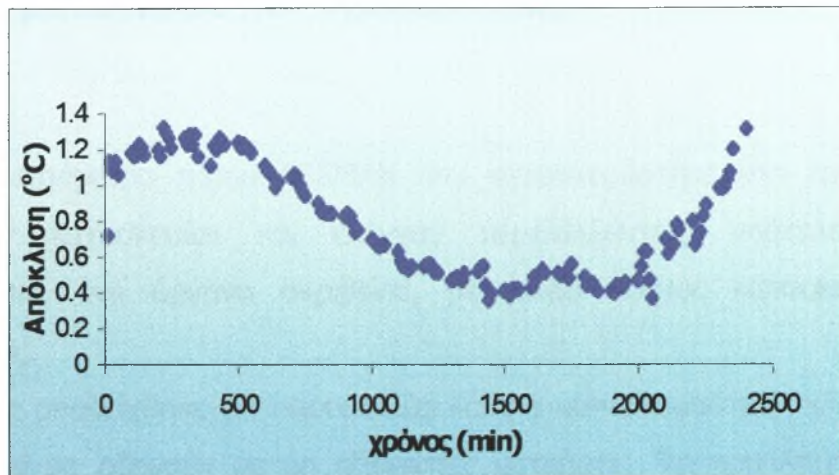


Διάγραμμα 6.17 Γραμμική συσχέτιση θερμοκρασίας υγρού βολβού ψυχομετρικής μονάδας Twet_6 και ψυχομέτρου αναφοράς Twet_delta

Στο διάγραμμα 6.17 παρατηρείται ότι σε συνθήκες κανονικής παροχής νερού στον αισθητήρα, αυτός απέδωσε πλήρως παρά τη συμβολή των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω, στη μείωση της απόδοσης των αισθητήρων.

Έτσι γνωρίζοντας τη θερμοκρασία του αισθητήρα R_5 (αισθητήρας ξηρού βολβού) και τη θερμοκρασία του αισθητήρα R_6 μπορεί να υπολογιστεί η σχετική υγρασία με τους τρόπους που αναφέρθηκαν στο 6^ο κεφάλαιο.

Τέλος παρακάτω δίνεται το γράφημα των αποκλίσεων των θερμοκρασιών υγρού σε σχέση με το χρόνο:



Διάγραμμα 6.18 Απόκλιση θερμοκρασιών $T_{wet_4} - T_{wet_delta}$ σε σχέση με το χρόνο

7 Συμπεράσματα - Προοπτικές

Το ψυχρόμετρο τύπου ASSMAN που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο γεωργικών κατασκευών και ελέγχου περιβάλλοντος, αποτελεί, όπως αποδείχθηκε, ένα όργανο ακριβείας, με μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

Επίσης αποδείχθηκε ότι παρουσιάζει κάποια κατασκευαστικά προβλήματα που μπορεί να οδηγούν σε μη αξιόπιστες μετρήσεις. Τα προβλήματα αυτά είναι απαραίτητο να επιλυθούν προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το ψυχρόμετρο ευρύτερα.

Πιο συγκεκριμένα η χρήση του ήταν αρκετά δύσκολη για τους εξής λόγους:

- ❖ Οι συνδέσεις των αισθητήρων με τον καταγραφέα ήταν ευαίσθητες σε απότομες μετακινήσεις με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται αποκλίσεις στις μετρήσεις.
- ❖ Είναι μεγάλο σε μέγεθος και αυτό δημιουργούσε δυσκολίες τόσο στη μεταφορά του όσο και στην τοποθέτησή του στο χώρο του θερμοκηπίου. Έτσι τοποθετήθηκε δίπλα στο ανοιχτό παράθυρο. Η τοποθέτησή του σ' αυτό το σημείο μπορεί να ευθύνεται επίσης για σφάλματα στις μετρήσεις είτε εξαιτίας της επίδρασης της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος είτε εξαιτίας της προσκόλλησης περισσότερων ρύπων στο βαμβακερό κάλυμμα.
- ❖ Δεν υπήρχαν σταθερές θήκες για τα δοχεία νερού με αποτέλεσμα τη μη κανονική παροχή νερού στον αισθητήρα υγρού βολβού. Το αποτέλεσμα ήταν αποκλίσεις στις μετρήσεις θερμοκρασίας υγρού.

Αν επιλυθούν τα παραπάνω προβλήματα είναι πολύ πιθανόν το ψυχρόμετρο να έχει τη δυνατότητα να παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις σχετικής υγρασίας.

Μία τέτοια επιτυχία μπορεί να εξασφαλίσει στο εργαστήριο εξοπλισμό φθινό και μεγάλης ακρίβειας που να καλύπτει τις απαιτήσεις στη μέτρηση της σχετικής υγρασίας.

Επίσης μπορεί να δώσει το έναυσμα για κατασκευή και άλλων οργάνων μέτρησης διαφόρων παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΥ – ΣΕΝΔΟΥΚΑ ΣΤΕΛΛΑ. 1998 .Γεωργικός πειραματισμός. Σημειώσεις Π. Θ.
- ΓΡΑΦΙΑΔΕΛΛΗΣ. 1987. Σύγχρονα θερμοκήπια
- CR10 MEASUREMENT AND CONTROL MODULE. Νοέμβριος 1993. Instruction manual
- ΔΤ Delta-T Devices. Instruments for environmental and industrial measurement. Ιούλιος 1994. Co-operatively owned and managed. User manual VP1-UM-2
- ESMAY L. MERLE, DIXON E. JOHN. Environmental Control for Agricultural Buildings
- ΚΙΤΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ. 2000. Θερμοκρασία-Υγρασία-Ακτινοβολία, Διατάξεις και όργανα μετρήσεων. Εργαστηριακές σημειώσεις Π. Θ.
- ΚΙΤΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ. 2000. Ι. Θερμοκήπια. Σημειώσεις Π. Θ.
- ΚΥΡΙΤΣΗΣ – ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ. ΑΘΗΝΑ. Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων. Θερμοκήπια
- LIPTAK G. BELA , Editor-in-Chief. 1993. Temperature measurement
- ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ. 1990. Θερμοκήπια (Περιβάλλον – Υλικά – Κατασκευή – Εξοπλισμός)
- L. MICHALSKI, K. ECKERSDORF, J. Mc GHEE. 1991. Temperature measurement
- NARENDRA S. GOEL and JOHN M. NORMAN, Editor in chief: FRANCOIS BECKER. 1990. Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions
- ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ. Σημειώσεις ανάλυσης σφαλμάτων μετρήσεων θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας-ηλιακής ακτινοβολίας (ολικής και καθαρής)-ταχύτητας ανέμου
- G. M. WHITE, I.J. ROSS. HUMIDITY (Κεφάλαιο από άγνωστο βιβλίο)

ΠΗΓΕΣ INTERNET

<http://www.aquarien.com/thermlab>. Some Analytical and Approximate
Darcian Means

<http://www.wuntronic.de/sensors/thermist.htm>

130.39.236.59/readlingdir/be_3361/precip/psychchart.gif

