



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ»

ΣΩΖΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΜ: 7855

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ ΜΠΙΣΔΟΥΝΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

**ΠΑΤΡΑ 2024**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, (ημερομηνία)

## ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1.

2.

3.

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων ιδεών ή λέξεων είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για την συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει και απαραίτητα την αποδοχή των απόψεων του Συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Δημητρίου Σώζου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημοσίευσης, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οποιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση «μεταφόρτωση»(downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς την ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας /δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Copyright © Σώζος Δημήτριος, 2024

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

## Περίληψη

Το θερμοκήπιο ως κατασκευή έχει το πλεονέκτημα ότι δημιουργεί ευνοϊκότερες συνθήκες περιβάλλοντος για την βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγή των καλλιεργούμενων προϊόντων καθώς και τις προστασίας τους από δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Για την κατασκευή του διατίθεται μια πληθώρα υλικών όπου η χρήση του κάθε ενός έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η επιλογή τους καθορίζει και τις δυνατότητες την παραγωγής.

Η αυτοματοποίηση δίνει το πλεονέκτημα να διαμορφώνει ο παραγωγός τις συνθήκες που αυτός επιθυμεί να υπάρχουν , ώστε ανάλογα και με το είδος της καλλιέργειας να ρυθμίζει την απόδοση και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Επειδή για να μπορεί κάποιος να σχεδιάζει και να διαμορφώνει τους αυτοματισμούς του θερμοκηπίου , από τον πηγαίο κώδικα του αυτοματισμού μέχρι απλές αλλαγές για την διαμόρφωση των συνθηκών απαιτείται η άριστη γνώση της λειτουργίας των φυτών και πώς επιδρά κάθε παράγοντας του περιβάλλοντος στην υγεία ,την παραγωγή και την απόδοση μίας καλλιέργειας. Έτσι αναλύεται διεξοδικά ο ρόλος του κάθε παράγοντα που επιδρά στο κλίμα του θερμοκηπίου και πως μια αλλαγή ενός παράγοντα επηρεάζει κάποιον άλλο και φυσικά το κλίμα.

Αφού γίνει πλήρως κατανοητό το πώς λειτουργούν και πώς αντιδρούν τα φυτά σε κάθε παράγοντα του περιβάλλοντος αναλύονται οι τεχνικές και οι διαδικασίες που υπάρχουν για την διαμόρφωση του κάθε παράγοντα και όλων μαζί στον καθορισμό του κλίματος μέσα στο θερμοκήπιο.

Αφού επιλεγθούν οι διαδικασίες και οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν γίνεται μια ανάλυση όλων των μηχανισμών και των μέσων που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του αυτοματισμού καθώς και οι κατάλληλες προσαρμογές για να είναι αυτά αποδοτικά και αποτελεσματικά.

Γίνεται μια ανάλυση συγκεκριμένων ιδιοτήτων και δυνατοτήτων των κρίσιμων υλικών που επιλέχθηκαν για την συγκεκριμένη εφαρμογή και πώς με βάση αυτά μπορούμε να επεκτείνουμε μελλοντικά τις δυνατότητες του θερμοκηπίου για καλύτερο έλεγχο και παρακολούθηση του κλίματος.

Τέλος αναπτύσσεται ο προγραμματισμός σε γλώσσα Ladder με βάση το πρόγραμμα EcoStruxure Machine Expert-Basic της Schneider Electric βάσει του λογικού διαγράμματος ροής.

## **Abstract**

Automation gives the advantage that the producer can shape the conditions he wishes to exist, so that depending on the type of cultivation he can adjust the performance and the quality of the products produced.

For its construction, a multitude of materials are available where the use of each one has advantages and disadvantages and their choice determines the possibilities of production.

Automation gives the advantage that the producer can shape the conditions he wishes to exist, so that depending on the type of cultivation he can adjust the performance and the quality of the products produced.

Because in order for someone to be able to design and configure the automation of the greenhouse, from the source code of the automation to simple changes to configure the conditions, an excellent knowledge of the functioning of plants and how each environmental factor affects health, production and the yield of a crop. Thus, the role of each factor affecting the greenhouse climate is thoroughly analyzed and how a change in one factor affects another and of course the climate.

After it is fully understood how plants work and how they react to each environmental factor, the techniques and procedures that exist for shaping each factor and all together in determining the climate inside the greenhouse are analyzed.

After selecting the procedures and techniques to be used, an analysis is made of all the mechanisms and means that will be used to implement the automation as well as the appropriate adjustments to be efficient and effective.

An analysis is made of specific properties and capabilities of the critical materials chosen for the specific application and how based on these we can expand the greenhouse's capabilities in the future for better climate control and monitoring.

Finally, the programming in Ladder language is developed based on the program EcoStruxure Machine Expert-Basic of Schneider Electric based on the logical flowchart

## Περιεχόμενα

Περίληψη

Abstract

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή.....

1.1 Το Θερμοκήπιο ως κατασκευή και η χρησιμότητά του.....

1.2 Ιστορική εξέλιξη του Θερμοκηπίου.....

1.2.1 Υλικά κατασκευής σκελετού Θερμοκηπίου.....

1.2.2 Υλικά κάλυψης Θερμοκηπίου.....

Κεφάλαιο 2: Παράγοντες που επιδρούν στα φυτά.....

2.1 Παράγοντες που επιδρούν στο υπέργειο μέρος του φυτού.....

2.1.1 Η Ακτινοβολία.....

2.1.2 Η Θερμοκρασία-Θερμότητα.....

2.1.3 Η Υγρασία.....

2.1.4 Το Διοξείδιο του Άνθρακα.....

2.2 Παράγοντες που επιδρούν στη ρίζα του φυτού.....

2.2.1 Το Νερό.....

2.2.2 Το Οξυγόνο.....

2.2.3 Η Θερμοκρασία της ρίζας.....

Κεφάλαιο 3: Οι παράγοντες Ελέγχου του Μικροκλίματος του Θερμοκηπίου...

3.1 Η Σκίαση.....

3.2 Ο Αερισμός.....

3.2.1 Φυσικός ή Παθητικός Αερισμός.....

3.2.2 Δυναμικός Αερισμός.....

3.3 Ο Δροσισμός.....

3.4 Ρύθμιση της Σχετικής Υγρασίας.....

3.5 Η Θέρμανση.....

Κεφάλαιο 4: Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (PLC).....

## Κεφάλαιο 5: Οι Επικοινωνίες Δεδομένων των Αισθητήρων

- 5.1 Τα Πρότυπα RS232 , RS422 , RS485.....
- 5.2 Ο Βρόγχος 4-20mA.....
- 5.3 Το Πρότυπο Modbus.....

## Κεφάλαιο 6: Τα Αισθητήρια του Θερμοκηπίου.....

- 6.1 Αισθητήρια Θερμοκρασίας.....
- 6.2 Αισθητήρια Υγρασίας.....
- 6.3 Πυρανόμετρο- Αισθητήρας PAR.....
- 6.4 Ανεμόμετρο.....

## Κεφάλαιο 7: Στοιχεία του υπό μελέτη Θερμοκηπίου.....

- 7.1 Υπολογισμός Κινητήρα Παραθύρων.....
- 7.2 Υπολογισμός Ανεμιστήρων και Υγρού Τοιχώματος.....
- 7.3 Υπολογισμός Αντλίας Νερού Υγρού τοιχώματος.....

## Κεφάλαιο 8; Πρόγραμμα Αυτοματισμού.....

- 8.1 Διάγραμμα Ροής Προγράμματος
- 8.2 Σχεδιασμός και απαιτήσεις υλικού για το πρόγραμμα
- 8.3 Πρόγραμμα σε γλώσσα Ladder

A/A	ΑΡΙΘ ΠΙΝΑΚΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΙΝΑΚΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	2.1	Καθαρή φωτοσύνθεση	20
2	2.2	Ψυχομετρικό Διάγραμμα(Mollier)	21
3	3.1	Ρυθμός εξαερισμού ανάλογα την ταχύτητα ανέμου	27
4	8.1	Διάγραμμα Ροής Αυτοματισμού	59
5			

A/A	ΑΡΙΘ ΠΙΝΑΚΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΙΝΑΚΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	2.1	Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας στην Ελλάδα	17
2	3.1	Αποτελέσματα Εναλλαγών Αέρα στη Θερμοκρασία	26
3	3.2	Συνολικός συντελεστής Θερμοπερατότητας	32
4	3.3	Διαφυγές αέρα από Ανοίγματα	32
5	4.1	Χαρακτηριστικά PLC	38
6	8.1	Καταχωρητές Πυρανόμετρου	60
7	8.2	Καταχωρητές Αισθητήρα Θερμοκρασίας	59
	8.3	Καταχωρητές Αισθητήρα Σχετικής Υγρασίας	62
	8.4	Καταχωρητές Αισθητήρα Ταχύτητας-Διεύθυνσης Ανέμου	63

A/A	ΑΡΙΘ ΠΙΝΑΚΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΙΝΑΚΑ	ΣΕΛΙΔΑ
1	3.1	Χωροθέρτηση Ανεμιστήρων Ανάδευσης Αέρα	25
2	3.2	Αερισμός με διαφορά πίεσης λόγω Ανέμου	26
3	3.3	Αερισμός από Διαφορά Πίεσης λόγω Θερμοκρασίας	27
4	5.1	Σχεδιάγραμμα προτύπου RS485	40
5	5.2	Σχηματικό Κυκλώματος βρόχου 4-20 mA	40
6	5.3	Διασύνδεση Συσκευών με διαφορετικά Πρωτόκολλα μέσω Gateway	41
7	5.4	Ροή πακέτων στο πρότυπο Modbus	42
8	5.5	Σχηματικό Κυκλώματος διαύλου Modbus με αντιστάσεις προστασίας	43
	6.1.1	Διάταξη Αισθητήρων Θερμοκρασίας	44
	6.1.2	Διάταξη Αισθητήρων Θερμοκρασίας	45
	6.2	Αντιπροσωπευτική Θερμοκρασία Συνόλου Αισθητήρων Θερμοκρασίας	45
	6.3.1	Κύκλωμα προσαρμογής αισθητηρίου RTD με 2 καλώδια	46
	6.3.2	Κύκλωμα προσαρμογής αισθητηρίου RTD με 3 καλώδια	47
	6.4	Χωροθέρτηση Αισθητηρίων εντός και εκτός Θερμοκηπίου σε Ιστό	52
	7.1	Διαστάσεις υπό μελέτη Θερμοκηπίου	53
	7.2.1	Παράθυρα Κάτω	54
	7.2.2	Παράθυρα Πάνω	55



## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

### 1.1 Το Θερμοκήπιο ως κατασκευή και η χρησιμότητά του

Θερμοκήπιο είναι μια 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. Διαφέρει από άλλες παρόμοιες κατασκευές, όπως π.χ τα χαμηλά σκέπαστρα, τα σπορεία και τα θερμοσπορεία, διότι τα θερμοκήπια είναι αρκετά ψηλά και ευρύχωρα, έτσι ώστε να είναι δυνατόν ο άνθρωπος να εργάζεται μέσα σε αυτά. Τα θερμοκήπια μπορεί να εξοπλισμένα με σύστημα θέρμανσης ή όχι.

Πλην των άλλων χαρακτηριστικών τους επομένως, που αφορούν την παραγωγή των φυτών, το θερμοκήπιο προσφέρει και προστασία των εργαζομένων μέσα σ' αυτό από αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Γενικά, ο σκοπός της χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η προστασία της καλλιέργειας από αντίξοα καιρικά φαινόμενα και κυρίως η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Με το θερμοκήπιο γενικά:

- Αποφεύγονται ζημιές της καλλιέργειας από τον άνεμο, τη βροχή, το χιόνι και το χαλάζι.
- Ανάλογα με τον εξοπλισμό του, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών, όπως της ακτινοβολίας, της θερμότητας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, προς την επιθυμητή κατεύθυνση.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως του νερού, του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου (pH) σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών (με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών μεθόδων).
- Παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα, λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού. Επιπλέον, σ' ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης των συνθηκών του περιβάλλοντος, έτσι ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, η ανάπτυξη των φυτασθενειών είναι πολύ σπανιότερη απ' ότι σε συνθήκες που δεν παρέχεται τέτοια δυνατότητα.

Ειδικότερα σε θερμοκήπια στα οποία γίνεται μια απλή τροποποίηση του περιβάλλοντος των φυτών μόνο με την κατασκευή, χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό, μπορεί να επιτευχθεί :

- πρωίμιση ή οψίμιση της παραγωγής φυτικών προϊόντων και
- αποφυγή ζημιών της καλλιέργειας από άνεμο, βροχή, χιόνι και χαλάζι.

Στα θερμοκήπια στα οποία γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, με εξειδικευμένο εξοπλισμό μπορεί να επιτευχθεί:

- χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, ώστε το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής να σταλεί στην αγορά σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν έξω από το θερμοκήπιο,

- αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών του περιβάλλοντος και της προστασίας που προσφέρει το θερμοκήπιο από τα αντίξοα καιρικά φαινόμενα.

Βέβαια, ένα σύγχρονο θερμοκήπιο δεν αρκεί μόνο να προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία και διατήρηση του ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, αλλά θα πρέπει να παρέχει και η δυνατότητα για την παραγωγή φυτικών προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η ακρίβεια με την οποία ρυθμίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών και η δαπάνη για τη δημιουργία αυτού του περιβάλλοντος στο θερμοκήπιο προσδιορίζονται κυρίως από:

- τη σωστή κατασκευή (προσαρμογή στις συνθήκες του φυσικού περιβάλλοντος),
- τον κατάλληλο εξοπλισμό (λειτουργία με δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και πόρων) και κυρίως από

την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί κατάλληλα τον εξοπλισμό και να καταναίμει τα διαθέσιμα εφόδια.

## 1.2 Ιστορική εξέλιξη του θερμοκηπίου

Το θερμοκήπιο έχει μια εξέλιξη μέσα στο χρόνο, καθώς υπάρχουν αναφορές σε αυτά, με μια υποτυπώδη αρχική μορφή, σε αρκετά αρχαία κείμενα .

Σήμερα υπάρχει συνεχής εξέλιξη του θερμοκηπίου από πλευράς υλικών κατασκευής. Κατασκευάζονται σκελετοί θερμοκηπίων από ξύλο, γαλβανισμένο σίδηρο και αλουμίνιο. Η επαναστατική αλλαγή όμως έγινε στα υλικά κάλυψης, όπου, εκτός από το γυαλί, χρησιμοποιούνται τα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού και οι σκληρότερες επιφάνειες πλαστικού. Η χρησιμοποίηση αυτών των υλικών έδωσε τη δυνατότητα κατασκευής φθηνών θερμοκηπίων, γεγονός που επέτρεψε τη γρήγορη εξάπλωσή τους,

Επίσης, η αύξηση των γνώσεων σχετικά με την επίδραση των διάφορων συνδυασμών των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, καθώς και η εξέλιξη της ηλεκτρονικής και του ηλεκτρονικού υπολογιστή, επέτρεψαν την ανάπτυξη πολλών αυτοματισμών που ρυθμίζουν το επιθυμητό περιβάλλον στο χώρο του θερμοκηπίου με μεγάλη ακρίβεια και «έξυπνο τρόπο». Σήμερα η εφαρμογή της φυσιολογίας των φυτών, των δυνατοτήτων της ακριβούς ρύθμισης του περιβάλλοντος και η χρησιμοποίηση φυτών βελτιωμένων ποικιλιών και υβριδίων στο θερμοκήπιο, έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση της παραγωγής σε αυτό.

Οι επιδιώξεις για τη θερμοκηπιακή εγκατάσταση του μέλλοντος αφορούν στην περαιτέρω εξέλιξη του θερμοκηπίου και μπορεί να συνοψιστούν ως εξής:

- Δημιουργία του καταλληλότερου μικροκλίματος για παραγωγή νωπών φυτικών προϊόντων.
- Παραγωγή της καλύτερης δυνατής ποιότητας προϊόντων.
- Οικονομικά επωφελή λειτουργία του θερμοκηπίου.
- Η ελάχιστη δυνατή χρήση φυτοφαρμάκων.
- Η χρήση των μέσων παραγωγής να γίνεται με στόχο την αειφόρο ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος.
- Η ανεξάρτητη από συμβατικά καύσιμα λειτουργία του θερμοκηπίου και με

περαιτέρω στόχο την αξιοποίηση και σε άλλες δραστηριότητες της περιφέρειας της ηλιακής ενέργειας που συμβαίνει στο χώρο του κατά τη διάρκεια της ημέρας.

- Ο σχεδιασμός της κατασκευής με στόχο τη βελτίωση της αντοχής του, της άνεσης των εργαζομένων και της εξοικονόμησης φυσικών πόρων.

Η έρευνα που γίνεται διεθνώς σχετικά με το θερμοκήπιο αφορά κυρίως:

α) Το περιβάλλον στο χώρο του θερμοκηπίου.

- Την εύρεση της βέλτιστης τιμής των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης (φως, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, διοξείδιο του άνθρακα), καθώς και των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας (νερό, οξυγόνο, θερμοκρασία, ανόργανα στοιχεία, οξύτητα), για την ανάπτυξη και την παραγωγή των διάφορων ειδών φυτών που καλλιεργούνται ή μπορούν να καλλιεργηθούν στο θερμοκήπιο ( καρποφόροι θάμνοι και δέντρα, κηπευτικά, δρεπτά άνθη και γλαστρικά καλλωπιστικά),
- Τους τρόπους δημιουργίας με τα οικονομικότερα μέσα του βέλτιστου περιβάλλοντος, όπως:
- Την εξεύρεση υλικών κατασκευής που δημιουργούν με τον οικονομικότερο τρόπο το άριστο περιβάλλον για την ανάπτυξη και την παραγωγή των φυτών.
- Το σχεδιασμό του θερμοκηπίου έτσι ώστε, αξιοποιώντας τις δυνατότητες του φυσικού περιβάλλοντος: η δημιουργία του επιθυμητού περιβάλλοντος για τα φυτά να γίνεται με τον οικονομικότερο τρόπο ή η κατασκευή να παρουσιάζει ιδιαίτερη αντοχή σε αντίξοες συνθήκες καιρού.
- Την εύρεση τρόπων εξοικονόμησης ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου.
- Την αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων, που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση, κυρίως με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Τη δημιουργία αυτόματων συστημάτων ελέγχου του θερμοκηπίου, που θα επιτρέπουν την ακριβή ρύθμιση του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, αλλά ταυτόχρονα θα εξοικονομούν τη μέγιστη δυνατή ενέργεια και άλλους πόρους (νερό, λιπάσματα κ.λπ.)

β) Την προστασία των φυτών από ασθένειες και εχθρούς με μέσα που δεν επιβαρύνουν την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον.

γ) Την άρση των δυσμενών επιδράσεων που πιθανόν δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον από τη λειτουργία του θερμοκηπίου.

δ) Τη βελτιστοποίηση των μεθόδων εμπορίας των ευαίσθητων προϊόντων του θερμοκηπίου.

### 1.2.1 Υλικά κατασκευής σκελετού θερμοκηπίου

Ο σκελετός ενός θερμοκηπίου μπορεί να κατασκευαστεί με διάφορα υλικά. Για την επιλογή του υλικού κατασκευής του θερμοκηπίου οφείλει να λάβει κανείς υπ' όψιν του τις δυνάμεις καταπόνησης (θλίψη, εφελκυσμός, κάμψη, στρέψη, διάτμηση) που ασκούνται στα κατασκευαστικά στοιχεία καθώς και το μέγεθος αντίδρασης του κάθε

υλικού σε αυτές.

Το μέγεθος της αντίδρασης κάθε υλικού στις δυνάμεις αυτές διαφέρει και χαρακτηρίζει το υλικό.

Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του σκελετού του θερμοκηπίου είναι το ξύλο, ο χάλυβας και το αλουμίνιο.

### Το ξύλο

Το ξύλο είναι ένα υλικό κατασκευής που παρουσιάζει χαμηλό κόστος, είναι σχετικά εύκολο στην επεξεργασία του και δε δημιουργεί σημαντικές φθορές στο πλαστικό , γιατί δεν υπερθερμαίνεται όπως το μέταλλο.

Παρ' όλα αυτά η αποκλειστική χρήση του δεν είναι τόσο διαδεδομένη πια γιατί παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα:

- Είναι ένα υλικό όμως που σε αντίθεση με το μέταλλο δεν έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, η οποία για να επιτευχθεί απαιτεί μεγαλύτερες διατομές ξύλου που προκαλούν μεγαλύτερη σκίαση στα θερμοκήπια.
- Το σχήμα του μεταβάλλεται από τις εναλλαγές ύγρανσης και ξήρανσης στο θερμοκήπιο (στρέβλωση). Εξαιτίας αυτού υπάρχει δυσκολία στο να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή παραθύρων για τον εξαερισμό οροφής.
- Προσβάλλεται εύκολα από βιολογικούς εχθρούς, όπως έντομα, μύκητες και βακτήρια.
- Έχει ένα σημαντικό κόστος συντήρησης, ώστε να προστατευθεί από τους βιολογικούς και φυσικοχημικούς παράγοντες, που του προκαλούν αλλοιώσεις.
- Είναι εύφλεκτο.

Τα περισσότερα είδη ξύλου μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή θερμοκηπίων. Το τμήμα του ξύλου που χρησιμοποιείται στις κατασκευές είναι το εγκάρδιο (που παρουσιάζει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή) και το σομό ξύλο. Το εγκάρδιο ξύλο παρουσιάζει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή.

Στη χώρα μας χρησιμοποιήθηκε πολύ η καστανιά για την κατασκευή στύλων, λόγω της ιδιότητας της να ανθίσταται στη σήψη.

Άλλα είδη ξύλου που χρησιμοποιούνται για θερμοκήπια είναι το κυπαρίσσι, το έλατο, η μαύρη πεύκη , η ψευδοτσούγια, τούγια, η ερυθρελάτη, η οξιά και ο δρυς.

Η διάρκεια ζωής αυτών των ξύλων επεκτείνεται σημαντικά, μετά από εμποτισμό με ειδικά συντηρητικά. Οι εμποτιστικές ουσίες, όπως βερνίκια εμποτισμού, υδροπροωθητικές ουσίες και συντηρητικά, διαποτίζουν σε βάθος το ξύλο με τοξικές ουσίες ή μείγματα τοξικών ουσιών, για να κάνουν το ξύλο ακατάλληλη τροφή για τους μύκητες και τα έντομα.

Γενικά, για τη συντήρηση του ξύλου πρέπει να αποφεύγονται τα χρώματα που περιέχουν υδράργυρο, γιατί δρουν τοξικά στον άνθρωπο και στα φυτά. Επίσης, πρέπει να αποφεύγονται οι συντηρητικές ουσίες πενταχλωροφαινόλη (pentachlorophenol) και creosote, διότι οι ατμοί που παράγονται είναι τοξικοί για τα φυτά. Ακόμη το fluorochrome arsenate phenol (Tabthalith, Wolman Salt, Osmonalt) παρ' όλο που δεν έχει ατμούς, διαλύεται πολύ εύκολα στο νερό με πιθανή συνέπεια,

όταν περάσει νερό πάνω από το ξύλο και στάζει στα φυτά, την πρόκληση εγκαυμάτων.

Οι κατασκευή των θερμοκηπίων, όσον αφορά την κατασκευή του σκελετού, μπορεί να γίνει με την ταυτόχρονη χρήση ξύλου και μετάλλου (μικτά θερμοκήπια) καθώς και με την αποκλειστική χρήση μετάλλου.

Τα συνηθέστερα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του σκελετού των θερμοκηπίων είναι ο χάλυβας και το αλουμίνιο.

### Χάλυβας

Ο χάλυβας στην κατασκευή των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα, διαμορφωμένος σε σωλήνα ή σε διατομές διάφορων σχημάτων ή χυτός σε διατομές Η, Τ.

Υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός ποιοτήτων χάλυβα και η κάθε ποιότητα μπορεί να εμφανίζεται στο εμπόριο με διάφορες ονομασίες,

Στα θερμοκήπια συνήθως εφαρμόζεται θερμό γαλβάνισμα

### Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο παράγεται από το βωξίτη, ο οποίος περιέχει οξείδιο του αλουμινίου. Η σύγχρονη μέθοδος για τη την εξαγωγή του αλουμινίου είναι η ηλεκτρολυτική, μια διαδικασία ακριβή για την οποία χρειάζεται μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο οι εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμινίου εγκαθίστανται σε περιοχές όπου υπάρχει φθηνή ηλεκτρική ενέργεια (κυρίως από υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις).

Η χρήση των κραμάτων αλουμινίου στα θερμοκήπια (γιατί το καθατό αλουμίνιο είναι ασταθές ) παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των άλλων μετάλλων και του ξύλου:

- Είναι ανθεκτικά στην επιφανειακή διάβρωση και δεν έχει, σχεδόν, ανάγκη συντήρησης. (Το αλουμίνιο παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση εξαιτίας του λεπτού αλλά πολύ πυκνού στρώματος οξειδίου που υπάρχει στην επιφάνειά του.) Η αντίστασή του αυτή στη διάβρωση μπορεί να ενισχυθεί με τη διαδικασία της ανοδίωσης, που κλείνει τους πόρους της επιφάνειας και κάνει παχύτερο το προστατευτικό στρώμα οξειδίου στην επιφάνειά του.
- Οι διατομές των διάφορων στοιχείων είναι δυνατό να είναι μικρότερες, γεγονός που αν συνδυαστεί με το μικρό ειδικό βάρος, δίνει πολύ μικρού βάρους κατασκευή, με μικρότερης διατομής φέροντα στοιχεία ή τη δυνατότητα χρήσης λιγότερων και συνέπεια τη μειωμένη σκίαση και την επίτευξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων από στύλο σε στύλο.
- Καλύτερη στεγανότητα και δυνατότητα αποκομιδής του νερού συμπύκνωσης

στην περιφέρεια.

- Προσφέρονται για την κατασκευή των ανοιγμάτων εξαερισμού, διότι δίνουν ελαφρότερα πλαίσια που δεν δημιουργούν προβλήματα λειτουργίας και στεγανότητας.
- Σε θερμοκήπια τα οποία είναι υαλόφρακτα για οικονομικούς λόγους το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον χάλυβα. (Ο βασικός σκελετός κατασκευάζεται από χάλυβα ενώ από αλουμίνιο κατασκευάζονται τα λεπτά στοιχεία του σκελετού πάνω στα οποία τοποθετούνται οι υαλοπίνακες.)

Κατά την εφαρμογή του θα πρέπει να προσέξουμε τα εξής:

Στα σημεία όπου έρχεται σε επαφή με το σίδηρο, θα πρέπει να έχει ειδική προστασία, ώστε να αποφευχθεί η ηλεκτρολυτική διάβρωση.

Στα σημεία ένωσης με χαλύβδινα στοιχεία πρέπει να παρεμβάλλεται πισσόχαρτο.

Όταν τοποθετηθεί μέσα σε σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται με ειδική βαφή ή πίσσα γιατί αλλιώς διαβρώνεται.

Τέλος, επειδή το αλουμίνιο δημιουργεί θερμικές γέφυρες όπου συμπυκνώνεται η υγρασία, θα πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη ώστε η συμπυκνούμενη υγρασία να παροχετεύεται στην περιφέρεια του θερμοκηπίου, με τη χρήση ειδικών διατομών αλουμινίου.

### Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται κυρίως στη θεμελίωση του θερμοκηπίου, στην περιμετρική σύνδεση των στύλων, καθώς και σε πολλές από τις εσωτερικές και εξωτερικές κατασκευές. Παράγεται από τη μείξη χαλικιών, άμμου και τσιμέντου με την προσθήκη νερού. Το τσιμέντο που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το τσιμέντο τύπου Portland. Όταν στερεοποιηθεί παρουσιάζει πολλά από τα χαρακτηριστικά της φυσικής πέτρας.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλό (κυρίως για γεμίσματα και σε θέσεις που δεν δέχονται μεγάλες τάσεις, ή ενισχυμένο με σιδερόβερρες (οπλισμένο). Οι σιδερόβερρες είναι διαμορφωμένες έτσι, ώστε να εγκλωβίζονται πλήρως από το σκυρόδεμα, χωρίς να γλιστρούν. Το αλκαλικό περιβάλλον που δημιουργεί το τσιμέντο προστατεύει το σίδηρο από την οξειδωση.

### 1.2.2 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίου

Το υλικό το οποίο καλύπτει το θερμοκήπιο επηρεάζει την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που περνάει στο χώρο του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση στα φυτά του θερμοκηπίου.

Ιδανικά θα πρέπει όλα τα απαραίτητα για την ανάπτυξη μήκη φωτός να μην ανακλώνται ούτε να απορροφώνται, αλλά να διέρχονται μέσα από το διάφανο κάλυμμα, ώστε το φως να διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο του θερμοκηπίου.

Τα κριτήρια για την επιλογή υλικού για το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι:

Η περατότητα στο φως και στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία.

Η μηχανική αντοχή.

Η συνολική θερμοπερατότητα.

Η ευαισθησία στη γήρανση.

Η αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι.

Το μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευαστεί (επηρεάζει τη στεγανότητα του θερμοκηπίου).

Η αντίσταση στο σκίσιμο.

Η ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης.

Ο τρόπος συμπύκνωσης της υγρασίας επάνω του (σε σταγόνες ή μεβράνη).

Η περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (U.V μέχρι 400 nm)

Η ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες.

Τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται στην κάλυψη των θερμοκηπίων είναι:

Εύκαμπτα πλαστικά φύλλα

Σελλουλόζη

Πολυαιθυλαίνιο (PE)

EVA (Ethylene vinyl acetate)

Φθοριούχα (Fluorocarbons)

Επιφάνειες σκληρού πλαστικού

Πολυανθρακικές επιφάνειες (PC)

Ενισχυμένος πολυεστέρας

Σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Υλικά κάλυψης με επιλεκτική περατότητα στο φως

## Κεφάλαιο 2 : Παράγοντες που επιδρούν στα φυτά

Η ανάπτυξη των φυτών εξαρτάτε από το κληρονομικό δυναμικό του φυτού και το περιβάλλον που αναπτύσσεται. Οπότε για μια αποδοτική παραγωγή πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη ποικιλία και να διαμορφώνεται ένα ευνοϊκό περιβάλλον. Για ένα κληρονομικό δυναμικό υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον.

Οι παράγοντες που επιδρούν καθοριστικά στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών μπορεί να χωριστεί σε 2 ομάδες. Τους παράγοντες που επιδρούν στο υπέργειο τμήμα των φυτών και του παράγοντες που επηρεάζουν το ριζικό σύστημα.

### 2.1 Οι παράγοντες που επιδρούν στο υπέργειο μέρος του φυτού

Οι παράγοντες που επιδρούν στο υπέργειο μέρος του φυτού είναι:

- α) Η ακτινοβολία
- β) Η θερμότητα
- γ) Η σχετική υγρασία
- δ) Το διοξείδιο του άνθρακα

Για την μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί μόνο η ρύθμιση καθενός από τους παράγοντες στο βέλτιστο σημείο αλλά η ρύθμιση του κάθε παράγοντα σε συνδυασμό με τους άλλους.

Στην συγκεκριμένη εργασία θα εστιάσουμε στην ρύθμιση των παραγόντων του υπέργειου μέρους του φυτού δηλαδή του εναέριου χώρου του θερμοκηπίου.

#### 2.1.1 Η Ακτινοβολία

Η ακτινοβολία είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που μεταφέρουν ενέργεια μέσω φωτονίων. Χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος και έχει σταθερή ταχύτητα στο κενό και κυμαίνεται από 2μm έως 100μm.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας η κύρια πηγή ενέργειας στο θερμοκήπιο προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια. Τα φυτά αξιοποιούν μόνο το 2% της διαθέσιμης ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολία του ήλιου είναι κατά βάση ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος(190-3000nm) και μετράτε με το πυρανόμετρο σε  $W/m^2$ .

Η διαπερατότητα της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας είναι 90% για τον υαλοπίνακα και τα περισσότερα διαφανή πλαστικά . Μετρώντας την ηλιακή ενέργεια μπορούμε να βρούμε την προσπίπτουσα ενέργεια για ένα χρονικό διάστημα .

Η ακτινοβολία από 400 nm έως 700 nm είναι η ορατή ακτινοβολία και αποτελεί το 47% της ηλιακής ακτινοβολίας και είναι αυτή που επιδρά στην ανάπτυξη των φυτών με την φωτοσύνθεση. Η απορρόφηση της χλωροφύλλης που μαζί με τις άλλες χρωστικές αποτελούν τους συλλέκτες της ακτινοβολίας για τα φυτά έχει ένα μέγιστο στην περιοχή του κόκκινου (600-700 nm) και του μπλέ (400-500 nm)



Γενικά η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας μεταξύ 400 nm έως 700 nm(PAR)αποτελεί περίπου το 45% της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία που μετρά το πυρανόμετρο.

Η ακτινοβολία από 3000-100000 nm είναι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και αν και μόνο το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας κάθε επιφάνεια πάνω στη γή με την συνήθη θερμοκρασία περιβάλλοντος εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, η διαπερατότητα της οποίας είναι πολύ μικρή ,από 0% για τον υαλοπίνακα έως και 12 % για το PVC. Λόγω ακριβώς αυτής της χαμηλής διαπερατότητας έχουμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου δηλαδή του εγκλωβισμού της ενέργειας εντός του χώρου του θερμοκηπίου.

Ο αριθμός των φωτονίων στο του φωτός μήκους κύματος 400 nm έως 700 nm Που προσπίπτει σε μια επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου ανά δευτερόλεπτο συνήθως μετράτε με τον αισθητήρα PAR σε  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  αλλά μπορεί να υπολογισθεί και ως το 45% της τιμής που μετρά το πυρανόμετρο. Γενικά  $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  αντιστοιχεί σε  $0,342 \text{ W}/\text{m}^2$ .

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γή εξαρτάτε από το ύψος του ήλιου ,από την ώρα την εποχή το γεωγραφικό πλάτος από την κατάσταση της ατμόσφαιρας και από το ύψος μιας επιφάνειας από το επίπεδο της θάλασσας .

Για την χώρα μας η μικρού μήκους ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του έτους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα που αφορά την ένταση της ακτινοβολίας σε  $\text{W}/\text{m}^2$  που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια μια σχετικά αίθρια ημέρα

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ/ΩΡΑ	08:00 & 16:00	10:00 & 14:00	12:00
21 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ	40	302	420
21 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ	136	393	567
21 ΜΑΡΤΙΟΥ	268	587	703
21 ΑΠΡΙΛΙΟΥ	390	587	798
21 ΜΑΙΟΥ	460	736	836
21 ΙΟΥΝΙΟΥ	482	748	842
21 ΙΟΥΛΙΟΥ	457	729	827
21 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ	385	672	779
21 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ	258	567	678
21 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ	136	442	558
21 ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ	44	302	416
21 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ	19	243	357

Πίνακας2.1 Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας στην Ελλάδα

Για να καλυφθούν οι ανάγκες σε φως για την φωτοσύνθεση των περισσότερων κηπευτικών και δρεπτών άνθεων απαιτείται ένταση τουλάχιστον  $235 \text{ W}/\text{m}^2$  στη μικρού μήκους ακτινοβολία ( $105 \text{ W}/\text{m}^2$  στην ακτινοβολία PAR) μέσα στο θερμοκήπιο .

Για να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών αν και είναι αρκετή μια ακτινοβολία 600  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  στα επάνω φύλλα εν τούτοις για να υπάρχει επαρκής φώς και για τα παρακάτω φύλλα που σκιάζονται τα φυτά κορεννούνται στα 2000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  .

Αυτό σημαίνει  $2000 \cdot 0,342 = 684 \text{ W}/\text{m}^2$  τιμή που θα χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα αυτοματισμού για τον περιορισμό του φωτός με θερμοκουρτίνα.

## 2.1.2 Η Θερμότητα –Θερμοκρασία

Η θερμότητα και κατ επέκταση η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει την μεγαλύτερη επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών γιατί επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες του φυτού όπως η αναπνοή, η διαπνοή, η φωτοσύνθεση και η μεταφορά κατανομή των μεταβολιτών. Επίσης είναι ο παράγοντας που επιβαρύνει πιο πολύ το κόστος παραγωγής μετά τον τεχνητό φωτισμό.

Γενικά οι φυσιολογικές διεργασίες των φυτών εξελίσσονται μεταξύ 0 και 45°C και αυτό είναι ενδεικτικό για την επιλογή των αισθητηρίων που θα χρησιμοποιηθούν.

Οι τρόποι που γίνεται η μεταφορά θερμότητας είναι ,με αγωγιμότητα ,με συναγωγή και με ακτινοβολία.

Με αγωγιμότητα έχουμε μεταφορά θερμότητας μέσω του καλύμματος και επειδή η μεταφορά θερμότητας ακολουθεί τον νόμο του Fourier  $Q=(\lambda/e)*A*(T1-T2)$

Όπου :  $\lambda$  η θερμική αγωγιμότητα του σώματος

$e$  το πάχος του υλικού

$A$  η επιφάνεια διάδοσης

$T1-T2$  η διαφορά θερμοκρασίας

Βλέπουμε ότι εκτός των άλλων το πάχος και το υλικό του καλύμματος επιδρά στην μεταφορά θερμότητας

Συναγωγή είναι η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ενός ρευστου και ενός στερεού. Στο θερμοκήπιο αυτό συμβαίνει κατά τον αερισμό.

Με την ακτινοβολία έχουμε απορρόφηση και εκπομπή θερμοκρασίας. Απορρόφηση κατά την διάρκεια της ημέρας με τον ήλιο και από θερμαντικούς σωλήνες όταν υπάρχουν και εκπομπή από τα φυτά και τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου.

Λανθάνουσα θερμότητα είναι η θερμότητα όπου μετάδοση της ενέργειας μεταβάλει την κατάσταση ενός υλικού από μια μορφή σε μια άλλη. Στο θερμοκήπιο μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας μέσω του νερού που από τα φυτά μεταφέρεται ενέργεια στον αέρα και από εκεί στο κάλυμμα και μετά στον εξωτερικό χώρο.

Στο θερμοκήπιο οι σημαντικότερες περιπτώσεις που αφορούν λανθάνουσα θερμότητα είναι με την διαπνοή ,με την εξάτμιση νερού από το έδαφος και με την συμπύκνωση υδρατμών στο κάλυμμα. Συμπύκνωση στο κάλυμμα μπορεί να συμβεί μόνο όταν η θερμοκρασία του καλύμματος γίνει μικρότερη από την θερμοκρασία σημείου δρόσου του αέρα του θερμοκηπίου. Ο αέρας δεν θερμαίνεται από την μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία αλλά από την ανακλώμενη και εξαρτάτε από την περιεκτικότητα του σε υγρασία και σκόνη. Ο χρόνος που εμφανίζεται η

θερμοκρασία στον αέρα είναι καθυστερημένος λόγω των αντιστάσεων μεταφοράς θερμότητας και της θερμοχωρητικότητας του αέρα . Η επιφάνεια της γής δέχεται θερμοκρασία την ημέρα και ακτινοβολεί μόνο θερμότητα την νύχτα. Έτσι το ισοζύγιο γίνεται αρνητικό και ψύχεται συνεχώς κατά συνέπεια και το θερμοκήπιο .Ο ψυχρός αέρας γίνεται πυκνότερος την νύχτα και επομένως και βαρύτερος και καταρακυλά στις χαμηλότερες λεκάνες του ανάγλυφου της περιοχής . Αυτό είναι σημαντικό για την εκλογή της θέσης ειδικά ενός αυτοματοποιημένου θερμοκηπίου που έχει αυξημένο κόστος εγκατάστασης.

Για την θερμοκρασία των φυτών μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ενώ μπορούν να αντιδρούν στην αύξηση της θερμοκρασίας με την διαπνοή δεν διαθέτουν κάποιο μηχανισμό αντίδρασης για την πτώση της θερμοκρασίας. Λόγω της συνεχούς απώλεια της θερμότητας κατά την διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία των φύλων γίνεται συνεχώς μικρότερη , μικρότερη από αυτής του αέρα.

Η θερμοκρασία της ρίζας έχει μεγάλη σημασία για την μεταφορά των θρεπτικών συστατικών μέσω της απρόσκοπτης κυκλοφορίας του νερού. Ειδικότερα για την τομάτα που έχουμε ως φυτό του θερμοκηπίου που πραγματεύεται η εργασία για θερμοκρασίες εδάφους κάτω των 14 °C δεν μπορεί να γίνει η απορρόφηση φωσφόρου. Η συγκεκριμένη θερμοκρασία οπότε θα είναι ένα σημείο αναφοράς για τον προγραμματισμό του αυτοματισμού για την συγκεκριμένη καλλιέργεια.

Η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης και την φυλλική επιφάνεια και την μεταφορά των προϊόντων της φωτοσύνθεσης .Η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει σημαντικά τον ρυθμό γήρανσης των φύλλων ,μπορεί να οδηγήσει γρηγορότερα στην ωρίμανση της παραγωγής αλλά σε μεγάλης διάρκειας καλλιέργειες μειώνει τον όγκο της παραγωγής

Συχνά τον χειμώνα σε θερμοκήπια που θερμαίνονται μπορεί ενώ τα επίπεδα θερμοκρασίας αέρα και εδάφους να είναι ρυθμισμένα σε άριστα επίπεδα η παραγωγή να περιορίζεται λόγω μειωμένων συνθηκών φωτισμού με αποτέλεσμα άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

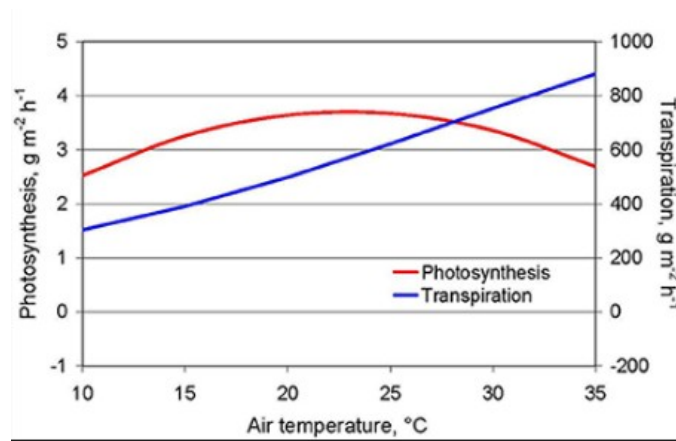
Κατά κανόνα οι καλλιέργειες αναπτύσσονται τις συννεφιασμένες μέρες κατά 3-7°C υψηλότερες από τις βραδινές και τις ηλιόλουστες κατά 12°C και αν γίνεται εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub> κατά 15 °C.

Για να έχουμε θετικό αποτέλεσμα στην αύξηση της παραγωγής θα πρέπει η θερμοκρασία να δρά έτσι ώστε το αποτέλεσμα της φωτοσύνθεσης να είναι μεγαλύτερο από το αποτέλεσμα της αναπνοής αλλιώς τα φυτά θα καταστραφούν. Επομένως η επιθυμητή θερμοκρασία είναι αυτή που δίνει την μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της παραγωγής της φωτοσύνθεσης και της κατανάλωσης της αναπνοής ,δηλαδή η τιμή της θερμοκρασίας που δίνει την μέγιστη καθαρή φωτοσύνθεση.

Την νύχτα η σε συνθήκες περιορισμένου φωτός η θερμοκρασία ρυθμίζεται ανάλογα για να είναι μειωμένος ο ρυθμός αναπνοής χωρίς ωστόσο να είναι πολύ χαμηλή και παρεμποδίζεται η μεταφορά των θρεπτικών συστατικών

Αυτό είναι βασικό στοιχείο για όλο το δομικό διάγραμμα του αυτοματισμού μας.

Για την παραγωγή τομάτας η ιδανική νυχτερινή θερμοκρασία είναι 14 °C ανάλογα και την ποικιλία αλλά επειδή η θερμοκρασία του φύλλου είναι περίπου 2 °C μικρότερη από την θερμοκρασία του αέρα που θα βρίσκεται το αισθητήριο μας θα θεωρούμε ιδανική την θερμοκρασία των 16 °C.



Διάγραμμα 2.1 Καθαρή φωτοσύνθεση

### 2.1.3 Η Υγρασία

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργία των φυτών είναι η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου.

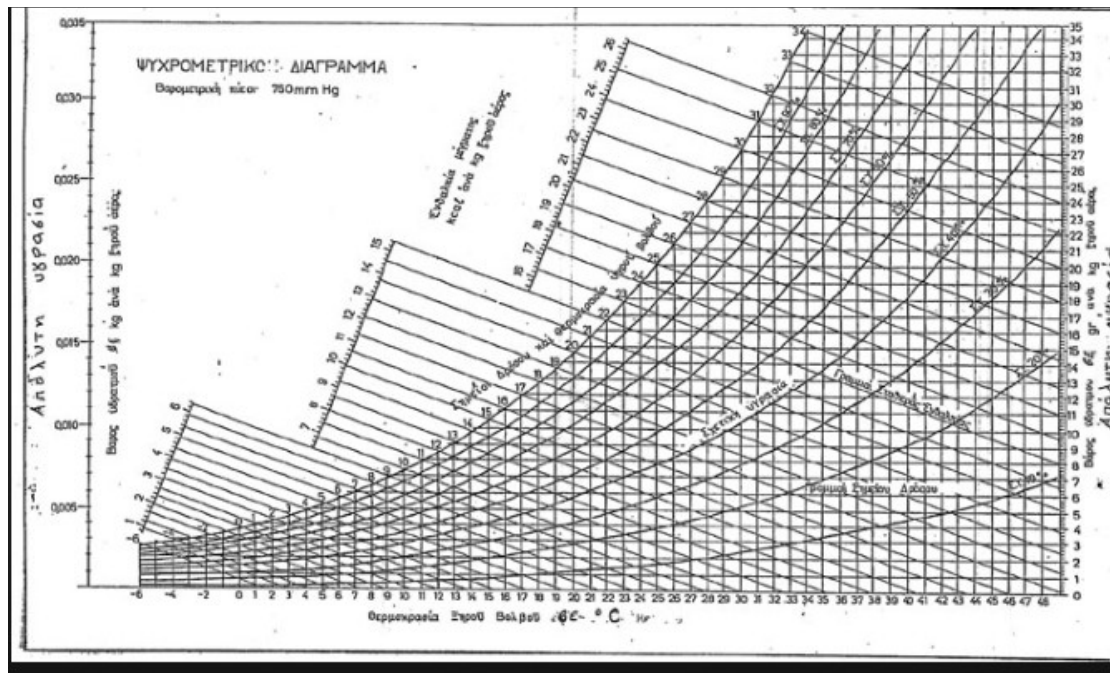
Ο αέρας στο θερμοκήπιο αποτελείται από διάφορα συστατικά ένα εκ των οποίων είναι οι υδρατμοί. Η ποσότητα των υδρατμών που υπάρχει σε 1 Kg αέρα σε συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία ονομάζεται απόλυτη υγρασία και το μετράμε σε g/Kg αέρα.

Όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία του αέρα τόσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού μπορεί να συγκρατήσει σε μορφή αέρια δηλαδή υδρατμών.

Κορεσμένος λέγεται ο αέρας που σε συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία περιέχει την μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει χωρίς να υγροποιηθούν.

Σχετική Υγρασία είναι η ποσότητα νερού υπό μορφή υδρατμών που περιέχει ο αέρας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση σε σχέση με την ποσότητα που θα είχε αν ήταν κορεσμένος. Όσο μικραίνει η θερμοκρασία τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα που μπορεί να συγκρατηθεί σε αέρια μορφή.

Για μια συγκεκριμένη ποσότητα απόλυτης υγρασίας υπάρχει μια θερμοκρασία κάτω της οποίας οι υδρατμοί υγροποιούνται. Η θερμοκρασία αυτή ονομάζεται θερμοκρασία σημείου δρόσου. Επίσης η θερμοκρασία σημείου δρόσου μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί όσο αυξάνουμε ή μειώνουμε αντίστοιχα την υγρασία στο χώρο, είτε την μετράμε ως σχετική είτε ως απόλυτη. Υπάρχει ένας συσχετισμός όλων των παραπάνω μεγεθών που εκφράζεται μέσω εξισώσεων και αναπαρίσταται γραφικά από το ψυχομετρικό διάγραμμα ή αλλιώς διάγραμμα Mollier.



Διάγραμμα 2.2 Ψυχομετρικό Διάγραμμα(Mollier)

Η ενέργεια με την μορφή θερμότητας που αποσπάτε για την εξάτμιση από μια επιφάνεια νερού αυξάνει την ενέργεια των υδρατμών όχι όμως και την θερμοκρασία τους. Επιφάνειες νερού στο θερμοκήπιο θεωρούνται τα φύλλα και το υγρό έδαφος.

Η ακτινοβολία με την αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλεί ρυθμίζει και το ρυθμό διαπνοής των φυτών και αν και η μέγιστη παραγωγικότητα του φυτού έχει να κάνει με την ενέργεια που λαμβάνεται με την ακτινοβολία εν τούτοις επειδή η σχετική υγρασία επηρεάζει την διαπνοή και κατ επέκταση την λειτουργία των στομάτων επηρεάζει την παραγωγικότητα παρόλο που η ακτινοβολία μπορεί να είναι σε άριστα επίπεδα .

Στο χώρο του θερμοκηπίου όταν επέλθει ισορροπία η απόλυτη υγρασία είναι σε όλα τα σημεία περίπου ίδια αλλά δεν συμβαίνει το ίδιο με την σχετική υγρασία γιατί έχει άμεση σχέση με την θερμοκρασία κάθε σημείου στο χώρο του θερμοκηπίου που διαφέρει αν είναι ψηλά κοντά στο κάλυμμα η χαμηλά στο χώρο που υπάρχουν τα φυτά.

Ένα κυβικό (1 m<sup>3</sup>) αέρα ζυγίζει περίπου 1,2 Kg. Οπότε σε ένα θερμοκήπιο με μέσο ύψος 4m όπως στην δική μας μελέτη αντιστοιχούν 4,8 Kg αέρα ανά 1 m<sup>2</sup> εδάφους. Αν η απόλυτη υγρασία είναι 14g / Kg αέρα και η θερμοκρασία είναι 20°C (περίπου 70% σχετική υγρασία) η ποσότητα των υδρατμών είναι 67,2 g υδρατμών ανά 1 m<sup>2</sup> εδάφους. Αν δούμε ότι τα φυτά καταναλώνουν περίπου 6000 g νερού ανά 1 m<sup>2</sup> εδάφους μπορούμε να καταλάβουμε πόσο εύκολα μπορεί να αυξηθεί η υγρασία και πόσο σημαντικός είναι ο εξαερισμός.

Σε περιβάλλον με αυξημένη υγρασία δημιουργείται εύκολα συμπύκνωση στις πιο κρύες επιφάνειες αν και η σχετική υγρασία μπορεί να μην είναι 100% . Κρύες επιφάνειες είναι τα φύλλα και τα μεταλλικά στοιχεία του σκελετού όπως και το κάλυμμα. Η συμπύκνωση στα φύλλα δημιουργεί ασθένειες και μυκητιάσεις στο σκελετό διάβρωση και στο κάλυμμα αν είναι από υδρόφοβο υλικό η συμπύκνωση

μετατρέπεται σε σταγόνες που πέφτουν πάνω στα φύλλα και αυτό δημιουργεί ασθένειες όπως προαναφέρθηκε.

#### 2.1.4 Το Διοξείδιο του Άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) είναι καίριας σημασίας για την λειτουργία των φυτών. Τα φυτά παίρνουν το  $\text{CO}_2$  από την ατμόσφαιρα και με την βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργούν υδατάνθρακες για την θρέψη του ίδιου του φυτού και απελευθερώνουν οξυγόνο. Οι υδατάνθρακες χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν άλλες οργανικές ενώσεις για την κατασκευή του ίδιου του φυτού και ένα μέρος καταναλώνεται κατά την αναπνοή και ξαναγίνεται  $\text{CO}_2$ .

Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης εξαρτάτε από την ηλιακή ακτινοβολία και το  $\text{CO}_2$ . Η συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  είναι μεγάλης σημασίας για την παραγωγή του φυτού στο θερμοκήπιο. Παρατηρείται ότι μια αύξηση της συγκέντρωσης επιδρά ευνοϊκά στην ανάπτυξη ακόμα και με περιορισμένες συνθήκες φωτός.

Στην παρούσα εργασία δεν θα έχουμε εμπλουτισμό  $\text{CO}_2$  στο σύστημα αυτοματισμού όμως η ανανέωση του αέρα είναι απολύτως απαραίτητη για την φυσική ανανέωση των συγκεντρώσεων του  $\text{CO}_2$  ακόμα και όταν δεν απαιτείται για λόγους ελέγχου της θερμοκρασίας.

#### 2.2 Οι παράγοντες που επιδρούν στη ρίζα του φυτού

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το υπόγειο μέρος των φυτών είναι :

- α) Το νερό
- β) Το οξυγόνο
- γ) Τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά
- δ) Η συνολική συγκέντρωση των ιόντων
- ε) Η ενεργός οξύτητα(Ph)
- στ) Οι μικροοργανισμοί
- η) Η θερμοκρασία της ρίζας

Αν και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ρύθμιση των παραγόντων που επιδρούν στο κλίμα του θερμοκηπίου εν τούτοις είναι σκόπιμο να αναφερθούμε στους παραπάνω παράγοντες που επιδρούν στη ρίζα του φυτού επειδή κάποιοι από αυτούς αλληλεπιδρούν με τους παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα και είναι οι παρακάτω

- α) Το νερό
- β) Το οξυγόνο
- γ) Η θερμότητα

### 2.2.1 Το νερό

Το νερό είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για το ριζικό σύστημα μαζί με το οξυγόνο . Το νερό μεταφέρει τα θρεπτικά συστατικά από τη ρίζα στο φύλλο αλλά και τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης στη ρίζα. Επίσης λόγω της μεγάλης του λανθάνουσας ενέργειας ψύχει τα φύλλα με την διαπνοή και προστατεύει τα φυτά από την υπερθέρμανση. Μια μείωση της περιεκτικότητας του φυτού σε νερό της τάξης του 10-20% μπορεί να επιφέρει την καταστροφή του ,ακόμα η έλλειψη νερού μειώνει την φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη του φυτού εξ αιτίας του κλεισίματος των στομάτων. Το νερό είναι το στοιχείο που επιτρέπει την διαπνοή και κατ επέκταση την ρύθμιση της θερμοκρασίας σε περιβάλλον αυξημένης θερμοκρασίας. Επίσης η υπερβολική ύπαρξη νερού εκτός του ότι επιδρά στην πρόσληψη οξυγόνου δημιουργεί και συνθήκες αυξημένης υγρασίας.

Κατά την ανάπτυξη των φυτών σε έδαφος με χαμηλότερη υγρασία από την άριστη δεν φαίνεται να επηρεάζει το ξηρό βάρος της παραγωγής αλλά επηρεάζει σημαντικά το νωπό βάρος και την διατηρησιμότητα του προϊόντος .

Όταν το έδαφος έχει για μεγάλο χρονικό διάστημα υγρασία πάνω από την ιδανική τότε τα φύλλα καταστρέφονται λόγω έλλειψης οξυγόνου.

Επίσης η ώρα που θα γίνει το πότισμα πέραν της σημασίας επηρεάζει την θερμοκρασία της ρίζας και την σχετική υγρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου.

### 2.2.2 Το οξυγόνο

Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των κυττάρων. Η αναπνοή γίνεται ολόκληρο το 24ωρο .Στο υπέργειο μέρος του φυτού βρίσκεται πάντα σε επάρκεια ,στο ριζικό όμως σύστημα επηρεάζεται από την παρουσία του νερού που δεν πρέπει να βρίσκεται σε υπερβολική ποσότητα καταλαμβάνοντας όλο το χώρο γύρω από τις ρίζες γιατί τότε παρεμποδίζεται η τροφοδοσία της ρίζας με οξυγόνο.

### 2.2.3 Η θερμοκρασία της ρίζας

Οι ιδανικές θερμοκρασίες για την καλύτερη λειτουργία των ριζών είναι οι θερμοκρασίες από 20 έως 30 °C ανάλογα και το είδος του φυτού. Κάτω από 20 °C αρχίζουν να δημιουργούνται αλλαγές στην ριζική ανάπτυξη. Αν η θερμοκρασία της ρίζας παραμείνει για μακρό χρονικό διάστημα σε χαμηλά επίπεδα η ρίζα δεν μπορεί να τροφοδοτήσει με τις απαραίτητες ποσότητες νερού την κόμη , τα φυτά μαραίνονται τις μέρες με υψηλή ηλιοφάνεια κάτω από τις οποίες επικρατεί υψηλός ρυθμός διαπνοής και έτσι μειώνεται η και σταματά η φωτοσύνθεση.

Επίσης για θερμοκρασίες άνω των 30 °C η λειτουργία των φυτών γίνεται προβληματική.

Γι αυτό στα θερμοκήπια με παραγωγή στο έδαφος γίνεται θέρμανση της ρίζας με σωλήνες ζεστού θερμοκρασίας έως 35 °C που τοποθετούνται κοντά στην ρίζα. Οι ίδιοι σωλήνες μπορούν να ψύξουν την ρίζα όταν χρειάζεται κυκλοφορώντας κρύο νερό.

## Κεφάλαιο 3: Οι παράγοντες ελέγχου του μικροκλίματος του θερμοκηπίου

### 3.1 Η Σκίαση

Η σκίαση στο θερμοκήπιο γίνεται για 2 λόγους. Ο πρώτος έχει να κάνει με τον έλεγχο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Που όταν είναι μεγάλη μειώνει την φωτοσυνθετική ικανότητα ορισμένων φυτών κυρίως δρεπτών άνθεων. Τα κηπευτικά η υψηλή ένταση δεν φαίνεται να επηρεάζει την ικανότητα φωτοσύνθεσης όταν οι άλλοι παράγοντες όπως η θερμοκρασία η υγρασία και το νερό μπορούν να ρυθμιστούν κατάλληλα και να επιτρέψουν υψηλούς ρυθμούς φωτοσύνθεσης.

Ο δεύτερος λόγος που η σκίαση ωφελεί είναι στον έλεγχο της θερμοκρασίας. Σκίαση μπορεί να γίνει με βαφή του καλύμματος ή με κουρτίνες σκίασης(λευκές) που μπορούν να ανακλούν την ακτινοβολία. Με την σκίαση μπορεί να μειωθεί η θερμοκρασία έως και 5 °C και με τις κουρτίνες υπάρχει η δυνατότητα αυτό να γίνεται μόνο τις μεσημεριανές ώρες του καλοκαιριού και τις πρωινές και απογευματινές να μαζεύονται για να μην μειώνεται ο ρυθμός φωτοσύνθεσης.

### 3.2 Ο Αερισμός

Με τον όρο αερισμό εννοούμε 2 καταστάσεις, την ανάδευση του αέρα και την ανταλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα που το ονομάζουμε εξαερισμό.

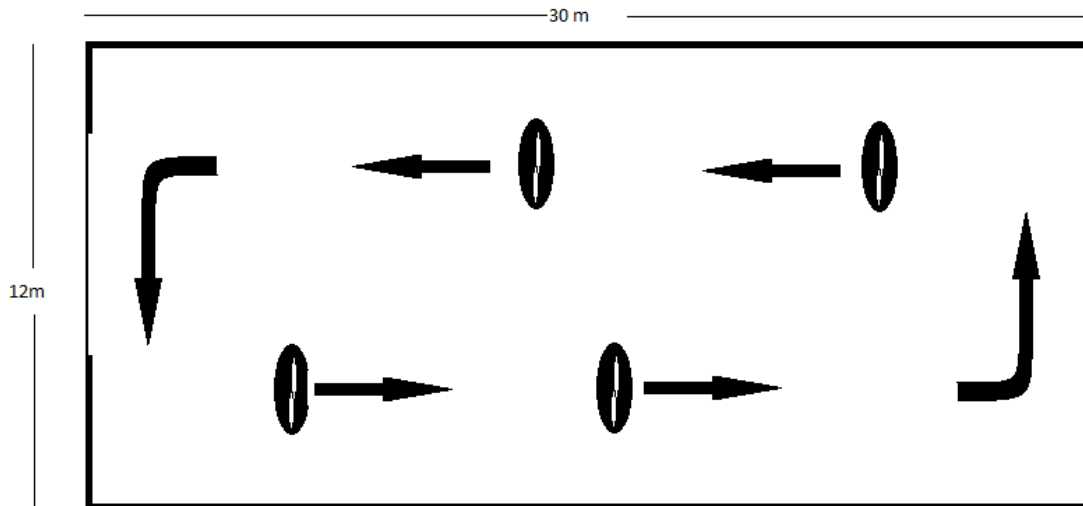
Η ταχύτητα ανέμου μέσα στο θερμοκήπιο πρέπει να είναι χαμηλή έως μέτρια γιατί αλλιώς προκαλεί υπερβολική διαπνοή και κατά συνέπεια μαρασμό των φυτών.

Η ανάδευση έχει ως σκοπό την ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας ,της υγρασίας και του CO<sub>2</sub> .Ειδικότερα το χειμώνα που ενώ δεν είναι απαραίτητη η μείωση της θερμοκρασίας αλλά είναι απαραίτητη η ανανέωση του αέρα με την ανάδευση πετυχαίνουμε πιο γρήγορη ανάμειξη του κρύου εξωτερικού αέρα με τον ζεστότερο εσωτερικό.

Ο αέρας όταν ψύχεται κοντά στο κάλυμμα κατέρχεται και όταν είναι θερμός ανέρχεται, παρ όλα αυτά η απόλυτη υγρασία του είναι ίδια ενώ η σχετική διαφέρει. Το ίδιο συμβαίνει όταν λειτουργεί η θέρμανση που τα κάτω στρώματα γίνονται πιο θερμά και ανέρχονται ενώ τα πιο κρύα κατέρχονται. Αυτές οι καταστάσεις μπορούν να βελτιωθούν γρήγορα με την ανάδευση και έτσι η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη και αποφεύγεται η συμπύκνωση υδρατμών στα φυτά. Η ευνοϊκότερη ταχύτητα για την ανάδευση είναι τα 0.2 m/s η οποία προκαλεί μια ελαφριά κίνηση στα φύλλα της τομάτας.

Για την ανοιχτή οριζόντια ανάδευση του αέρα εντός του θερμοκηπίου θεωρείται αρκετή μια εγκατάσταση ανεμιστήρων συνολικής παροχής το ¼ του όγκου του θερμοκηπίου ανά λεπτό. Σύμφωνα με μελέτες μια διάταξη ανεμιστήρων όπως φαίνεται στο σχήμα είναι καταλληλότερη για την δική μας περίπτωση.





Σχήμα 3.1 Χωροθέτηση Ανεμιστήρων Ανάδευσης Αέρα

Με τον εξαερισμό επιδιώκουμε την είσοδο φρέσκου αέρα με καλύτερη περιεκτικότητα σε  $\text{CO}_2$  αλλά και μείωση της σχετικής υγρασίας και κυρίως την μείωση της θερμοκρασίας κατά τις ημέρες και ώρες που αυτές υπερβαίνουν τις επιτρεπτές τιμές.

Ο εξαερισμός επιτυγχάνεται με άνοιγμα παραθύρων πλευρικών και οροφής ή όταν οι συνθήκες δεν είναι κατάλληλες με χρήση ανεμιστήρων. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τον παθητικό ή αλλιώς φυσικό αερισμό και στην δεύτερη τον δυναμικό αερισμό.

Την θερμή περίοδο του έτους η εξατμισοδιαπνοή δεν είναι αρκετή για να μειώσει την θερμοκρασία σε ανεκτές τιμές και είναι απαραίτητος ο εξαερισμός φυσικός ή δυναμικός.

### 3.2.1 Φυσικός η παθητικός αερισμός

Φυσικό αερισμό εννοούμε την ανανέωση του αέρα με το άνοιγμα των παραθύρων και Δυναμικό όταν η διαφορά πιέσεων δημιουργείται με μηχανικά μέσα όπως οι ανεμιστήρες.

Το μέγεθος του εξαερισμού εξαρτάτε από:

- α) Το μέγεθος του θερμοκηπίου
- β) Την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας
- γ) Τις εξωτερικές θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή
- δ) Το είδος του φυτού που καλλιεργείται
- ε) τα χαρακτηριστικά των υλικών κατασκευής

Από πειραματικά αποτελέσματα έχει βρεθεί ότι ο αριθμός των αλλαγών του αέρα για να επιτευχθεί μια διαφορά θερμοκρασίας μέσα με έξω είναι αυτός που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα

Ρυθμός Αλλαγών σε όγκους Θερμοκηπίου ανά λεπτό	Εσωτερική θερμοκρασία υψηλότερη από την Εξωτερική, Δt σε °C
½	8-9,5
¾	6-7,5
1	4,5-5,5
2	2-3,5

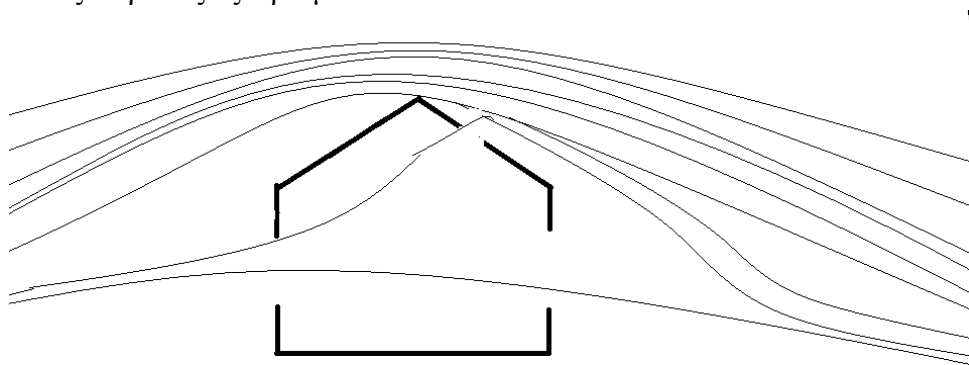
Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα Εναλλαγών Αέρα στη Θερμοκρασία

Για το μεγαλύτερο διάστημα του έτους ¾ έως 1 αλλαγή του αέρα ανά λεπτό είναι αρκετή για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Αυτό επιτυγχάνεται εάν επικρατεί μέτριο άνεμος.

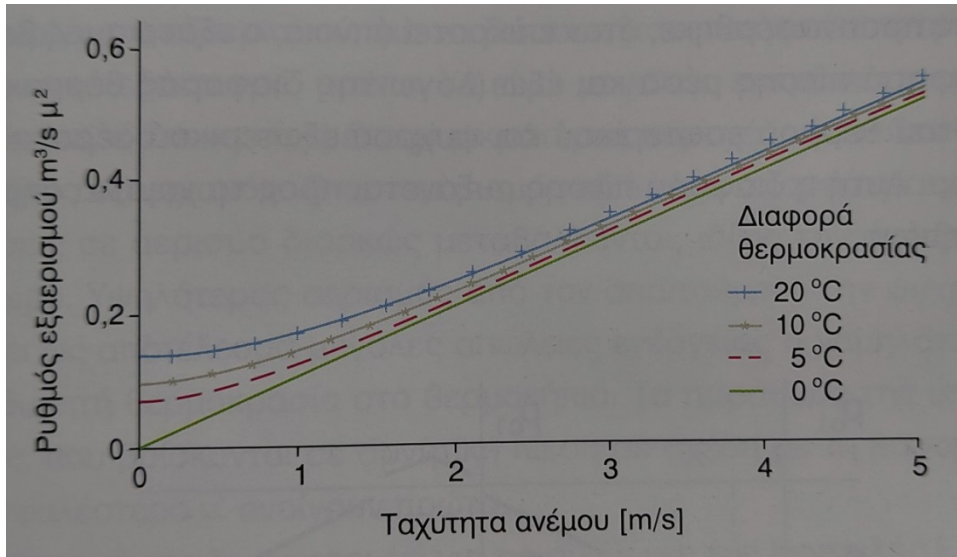
Μικρότερες διαφορές μπορούν να επιτευχθούν με δυναμικό αερισμό αν και έχει παρατηρηθεί ότι αλλαγές πάνω από 1 φορά /λεπτό δίνουν πολύ μικρότερο όφελος σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται.

Από μετρήσεις που έγιναν σε διάφορες περιοχές της Νοτίου Ελλάδας για να επιτευχθεί επαρκής αερισμός με φυσικό αερισμό απαιτούνται ανοίγματα 22-30% της επιφάνειας του καλυμμένου εδάφους. Μεγαλύτερα ανοίγματα συνεισφέρουν πολύ λιγότερο και μεγαλύτερα από 45 % καθόλου. Ο φυσικός αερισμός γίνεται από τα πλαϊνά παράθυρα και αυτά της οροφής με 3 τρόπους

α) με την διαφορά στατικής πίεσης από την ταχύτητα του ανέμου στις διάφορες πλευρές του θερμοκηπίου. Γι αυτό το λόγο αυτό πρέπει να εξετάζουμε την διεύθυνση των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή και ανάλογα να τοποθετήσουμε τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου για όσο αυτό είναι δυνατόν ώστε να διευκολύνεται αυτός ο τρόπος εξαερισμού.



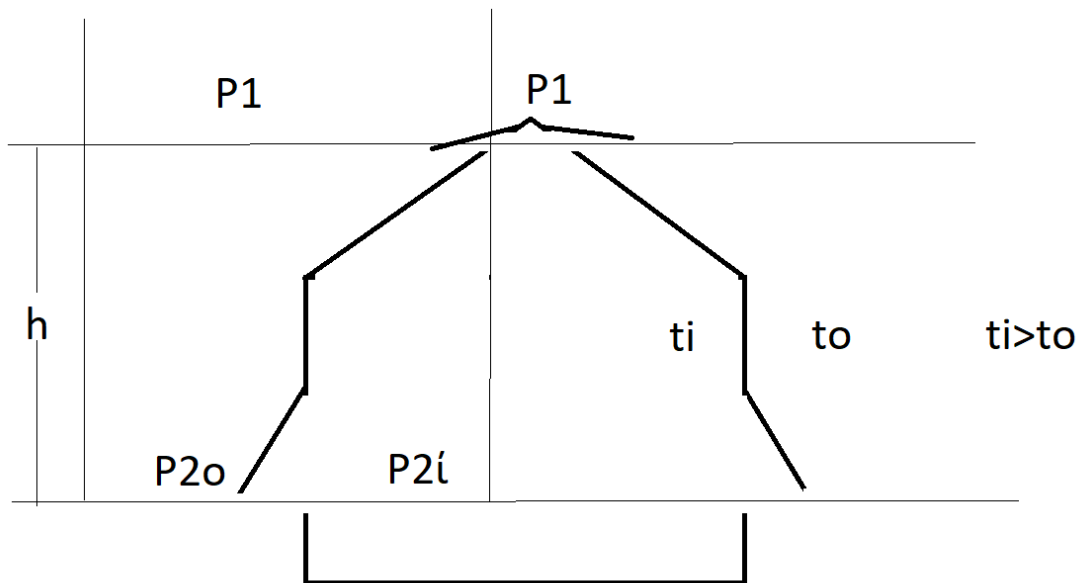
Σχήμα 3.2 Αερισμός με διαφορά πίεσης λόγω Ανέμου



Διάγραμμα 3.1 Ρυθμός εξαερισμού ανάλογα την ταχύτητα ανέμου

β) Με το φαινόμενο Bernoulli . αυτόν τον τρόπο εξαερισμό μπορούμε να τον πετύχουμε σε πολύ μεγάλα θερμοκήπια με παράθυρα μόνο στην οροφή

γ) Με διαφορά πιέσεων που οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασία του εσωτερικού με τον εξωτερικό αέρα



Σχέδιο 3.3 Αερισμός από Διαφορά Πίεσης λόγω Θερμοκρασίας

Όπως βλέπουμε στο σχήμα η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής. Αυτό σημαίνει και πως η πυκνότητα του εσωτερικού αέρα στο επίπεδο P2ί είναι μικρότερη από του εξωτερικού στο επίπεδο P2ο επομένως και το βάρος του είναι μικρότερο ανά  $m^3$ . Στο επίπεδο P1 όμως είναι ίδια, επομένως ο εξωτερικός αέρας ασκεί πίεση στα κάτω παράθυρα στον εσωτερικό και τον αναγκάζει να εξέλθει από τα πάνω λόγω ασυμπίεστου.

### 3.2.2 Δυναμικός Αερισμός

Σε θερμές περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία για να επιτευχθεί μια διαφορά εσωτερικής με εξωτερική θερμοκρασία 4-6 °C χρειάζεται μία αλλαγή του αέρα ανά λεπτό.

Για να επιτευχθεί αυτό με τον φυσικό αερισμό απαιτούνται μέσες ταχύτητες ανέμου ή να χρησιμοποιηθούν ανεμιστήρες. Γενικά ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα με ανεμιστήρες μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία κατά 3-5 °C περισσότερο από αυτό που θα μπορούσε να μειωθεί με ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα φυσικού αερισμού.

Ένα κακό εφαρμοσμένο σύστημα δυναμικού αερισμού θα καταναλώνει άσκοπη ενέργεια και με αποτελέσματα πολλές φορές χειρότερα από τον παθητικό και μόνο αερισμό.

Στον δυναμικό αερισμό οι ανεμιστήρες τοποθετούνται στο τοίχωμα της μίας πλευράς κατά βάση της υπήνεμης και το άνοιγμα βρίσκεται ακριβώς απέναντι. Για να αποφευχθεί ανομοιομορφία στις θερμοκρασίες κατά μήκος της διαδρομής του αέρα το μήκος του θερμοκηπίου πρέπει να είναι μικρότερο από 60 m και οι ανεμιστήρες τοποθετούνται ανά 6,5 m μέγιστη απόσταση μεταξύ τους .

Η δυναμικότητα του ανεμιστήρα υπολογίζεται να είναι τέτοια ώστε να μπορούν να αλλάξουν τον αέρα 60 φορές την ώρα για τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού. Για το χειμώνα μια δυνατότητα παροχής το ¼ του καλοκαιριού είναι συνήθως αρκετή.

Μια τυπική εγκατάσταση απαιτεί ηλεκτρική ισχύς 5-15W/m<sup>2</sup> .Ένα σύστημα δυναμικού αερισμού σε περιοχές με συχνές διακοπές ηλεκτρικής τροφοδοσίας από το δίκτυο πρέπει να προβλέπει και μια εφεδρική γεννήτρια για ένα ελάχιστο εξαερισμό.

Οι ανεμιστήρες επιλέγονται ώστε να μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες αέρα με χαμηλές ταχύτητες προπέλας. Διαλέγονται ώστε να μπορούν να επιτυγχάνουν στατική πίεση 24,5 Pa δηλαδή περίπου 24 Km/h. Το άνοιγμα για την είσοδο του αέρα πρέπει να έχει τις διαστάσεις που δίνουν ταχύτητες αέρα 3,8 m/s.

### 3.3 Ο Δροσισμός

Ο εξαερισμός ακόμα και με μηχανικά μέσα κάποιες φορές αδυνατεί να μειώσει την θερμοκρασία στο θερμοκήπιο εντός αποδεκτών ορίων.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα δροσισμού. Ένα τέτοιο σύστημα είναι η υδρονέφωση . Η υδρονέφωση είναι μια μέθοδος που αφαιρεί την θερμοκρασία από το χώρο μεταφέροντάς τη στα σταγονίδια του νερού και από εκεί με ανεμιστήρες στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιείται συνήθως σε μεγάλα θερμοκήπια ,είναι αποδοτικό αλλά ακριβό σύστημα, που απαιτεί συχνή συντήρηση και νερό καλής ποιότητας χωρίς άλατα και φιλτραρισμένο.

Ένα άλλο αρκετά αποτελεσματικό σύστημα είναι το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε συνδυασμό με υγρό τοίχωμα. Το υγρό τοίχωμα είναι ένα τοίχωμα στην απέναντι πλευρά από τους ανεμιστήρες που διαβρέχεται με νερό και μέσω τις

κυκλοφορίας του αέρα από τους ανεμιστήρες υποπίεσης αφαιρεί την θερμότητα του χώρου μεταφέροντας τη στον υγρό αέρα και στην συνέχεια την εξαγωγή του από τους ανεμιστήρες.

Είναι απαραίτητο όλα τα παράθυρα να είναι κλειστά και ο βαθμός απόδοσής του εξαρτάτε από την στεγανότητα που μπορεί να επιτευχθεί γιατί αλλιώς οι ανεμιστήρες μεταφέρουν αέρα που δεν έχει περάσει από το υγρό τοίχωμα. Είναι επίσης σημαντικό το τοίχωμα να διαβρέχεται σε ολόκληρη την έκτασή του χωρίς κενά με επαρκή ποσότητα νερού.

Αν έχουμε ένα σύστημα υγρού τοιχώματος με απόδοση 75% και η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι 38 °C και η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου 28 ο αέρας μετά το υγρό τοίχωμα θα είναι :  $38^{\circ}\text{C} - [0,75*(38^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C})] = 31,5^{\circ}\text{C}$  η θερμοκρασία που μπορούμε να έχουμε εντός του θερμοκηπίου. Ο αέρας βέβαια κατά τη διαδρομή του από το υγρό τοίχωμα μέχρι τους ανεμιστήρες θερμαίνεται αρχικά σε ένα αποδοτικό σύστημα η θερμοκρασία αμέσως μετά το τοίχωμα έχει μια διαφορά 3-5°C στην πλευρά των ανεμιστήρων που εξαρτάτε από την ακτινοβολία από την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, από το βαθμό σκίασης το μήκος του θερμοκηπίου και την υγρασία του εξωτερικού αέρα.

Η ταχύτητα του αέρα αμέσως μετά το υγρό τοίχωμα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1,5 m/s. Έτσι οι διαστάσεις του υγρού τοιχώματος θα υπολογιστούν ώστε να καλύπτουν την παροχή που απαιτείται με αυτή την ταχύτητα.

### 3.4 Ρύθμιση της σχετικής υγρασίας

Τα φυτά από μόνα τους διαθέτουν μηχανισμό μείωσης της θερμοκρασίας τους όταν αυτό είναι αναγκαίο. Ο μηχανισμός αυτός είναι η διαπνοή, που στην πράξη είναι η αποβολή νερού υπό μορφή υδρατμών και οι υδρατμοί προσλαμβάνουν την περιβάλλουσα θερμότητα με την μορφή λανθάνουσας θερμότητας και την διαχέουν στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα τον φυσικό δροσισμό του φυτού.

Στον ελεύθερο αγρό αυτοί οι υδρατμοί μεταφέρονται εύκολα και άμεσα μακριά από τα φυτά στο θερμοκήπιο όμως συσσωρεύονται στο χώρο εξ αιτίας του καλύμματος και έτσι αυξάνεται η υγρασία στο χώρο. Όσο οι θερμοκρασίες είναι μέτριες προς υψηλές η σχετική υγρασία είναι χαμηλή παρά τον αυξημένο ρυθμό διαπνοής γιατί τα παράθυρα είναι ανοιχτά ή λειτουργεί ο εξαερισμός οπότε μειώνεται η απόλυτη υγρασία σε σημείο που πολλές φορές απαιτείται η αύξηση της υγρασίας με τεχνητά μέσα για να μειωθεί ο ρυθμός διαπνοής.

Τη νύχτα όμως ιδιαίτερα στα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια τα παράθυρα μένουν κλειστά από το τέλος του φθινοπώρου έως την αρχή της άνοιξης και ενώ η θερμοκρασία μειώνεται ταυτόχρονα η σχετική υγρασία αυξάνεται ιδιαίτερα στα θερμοκήπια που είναι καλυμμένα με πολυαιθυλένιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο αέρας να γίνει κορεσμένος και να έχουμε συμπύκνωση στα φύλλα και στο κάλυμμα με δυσμενείς συνέπειες για την υγεία των φυτών.

Παρόλο που η διαπνοή την νύχτα μειώνεται δεν σταματά τελείως και η αναπνοή συνεχίζεται όλο το 24ωρο, επίσης η όποια υγρασία του εδάφους συμβάλει και αυτή στην αύξηση της υγρασίας. Για το λόγο αυτό το πότισμα πρέπει να αποφεύγεται τις

απογευματινές προς πρώρες βραδινές ώρες ιδιαίτερα στα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια.

Η χρήση θερμοκουρτίνας συμβάλει στην μείωση απωλειών θερμότητας από τα φυτά κυρίως τις νύχτες με καθαρό ουρανό, ταυτόχρονα όμως συμβάλει στην αύξηση της σχετικής υγρασίας στο επίπεδο των φυτών. Όταν ο ουρανός είναι νεφοσκεπής η χρήση θερμοκουρτίνας δεν συνίσταται λόγω υπερβολικής αύξησης της σχετικής υγρασίας.

Συχνά τον χειμώνα και την άνοιξη τις νύχτες με καθαρό ουρανό η θερμοκρασία των φύλλων είναι μικρότερη από εκείνη του εξωτερικού αέρα κυρίως στα θερμοκήπια που είναι καλυμμένα με πολυαιθυλένιο, οπότε τότε ο εξαερισμός έχει ευνοϊκά αποτελέσματα.

Όταν τα επίπεδα υγρασίας είναι υψηλά ο εξαερισμός καθίσταται αναγκαίος παρά τις απώλειες θερμότητας για να αποφεύγεται η συμπύκνωση των υδρατμών. Κάποιες φορές υπάρχει μια σύγχυση όσον αφορά τον εξαερισμό όταν ο παράγοντας που λαμβάνεται υπ όψιν για την απόφαση του εξαερισμού η όχι είναι η σχετική υγρασία.

Για να γίνει αυτό φανερό θα το εξηγήσουμε με ένα παράδειγμα. Παράδειγμα όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι 16 °C και η σχετική υγρασία 85% , η εξωτερική θερμοκρασία 7,5 °C και σχετική υγρασία 100% αν ευνοεί να γίνει εξαερισμός. Από το ψυχομετρικό διάγραμμα βλέπουμε ότι για σχετική υγρασία 85% και θερμοκρασία 16°C η απόλυτη υγρασία είναι 9,6 g/Kg αέρα και για σχετική υγρασία 100% και θερμοκρασία 7,5°C η απόλυτη υγρασία είναι 6,4 g/Kg αέρα. Οπότε μια ανάμειξη αυτών των δύο μας δίνει απόλυτη υγρασία μικρότερη από 9,6 g/Kg ανάλογα και με το ποσοστό ανάμειξης. Έτσι παράδειγμα για απόλυτη υγρασία 8,5 g/Kg η σχετική υγρασία για το εσωτερικό του θερμοκηπίου με 16°C μας δίνει ως αποτέλεσμα  $(8,5 \text{ g/Kg} / 11,4 \text{ g/Kg}) * 100 = 75\%$  σχετική υγρασία (11, g/Kg είναι απόλυτη υγρασία στους 16°C). Αυτό όμως προϋποθέτει ύπαρξη κάποιας μορφής θερμότητας για να έχουμε θερμοκρασία 16°C. Αλλιώς λόγω ανάμειξης και θερμοκρασίας αν η θερμοκρασία γίνει 11,75 °C η απόλυτη υγρασία θα είναι 8,5 g/Kg δηλαδή θα έχουμε 100% σχετική υγρασία και μικρότερη θερμοκρασία οπότε είναι απαγορευτικός ο εξαερισμός. Στην ουσία κάποιο σύστημα θέρμανσης κρίνεται απολύτως απαραίτητο γιατί απώλειες αέρα υπάρχουν ακόμα και σε νέα θερμοκήπια.

### 3.5 Η Θέρμανση

Τα θερμοκήπια από πλευράς θέρμανσης διακρίνονται σε:

- α) Μη θερμαινόμενα
- β) Ελαφρώς θερμαινόμενα
- γ) Θερμαινόμενα

Στα μη θερμαινόμενα δεν υπάρχει κανενός είδους θέρμανση και είτε η παραγωγή γίνεται μόνο τους καλοκαιρινούς μήνες είτε οι κλιματικές συνθήκες είναι τέτοιες που

συνήθως οι εξωτερικές θερμοκρασίες δεν είναι τόσο χαμηλές ώστε να καταστρέφεται η παραγωγή.

Τα θερμοκήπια αυτά την ημέρα θερμαίνονται με την ηλιακή ακτινοβολία και διατηρούν κάποια θερμότητα τη νύχτα ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες. Είναι εύαλωτα σε περιόδους συνεχόμενης κακοκαιρίας και είναι δύσκολο να προγραμματιστεί η παραγωγή.

Τα ελαφρώς θερμαινόμενα είναι θερμοκήπια που θερμαίνονται με μικρά αερόθερμα συνήθως χαμηλής ισχύος και η θέρμανση αποσκοπεί στην πρόληψη από καταστροφή της παραγωγής και για να μην δημιουργούνται υδρατμοί στα φύλλα ή στο κάλυμμα και προκαλούνται ασθένειες στα φυτά. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτραπεί η παραγωγή όλο το χρόνο όταν οι συνθήκες είναι σχετικά ήπιες, μειώνει τον κίνδυνο των μυκητιάσεων και δίνει την δυνατότητα πρωιμότερης παραγωγής στις χειμερινές καλλιέργειες.

Πλήρης θερμαινόμενα είναι τα θερμοκήπια που διαθέτουν σύστημα θέρμανσης ικανά να διατηρήσουν τις συνθήκες στις ιδανικές τιμές από πλευράς θερμοκρασίας.

Μπορεί να χρησιμοποιούν αερόθερμα ή σωλήνες με ζεστό νερό ή και ατμό ή με ακτινοβολία.

Γενικώς αν και η κυριότερη δαπάνη σε ένα θερμοκήπιο είναι η δαπάνη θέρμανσης εν τούτοις αν το σύστημα θέρμανσης συνδυάζεται με αυτοματισμούς ελέγχου κλίματος κρίνεται οικονομικά αποδοτικό.

Η απαιτούμενη ισχύς ενός συστήματος θέρμανσης  $Q$  σε [W] εξαρτάτε κυρίως από:

α) Τον συνολικό συντελεστή θερμοπερατότητας [ $W/m^2/^\circ C$ ] σύμφωνα με τον ακολουθούμενο πίνακα 3.2. Σε περίπτωση υλικού κάλυψης θερμοκηπίου που δεν περιλαμβάνεται στον πίνακα χρησιμοποιείται ο συντελεστής θερμοπερατότητας που δίνεται από τον κατασκευαστή.

β) Διαφυγές του αέρα [ $n$ ] από ανοίγματα με κλειστά παράθυρα ανά ώρα σύμφωνα με τον πίνακα 3.3.

γ) Θερμοκρασίας μέσα και έξω  $DT$ . Ως εσωτερική λαμβάνεται η ιδανική θερμοκρασία για την απαιτητικότερη καλλιέργεια που πρόκειται να καλλιεργηθεί και ως εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέση ελάχιστη θερμοκρασίας περιοχής εγκατάστασης για την τελευταία πενταετία.

δ) τον ογκο [ $V$ ] του θερμοκηπίου σε  $m^3$

ε) Επιφάνεια [ $A$ ] του καλύμματος σε  $m^2$

$$Q = (U \cdot A \cdot DT + 0,36 \cdot V \cdot n \cdot DT) \cdot 1,2$$

Κάλυμμα θερμοκηπίου	Τιμή U σε W/m <sup>2</sup> /°C
Απλό τζάμι	5,8
Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	6,3
Υαλοφάσματα (με ίνες υάλου) / Fiberglass	4,0
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	2,9
Απλό τζάμι και θερμοκουρτίνα	2,4

Πίνακας 3.2 Συνολικός συντελεστής Θερμοπερατότητας

Χαρακτηριστικά κατασκευής	Αλλαγές ανά ώρα (h)
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) υαλόφρακτο	0,8-1,8
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,8-2,5
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,5-1,2
Παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου με καλή συντήρηση	1,5
Παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου και κακή συντήρηση	2,5

Πίνακας 3.3 Διαφυγές αέρα από Ανοίγματα

Τα πλήρως θερμαινόμενα θερμοκήπια διαθέτουν κεντρικά συστήματα θέρμανσης με αερολέβητες ή με λέβητες με ζεστό νερό ή ατμό.

Η θέρμανση με αερολέβητα έχει το πλεονέκτημα της άμεση θερμοκρασίας του αέρα έχει όμως το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να θερμάνει εύκολα το έδαφος και σε περίπτωση βλάβης ψύχεται γρήγορα το θερμοκήπιο.

Η θέρμανση με νερό γίνεται από ένα δίκτυο σωληνώσεων που μεταφέρουν ζεστό νερό μέτρια θερμοκρασίας που αν είναι κοντά στο ριζικό σύστημα περίπου 35 °C . Μπορούν να θερμάνουν και το έδαφος και αποδίδουν την θερμότητα πιο αργά. Προτιμάται σε μεγάλα θερμοκήπια ιδίως υαλόφρακτα γιατί το γυαλί δεν επιτρέπει την εξαγωγή της μεγάλης μήκους κύματος ακτινοβολίας. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκήπια με κάλυμμα από πολυαιθυλένιο πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε κοντά στο κάλυμμα να τοποθετείται υλικό που δεν επιτρέπει την διαφυγή θερμότητας με ακτινοβολία.



Εμείς στην εργασία μας θα έχουμε σύστημα κεντρικής θέρμανσης με νερό και για αυτό θα λάβουμε μέριμνα στον προγραμματισμό για την αργή θέρμανση του χώρου που παρουσιάζει αυτός ο τρόπος θέρμανσης.

## Κεφάλαιο 4: Ο Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής-Programmable Logic Controller (PLC)

TM221CE24T



TM3AI8



Για να αυτοματοποιήσει κάποιος ένα σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει κλασικό αυτοματισμό με ρελέ, μικροελεγκτές, έναν H/H ή ένα PLC. Επειδή στο περιβάλλον του θερμοκηπίου μπορεί να υπάρχουν συνθήκες με υψηλή σχετική υγρασία και θερμοκρασίες άνω των 40°C και επειδή χρειαζόμαστε ένα πολύ αξιόπιστο αυτοματισμό με δυνατότητα πολλών εισόδων και εξόδων επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε PLC ως ελεγκτή.

Όσον αφορά τα ρελέ παρόλο που στα κυκλώματα ισχύος εξακολουθούν να υπάρχουν ωστόσο η χρήση τους κρίνεται ασύμφορη πλέον για τα κυκλώματα ελέγχου και επίσης απαιτεί πολλά μέτρα καλωδίωσης για εφαρμογές θερμοκηπίου και είναι κ μη ευέλικτο σε περίπτωση αλλαγών στον αυτοματισμό.

Επίσης πέραν τις μεγαλύτερης αντοχής ενός PLC σε σχέση με κάποια πλακέτα μικροελεγκτή παρατηρούμε ότι επειδή τα PLC χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε βιομηχανικές εφαρμογές υπάρχει μια πληθώρα επιλογών όσον αφορά τα αισθητήρια και τους ενεργοποιητές καθώς και άλλες δυνατότητες επικοινωνιών και ελέγχου διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο.

Για τους παραπάνω λόγους επιλέχθηκε η χρήση PLC για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Τα βασικά μέρη ενός PLC είναι α) Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας(CPU)

β) Το τμήμα εισόδων /εξόδων (IO)

γ) Το τροφοδοτικό

δ) Η συσκευή προγραμματισμού

Υπάρχουν PLC που ενσωματώνουν όλα τα τμήματα σε μία συσκευή (compact) και τα αρθρωτά (modular) PLC που αποτελούνται από ξεχωριστές συσκευές που

συνδέονται μεταξύ τους .Τα compact δεν έχουν μεγάλες δυνατότητες επεξεργαστικής ισχύος αλλά στην

συγκεκριμένη εφαρμογή του θερμοκηπίου κυρίως δεν επιλέγονται εξ αιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων σε εισόδους /εξόδους ειδικά με αναλογικές δυνατότητες και για λόγους δυνατοτήτων επικοινωνιών με έξυπνους αισθητήρες.

Επιλέγοντας κάποιος ένα αρθρωτό PLC έχει δυνατότητα προσαρμογής μια πληθώρας καρτών όπως: Αναλογικές κάρτες εισόδου ή εξόδου (ακόμα και με ειδικές δυνατότητες)

Ψηφιακές κάρτες εισόδου και εξόδου

Κάρτες επικοινωνιών (σειριακές rs232,rs485 ,Ethernet)

Ελέγχου κίνησης και θέσης

Καρτών εξόδου BCD

Βηματικών κινητήρων

Καρτών PID ελέγχου

Με την δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας μπορούν να επιλεγούν αισθητήρια με έτοιμους οδηγούς και να διασυνδεθούν στον ίδιο δίαυλο δεδομένων εύκολα και αξιόπιστα μειώνοντας το μήκος της καλωδίωσης αρκετά ειδικά σε μεγάλα θερμοκήπια.

Επίσης μέσω ενός PLC υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου είτε μέσω οθόνης HMI(Human Machine Interface) είτε μέσω SCADA (Supervisory control And Data Acquisition) με δυνατότητες άμεσης πληροφόρησης που είναι απολύτως αναγκαίες σε περίπτωση που οι συνθήκες στο θερμοκήπιο ξεπεράσουν κάποια όρια συναγερμού.

Ο προγραμματισμός του PLC μπορεί να γίνει σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού με δυνατότητες προσομοίωσης, ώστε να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα και προβλέποντας την αντίδραση του αυτοματισμού σε κάθε συνθήκη εύκολα. Υπάρχουν PLC με ελεύθερο λογισμικό και πολύ απλό εξοπλισμό προγραμματισμού όπως και PLC με εξειδικευμένο εξοπλισμό προγραμματισμού και λογισμικό που απαιτεί άδεια χρήσης.

Επίσης υπάρχουν PLC με δυνατότητες μεγάλης επεξεργαστικής ισχύος ή και μικρής . Για την εφαρμογή του θερμοκηπίου, που γίνεται η εργασία, δεν απαιτείται μεγάλη επεξεργαστική ισχύς μιας και οι χρόνοι απόκρισης σε ένα θερμοκήπιο δεν είναι αναγκαίο να είναι πολύ μικροί.

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται μια διαδικασία επιλογής για να βρεθεί το κατάλληλο PLC αλλά και όλες οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να λειτουργήσουν αποτελεσματικά και με οικονομικό τρόπο.

Για να γίνει αυτό κατανοητό θα αναφέρουμε τις κυριότερες παραμέτρους για μια υλοποίηση με PLC . Αρχικά ανάλογα με την εφαρμογή θα πρέπει να διαλέξουμε PLC με κατάλληλη επεξεργαστική ισχύ. Σε εφαρμογές με μεγάλες ταχύτητες όπου ο χρόνος μετάβασης από μια κατάσταση σε μια άλλη είναι πολύ μικρός (μέτρηση ) και το πρόγραμμα μεγάλο απαιτείται μεγάλη ταχύτητα επεξεργασίας ώστε ο κύκλος προγράμματος να είναι μικρός για να μην "χάνονται" γεγονότα. Άλλη παράμετρος

είναι η τάση τροφοδοσίας αλλά και εξόδου. Υπάρχουν τάσεις τροφοδοσίας μέχρι και 400 V AC μέχρι και 12 V DC οπότε μπορεί να επιλεγεί η καταλληλότερη από άποψη κόστους λειτουργικότητας η ασφαλείας. Παράδειγμα για PLC που απαιτούν γρηγορότερη αντίδραση των εξόδων μπορεί να επιλεγούν εξόδοι τύπου transistor (0,5 A) που όμως έχουν μικρά ρεύματα εξόδου σε αντίθεση με τους εξόδους τύπου ρελέ που είναι πιο αργοί οι χρόνοι αντίδρασης αλλά μπορούν να λειτουργήσουν απευθείας ρελέ ισχύος μέχρι και 3 A.

Άλλος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ όψιν είναι αν οι εξόδοι είναι θετικής (PNP) ή αρνητικής λογικής (NPN), ώστε τα αισθητήρια που θα συνδεθούν στην ίδια κάρτα εισόδου να είναι του ίδιου τύπου.

Υπάρχουν προδιαγραφές που απαιτούν PID έλεγχο με ενσωματωμένο εσωτερικό ελεγκτή και εφαρμογές που δεν το απαιτούν, όπως στο θερμοκήπιο ακόμα και αν η χρήση του απαιτείται για την λειτουργία του αυτοματισμού.

Μια άλλη σημαντική παράμετρος είναι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που πρέπει να διαθέτει ένας ελεγκτής ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές, όπως παράδειγμα ένας ρυθμιστής στροφών.

Ακόμα μια σημαντική παράμετρος είναι η γλώσσα προγραμματισμού. Στην αρχή χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα Ladder γιατί ήταν πιο εύκολο να εφαρμοσθεί από τους ηλεκτρολόγους, όμως με την ανάπτυξη των PLC κάθε κατασκευαστής χρησιμοποιούσε την δική του αρχιτεκτονική και κατ επέκταση για να γίνει ο προγραμματισμός με υπολογιστή και το δικό του αναπτυξιακό περιβάλλον (IDE). Έτσι δημιουργήθηκε μια πολυμορφία που δυσκολεύει τους προγραμματιστές PLC. Αρχικά μια λύση σε αυτήν την πολυμορφία των διαφορετικών IDE ήρθε να δώσει ένα standard το IEC 61131 όμως με το 61131 δεν δόθηκε λύση στην ποικιλομορφία του hardware γιατί η υλοποίηση σε χαμηλότερο επίπεδο είναι διαφορετική. Προσαρμόστηκαν όμως κατασκευαστές που χρησιμοποιούν ένα κοινό τρόπο δόμησης του IDE και του hardware που η διαλειτουργικότητα μπορεί να φανεί πολύ βολική για έναν προγραμματιστή PLC όμως πρέπει να γνωρίζει ποιες εταιρίες ενσωματώνουν αυτή την διαλειτουργικότητα και ποιες όχι ώστε να επιλέξει το ανάλογο PLC και το ανάλογο hardware.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε τον Λογικό Ελεγκτή της Schneider Electric

TM221CE24T με αναλογικές κάρτες TM3AI8 και TM3TI4G για χρήση των αισθητηρίων θερμοκρασίας Pt100 ή Pt1000.

Ο συγκεκριμένος ελεγκτής επιλέχθηκε γιατί το αναπτυξιακό του περιβάλλον είναι ελεύθερο και ο προγραμματισμός γίνεται με ένα απλό καλώδιο του εμπορίου. Επίσης έχει επαρκείς ψηφιακές εισόδους και εξόδους για την εφαρμογή μας. Έχει εξόδους 24 V το οποίο είναι επιθυμητό για λόγους ασφαλείας σε ένα περιβάλλον με αυξημένη υγρασία.

Είναι αρθρωτός και μπορούμε να προσθέσουμε εύκολα αναλογικές κάρτες ακόμα και κάρτα με ενσωματωμένους drivers για απευθείας χρήση αισθητηρίων θερμοκρασίας Pt100.

Επίσης διαθέτει σειριακή θύρα RS485 με πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus RTU που είναι πολύ διαδεδομένο και μπορεί να λειτουργήσει με τους αισθητήρες που έχουμε επιλέξει. Με το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχουμε την δυνατότητα επικοινωνίας μέχρι 1200 μέτρα όπως θα δούμε παρακάτω στην ανάλυση του πρωτοκόλλου Modbus RTU.

Επίσης διαθέτει θύρα Ethernet για μελλοντική χρήση router για απομακρυσμένο έλεγχο.

## Main

<b>Range of Product</b>	Modicon M221
<b>Product or Component Type</b>	Logic controller
<b>[Us] rated supply voltage</b>	24 V DC
<b>Discrete input number</b>	14, discrete input 4 fast input IEC 61131-2 Type 1
<b>Analogue input number</b>	2 0...10 V
<b>Discrete output type</b>	Transistor
<b>Discrete output number</b>	10 transistor 2 fast output
<b>Discrete output voltage</b>	24 V DC
<b>Discrete output current</b>	0.5 A
<b>Discrete I/O number</b>	24
<b>Maximum number of I/O expansion module</b>	7 (local I/O-Architecture) 14 (remote I/O-Architecture)
<b>Supply voltage limits</b>	20.4...28.8 V
<b>Inrush current</b>	35 A
<b>Maximum power consumption in W</b>	14 W 24 V with max number of I/O expansion module) 4.8 W 24 V without I/O expansion module)
<b>Power supply output current</b>	0.52 A 5 V expansion bus 0.2 A 24 V expansion bus
<b>Discrete input logic</b>	Sink or source (positive/negative)
<b>Discrete input voltage</b>	24 V
<b>Discrete input voltage type</b>	DC

<b>Analogue input resolution</b>	10 bits	
<b>LSB value</b>	10 mV	
<b>Conversion time</b>	1 ms per channel + 1 controller cycle time analog input	
<b>Permitted overload on inputs</b>	+/- 30 V DC 5 min maximum)analog input +/- 13 V DC permanent)analog input	
<b>Voltage state 1 guaranteed</b>	>= 15 V input	
<b>Voltage state 0 guaranteed</b>	<= 5 V input	
<b>Discrete input current</b>	7 mA discrete input 5 mA fast input	
<b>Configurable filtering time</b>	0 ms input 3 ms input 12 ms input	Αποκρίση τετραγωνικού σήματος
<b>Discrete output logic</b>	Positive logic (source)	
<b>Maximum current per output common</b>	5 A	
<b>Output Frequency (sync to mains)</b>	100 kHz fast output (PWM/PLS mode) Q0...Q1 5 kHz output Q2...Q3 0.1 kHz output Q4...Q9	
<b>Realtime clock</b>	With	
<b>Clock drift</b>	<= 30 s/month 77.0000000000 °F (25 °C)	
<b>Regulation loop</b>	Adjustable PID regulator up to 14 simultaneous loops	
<b>Positioning functions</b>	PTO 2 pulse/direction 100 kHz) PTO 1 CW/CCW 100 kHz)	
<b>Function Available</b>	Frequency generator PLS PWM	
<b>Counting input number</b>	4 fast input (HSC mode) 100 kHz 32 bits	
<b>counter function</b>	A/B Single phase Pulse/direction	Αποκρίση τετραγωνικού σήματος

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά PLC

## Κεφάλαιο 5: Επικοινωνίες Δεδομένων Αισθητήρων.

Οι σύγχρονοι αισθητήρες εκτός από το αισθητήριο περιλαμβάνουν και όλα τα κυκλώματα ώστε να φτάνει το σήμα σε κατάλληλη μορφή για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους ελεγκτές.

Περιλαμβάνουν τα κυκλώματα προσαρμογής και ενίσχυσης ,μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό και τα κυκλώματα για την μετάδοση σε ένα δίκτυο. Συχνά ένα αισθητήριο όργανο δεν μετρά μόνο ένα μέγεθος αλλά περισσότερα οπότε περιλαμβάνει και πολυπλέκτη ,μνήμη και μικροελεγκτή. Ακόμα υπάρχουν αισθητήρια που δίνουν κατ ευθείαν εντολές σε ενεργοποιητές. Για την καλύτερη μετάδοση του σήματος ένας αισθητήρας μπορεί να κάνει έλεγχο διέγερσης ώστε να προσαρμόζει κατάλληλα την τάση εξόδου όταν αυτή π.χ. επηρεαστεί από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, μπορεί να ενισχύσει το σήμα ώστε π.χ. η αναλογική τιμή του να μετατραπεί σωστά σε ψηφιακή ,να αυτοβαθμονομηθεί και να κάνει διαγνωστικό έλεγχο βλάβης του ίδιου του αισθητήρα.

Για την μετάδοση του σήματος χρησιμοποιούνται κάποια πρότυπα ώστε να συμμορφώνονται οι διάφοροι κατασκευαστές και να μπορούν να συνεργάζονται οι αισθητήρες διαφόρων κατασκευαστών στο ίδιο δίκτυο με ελεγκτές άλλων εταιριών.

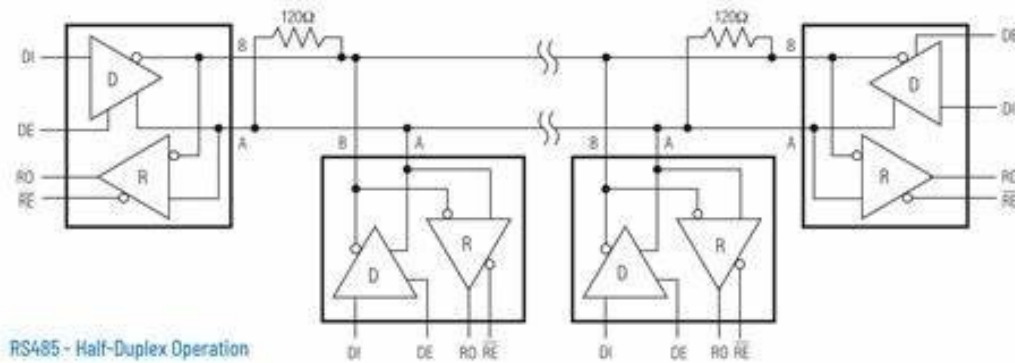
Το πρότυπο IEEE 1451 δίνει την δυνατότητα της άμεσης εγκατάστασης (plug and play) . Επίσης περιλαμβάνει ένα αριθμό υποπροτύπων που εξυπηρετούν την επικοινωνία των αισθητήρων διαφορετικών τεχνολογιών με τον ελεγκτή.

### 5.1 Τα πρότυπα RS232, RS422, RS485

Το πρότυπο σειριακής επικοινωνίας RS232 δημιουργήθηκε για την μεταφορά δεδομένων μεταξύ μια συσκευής και ενός υπολογιστή. Επιτρέπει ημιαμφίδρομη και αμφίδρομη επικοινωνία ανάλογα και με τον αριθμό αγωγών εκπομπής και λήψης σημάτων . Μπορεί να μεταδώσει το σήμα μέχρι και 15m με ταχύτητες από 100 έως 19200 bauds. Για την μετάδοση του σήματος ο πομπός αποστέλλει ένα ψηφίο εκκίνησης ,το πακέτο δεδομένων των 8 bit ένα bit ισοτιμίας και ένα bit λήξης. Τα πακέτα στέλνονται σε διαδοχικές ροές σε συγκεκριμένο χρόνο.

Το πρότυπο RS422 είναι εξέλιξη του RS232 με δυνατότητα μετάδοσης μέχρι 1200 μέτρα συνολικά για όλες τις συσκευές . Μπορούν να συνδεθούν μέχρι 10 δέκτες λήψης δεδομένων με ταχύτητες από 100Kbit/s μέχρι 10Mbit/s

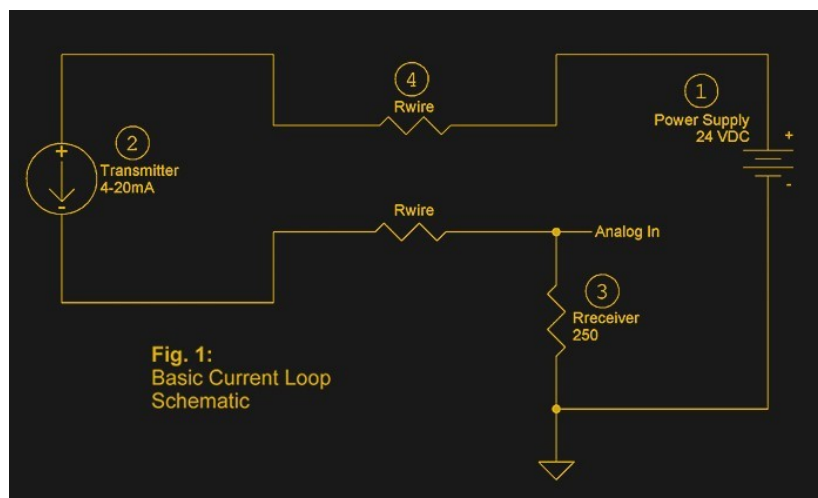
Το πρότυπο RS485 είναι βελτιωμένη έκδοση του RS422 και μπορούν να συνδεθούν μέχρι 32 συσκευές με ταχύτητες 100Kbit/s μέχρι 10Mbit/s για απόσταση άνω των 1200 μέτρων. Για ημιαμφίδρομη επικοινωνία χρησιμοποιούνται 2 αγωγοί και για αμφίδρομη 4 σύν τον αγωγό γείωσης. Η επίσημη ονομασία του είναι EIA/TIA 485



Σχήμα 5.1 Σχεδιάγραμμα προτύπου RS485

## 5.2. Ο βρόγχος 4-20 mA

Ένα από τα πιο διαδεδομένα βιομηχανικά πρότυπα είναι ο βρόγχος 4-20 mA . Τα 4 mA αντιστοιχούν στην μικρότερη τιμή μέτρησης και τα 20 mA στην μέγιστη . Η μετάδοση γίνεται μέσα από ένα συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων για εξάλειψη του θορύβου στο σήμα.



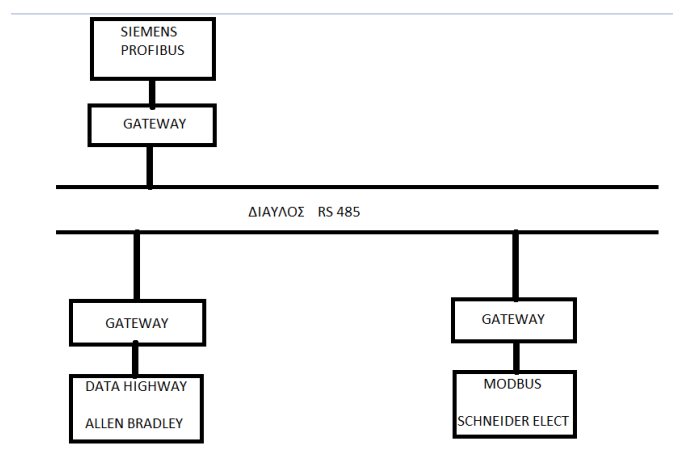
Σχέδιο 5.2 Σχηματικό Κυκλώματος βρόχου 4-20 mA

Η διασύνδεση των αισθητήρων μέσω των προτύπων όπως το πρότυπο RS 485 και το πρότυπο 4-20 mA είναι μια καλή λύση όταν έχουμε περιορισμένο αριθμό αισθητήρων και η συνολική απόσταση είναι μικρότερη από 1200 μέτρα. Στην περίπτωση όμως πολλών αισθητήρων η καλωδίωση γίνεται προβληματική αντικοινωνική και δυσχεραίνεται η εξεύρεση βλαβών. Για τους λόγους αυτούς καθώς και για καλύτερη διαχείριση των δεδομένων έχουν αναπτυχθεί πρότυπα επικοινωνίας μέσω ενός κοινού διαύλου. Για την σωστή και έγκαιρη μετάδοση ακολουθούνται διάφορες τεχνικές όπως η τεχνική "κουπονιού", "master-slave", απόφυγή συγκρούσεων (CSMA/CD) κ.α.



Έτσι έχουν αναπτυχθεί τα πρότυπα επικοινωνίας διαύλου όπως το Can bus, Profibus, Modbus και το πρότυπο Ethernet που χρησιμοποιείται συνήθως σε τοπολογία αστέρα. Η τοπολογία αστέρα είναι αποδοτικότερη όταν τα δεδομένα διακινούνται μεταξύ του κύριου ελεγκτή και απομακρυσμένων π.χ. σε κατανεμημένα δίκτυα PLC. Όταν η επικοινωνία γίνεται μεταξύ όλων των συσκευών τότε αποδοτικότερη είναι μια σύνδεση επικοινωνίας διαύλου.

Τα πρότυπα Profibus και Modbus ως φυσικό επίπεδο μπορεί να χρησιμοποιούν οπτική ίνα ή το πρότυπο RS485 και RS232 ή RS485 αντίστοιχα ενώ το κάθε ένα έχει το δικό πρότυπο για το επίπεδο εφαρμογής. Είναι δυνατόν μέσω ενός φυσικού μέσου όπως το RS485 να διασυνδεθούν διαφορετικά πρότυπα εφαρμογής μέσω πυλών (gateway)



Σχήμα 5.3 Διασύνδεση Συσκευών με διαφορετικά Πρωτόκολλα μέσω Gateway

### 5.3 Το πρότυπο Modbus

Το πρότυπο Modbus αναπτύχθηκε από την Modicon το 1978.

Εκτός από την μεταφορά δεδομένων από τις αισθητήριες συσκευές, δύναται η δυνατότητα μεταφοράς και προς ενεργοποιητές και ελεγκτές, διαγνωστικές λειτουργίες και προγραμματισμός, σύνδεση χειριστηρίων και συσκευών απεικόνισης και ελέγχου (SCADA) καθώς επίσης και η δυνατότητα σύνδεσης των συσκευών με το internet όπως με το πρωτόκολλο Modbus/TCP IP που δίνει μεγαλύτερη ευελιξία και έλεγχο στον αυτοματισμό γιατί οποιοσδήποτε από οπουδήποτε και οποτεδήποτε μπορεί να έχει πρόσβαση σε οποιαδήποτε συσκευή του δικτύου.

Το Modbus είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί την τεχνική "master-slave" μέσω του σειριακού προτύπου RS485 και σπανιότερα του RS232. Υπάρχει μόνο ένας master και ένας ή περισσότεροι slave. Ο master απευθύνεται σε έναν έναν τους slave ή και σε όλους μαζί (broadcast) και αυτοί απαντούν ή εκτελούν τις εντολές του master. Οι συσκευές στο Modbus πρέπει να έχουν την δική του τροφοδοσία και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό το δίκτυο. Μπορούμε να συνδέσουμε μέχρι 32 συσκευές για απόσταση μέχρι 1200

μέτρα , με την χρήση όμως συσκευών διακλάδωσης μπορούμε να αυξήσουμε το μήκος κατά 1000 μέτρα .Οι συσκευές διακλάδωσης προσφέρουν ταχύτητα εγκατάστασης μιας και η σύνδεση γίνεται με απλά βύσματα RJ-45. Επίσης με τις συσκευές διακλάδωσης δεν χρειάζεται να προσθέσουμε στα άκρα του δικτύου αντιστάσεις ,απλά ρυθμίζουμε κατάλληλα τις τερματικές συσκευές διακλάδωσης.

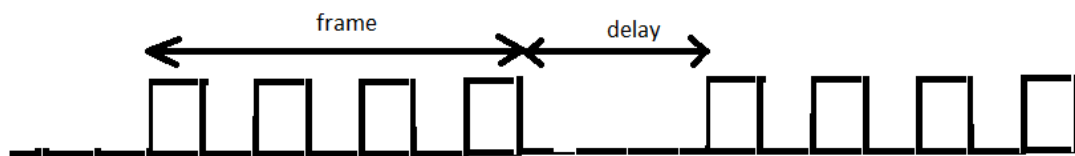
Το πρότυπο Modbus έχει 3 εκδόσεις. Υπάρχει η έκδοση Modbus ASCII , Modbus RTU και Modbus TCP IP.

Η έκδοση Modbus ASCII επιτρέπει διαλείμματα στην επικοινωνία έως 1 sec χωρίς δημιουργία σφάλματος. 2 χαρακτήρες ASCII εκπέμπονται σε 8 bit μαζί με ένα bit έναρξης ,ένα bit ισοτιμίας με έλεγχο LRC και ένα bit λήξης. Χρησιμοποιεί καλώδιο 5 αγωγών με διατομή τουλάχιστον 18 AWG και με μέγιστο μήκος 350 μέτρα.

Η έκδοση Modbus RTU μπορεί να αποστείλει περισσότερα δεδομένα στην μονάδα του χρόνου, σε σχέση με τον τύπο Modbus ASCII . Ο έλεγχος σφαλμάτων γίνεται με την μέθοδο CRC που είναι πιο αξιόπιστη από την μέθοδο LRC. Το πακέτο έχει μέγεθος 256 bytes και περιλαμβάνει την κάτωθι δομή.

Address	Code	Data	CRC
1 Byte	1 Byte	0....252 Byte	2 Byte

Τα ξεχωριστά πακέτα χωρίζονται με ένα κενό που αποκαλείται καθυστέρηση (delay) το οποίο είναι 3,5 φορές μεγαλύτερο από το μήκος του χαρακτήρα

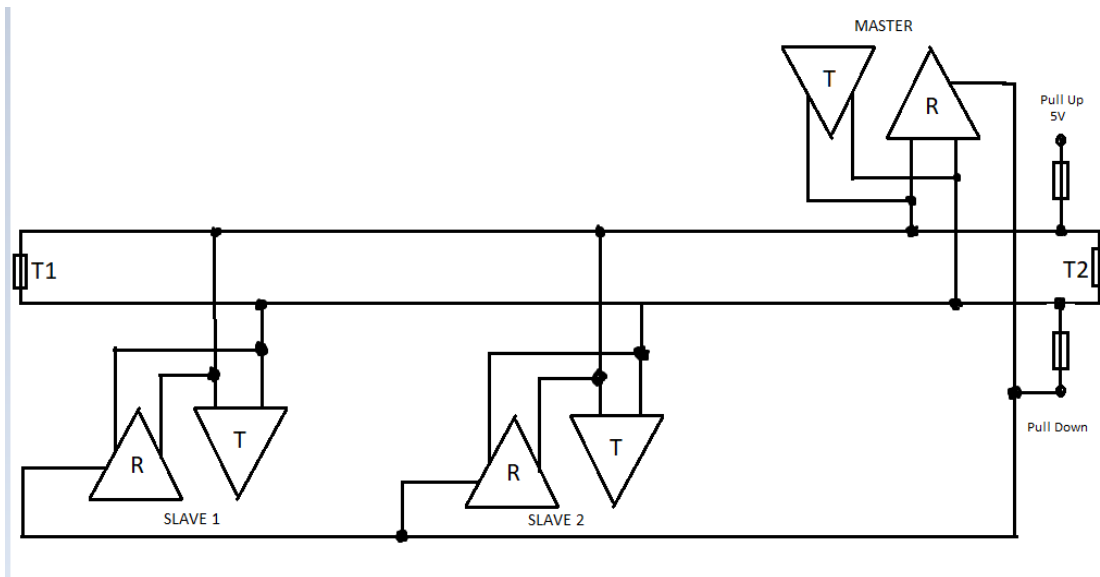


Σχήμα 5.4 Ροή πακέτων στο πρότυπο Modbus

Στην λειτουργία Modbus RTU το πακέτο πρέπει να μεταφερθεί σαν συνεχόμενο ρεύμα χαρακτήρων αλλιώς θα θεωρηθεί εσφαλμένο και θα απορριφθεί. Ένα πακέτο Modbus RTU είναι ευρέως γνωστό ως telegram.

Για τον τύπο RTU χρησιμοποιούμε 2 αγωγούς συν γείωση για ημιαμφίδρομη και 4 αγωγούς συν γείωση για αμφίδρομη επικοινωνία με διατομή τουλάχιστον 18 AWG και με μέγιστο μήκος 1200 μέτρα. Για γείωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η θωράκιση.

Υπάρχουν περιπτώσεις που ζητείτε από τον κατασκευαστή του δικτύου να τοποθετηθούν και αντιστάσεις πόλωσης (Pull Up/Down) συνήθως 470 Ω /0,25 W μεταξύ της γείωσης και της συσκευής για να απορροφηθεί οποιοδήποτε ανεπιθύμητο ρεύμα από πιθανή διαφορά δυναμικού μεταξύ των γειώσεων των συσκευών και των γειώσεων του δικτύου.



Σχήμα 5.5 Σχηματικό Κυκλώματος διαύλου Modbus με αντιστάσεις προστασίας

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ( baud rate) και πρέπει τα δεδομένα να μεταδίδονται με τέτοιο ρυθμό που ο χρόνος μετάδοσης να είναι μικρότερος από το χρόνο κύκλου εκτέλεσης προγράμματος του PLC για την εκάστοτε εφαρμογή.

Για παράδειγμα έστω ότι έχουμε πρόγραμμα με κύκλο προγράμματος 20ms και ρυθμό μετάδοσης 9600 bauds. Αυτό σημαίνει  $9600/1000 \text{ ms} = 9,6 \text{ ms}$  για την μετάδοση ενός byte. Αν προσθέσουμε τον χρόνο εκτέλεσης προγράμματος master 3ms και τον χρόνο εκτέλεσης προγράμματος slave 2ms συνολικά είναι 14,6 ms. Άρα μπορεί να γίνει μετάδοση πακέτου μόνο 1 byte επιτυχώς ,συνεπώς επειδή το πιο μικρό πακέτο είναι 5 bytes πρέπει να διαλέξουμε ένα άλλο ρυθμό μετάδοσης γρηγορότερο .

Οι ρυθμοί μετάδοσης στο Modbus RTU είναι :300 bit/s , 600 bit/s, 1200 bit/s , 2400 bit/s , 4800 bit/s, 9600 bit/s, 19200 bit/s, 38400 bit/s , 57600 bit/s και 115200 bit/s.

Όλες οι συσκευές που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο πρέπει να έχουν ακριβώς ίδια τα

εξής στοιχεία:	Type Modbus	πχ	RTU
	Baud rate		19200
	Parity	even	(or odd or none)
	Stop Bit	1	or 2
	Data size		8

## Κεφάλαιο 6: Τα αισθητήρια του Θερμοκηπίου

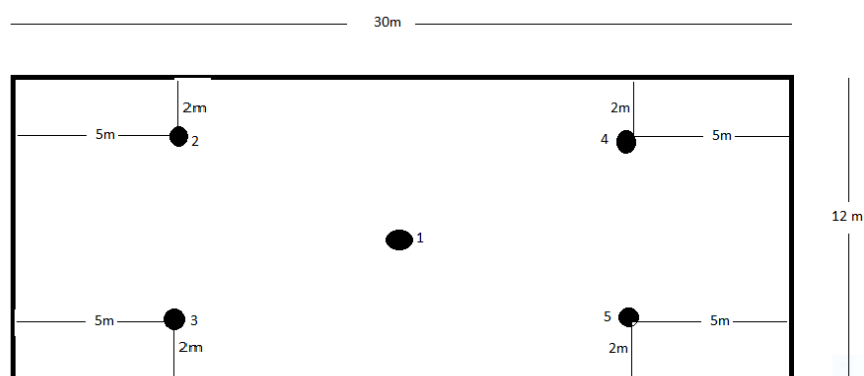
### 6.1 Αισθητήρια Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας κλίματος για ένα θερμοκήπιο. Μέσα στο θερμοκήπιο η θερμοκρασία διαφέρει στην κορυφή σε σχέση με το μέσο ύψος των φυτών. Επίσης διαφέρει και στα πλαϊνά όπου υπάρχουν ανοίγματα και έχουμε και απώλεια θερμότητας με αγωγή και συναγωγή, κατά συνέπεια τα φυτά που βρίσκονται περιμετρικά του θερμοκηπίου έχουν διαφορετική θερμοκρασία από αυτά που βρίσκονται στο κέντρο.

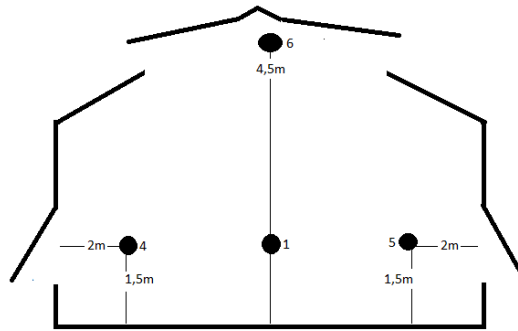
Αν και η θερμοκρασία τείνει να εξισωθεί σε όλα τα σημεία παρ' όλα αυτά λόγω των συνεχών διαρροών αέρα και του ύψους πάντα θα υπάρχουν διαφορές θερμοκρασίας. Για να ρυθμίσουμε τη θερμοκρασία για όλο το χώρο ώστε να κρίνουμε πότε θα λειτουργήσει η θέρμανση ή πότε θα ανοίξουν ή θα κλείσουν τα παράθυρα θα πρέπει να έχουμε μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία του χώρου. Οπότε χρειαζόμαστε αισθητήρες στα σημεία με τις μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίες.

Σε ένα σύστημα με ηλεκτροβάνες θα μπορούσε να ρυθμιστεί η θερμοκρασία διαφορετικά στα άκρα σε σχέση με το μέσο. Με το άνοιγμα των παραθύρων όμως αυτό είναι αδύνατο. Οπότε θα τοποθετήσουμε αισθητήρες σε διάφορα σημεία που θα μας δώσουν την συνολική αντιπροσωπευτική θερμοκρασία και ενώ θα μετράμε μια θερμοκρασία από ένα αισθητήρα θα πολλαπλασιάζουμε αυτή την θερμοκρασία με ένα "βάρος", ώστε προσθέτοντάς τις όλες να έχουμε ως τελικό αποτέλεσμα μία θερμοκρασία αυτή που αντιπροσωπεύει καλύτερα την θερμοκρασία των φυτών.

Επειδή δεν μπορούμε να τοποθετήσουμε άπειρους αισθητήρες θα τοποθετήσουμε 6 όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 6.1.1 Διάταξη Αισθητήρων Θερμοκρασίας



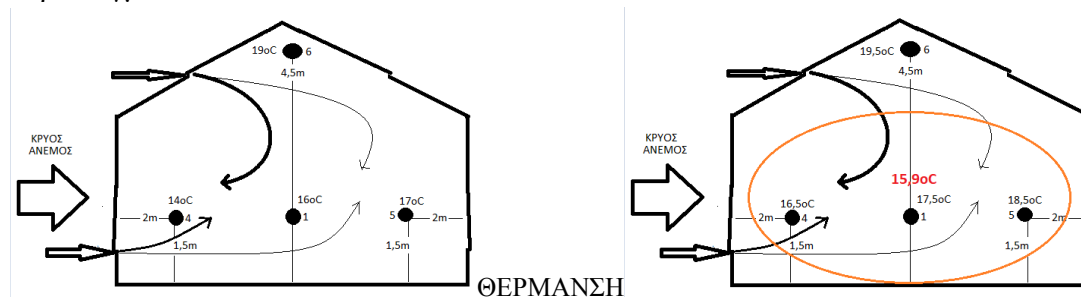
Σχήμα 6.1.2 Διάταξη Αισθητήρων Θερμοκρασίας

Το βάρος του αισθητήρα Νο1 = 0.9 επειδή αυτή είναι και η θερμοκρασία που τελικά θα θέλαμε να είναι η αντιπροσωπευτική, του αισθητήρα Νο6= 0.8 επειδή είναι το πιο ζεστό σχεδόν σημείο, όταν όλα τα άλλα σημεία θα έχουν χαμηλότερη. (η θερμοκρασιακή διαφορά είναι περίπου 1,5°C ανά 1m ύψους (Μαυρογιαννόπουλος σελ 504).

Για τους πλαϊνούς αισθητήρες πρέπει να λάβουμε υπ όψιν μας ότι η πλευρά που δέχεται τον άνεμο έχει μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας οπότε αν και δεν υπάρχουν πειραματικά αποτελέσματα θα λάβουμε ως βάρος την τιμή 0,85 για την υπήνεμη πλευρα και 1 για την προσήνεμη.

Στο πρόγραμμά μας θα ληφθεί αυτό υπ όψιν για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής θερμοκρασίας. Στην συνέχεια θα γίνει ανάδευση και θα μετρηθεί ξανά η θερμοκρασία μετά από ένα ικανό διάστημα (περίπου 10 λεπτά)

Παράδειγμα:



Σχήμα 6.2 Αντιπροσωπευτική Θερμοκρασία Συνόλου Αισθητήρων Θερμοκρασίας

Μας ενδιαφέρει η πιο κρύα θερμοκρασία μια νύχτα του χειμώνα και έστω ότι οι θερμοκρασίες είναι αυτές όπως φαίνονται στο σχήμα.

Τότε η συνολική θερμοκρασία θα είναι:  $(14 \cdot 1 + 16 \cdot 0,9 + 19 \cdot 0,8 + 17 \cdot 0,85) / 4 = (14 + 14,4 + 15,2 + 14,45) / 4 = 14,5^\circ\text{C}$ . Οπότε όταν λειτουργήσει το σύστημα θέρμανσης και έχουμε θέσει ως επιθυμητή θερμοκρασία  $15,9^\circ\text{C}$  και γίνεται ανάδευση οι θερμοκρασίες στα σημεία των αισθητήρων θα είναι αυτές που φαίνονται στο σχήμα.

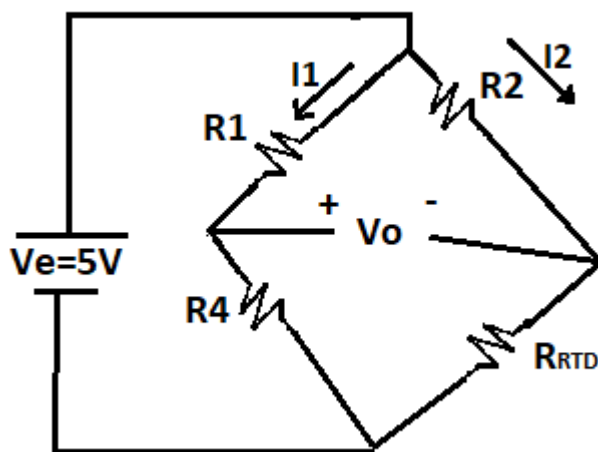
Για να εξαχθεί αυτή η τιμή θεωρούμε ότι η θερμοκρασία στον αισθητήρα Νο1  $= \alpha = 1,5^\circ\text{C}$  μεγαλύτερη από την συνολικά επιθυμητή. Στον αισθητήρα Νο4  $= \beta = \alpha - 1^\circ\text{C}$ , στον αισθητήρα Νο5  $= \alpha + 1^\circ\text{C}$  και στον αισθητήρα Νο6  $= \alpha + 2^\circ\text{C}$ . Οι τιμές αυτές δεν έχουν τις ίδιες διαφορές θερμοκρασίας με την κατάσταση πριν την θέρμανση γιατί

όσο λειτουργεί η θέρμανση θα γίνεται και ανάδευση από ανεμιστήρες οροφής. Επίσης αυτές οι τιμές δεν έχουν εξαχθεί πειραματικά για κάποιο συγκεκριμένο θερμοκήπιο αλλά είναι λογικά ενδεικτικές και στον προγραμματισμό μπορούν εύκολα να μεταβληθούν σύμφωνα με τις παρατηρήσεις στο πεδίο.

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας θα χρησιμοποιήσουμε αισθητήρια RTD κοινά που θα συνδεθούν στην αναλογική κάρτα TM3TI4G που είναι κατάλληλη ώστε να μετατρέπει την αναλογική τιμή σε ψηφιακή για αισθητήρες Pt100 και Pt1000 και για τον κεντρικό, έξυπνο αισθητήρα με πρωτόκολλο Modbus RTU που θα συνδεθεί στην σειριακή θύρα του ελεγκτή.

Είναι γνωστό πως τα αισθητήρια RTD επηρεάζονται από το μήκος των καλωδίων που συνδέονται σε αυτά όταν πρόκειται να τοποθετηθούν σε μεγάλη απόσταση από το κύκλωμα προσαρμογής. Για αυτό θα διαλέξουμε αισθητήριο με 3 ακροδέκτες ώστε να προσθέσουμε και καλώδια αντιστάθμισης. Παρόλα αυτά όμως θα χρειαστεί να κάνουμε και αναβαθμονόμηση αν κριθεί απαραίτητο.

Πιο κάτω βλέπουμε γιατί αυτό μπορεί να χρειαστεί αν δεν το κάνει η αναλογική κάρτα αυτόματα.



Σχήμα 6.3.1 Κύκλωμα προσαρμογής αισθητηρίου RTD με 2 καλώδια

$$I1 = \frac{Ve}{R1 + R4}, \quad I2 = \frac{Ve}{R2 + R_{RTD}}$$

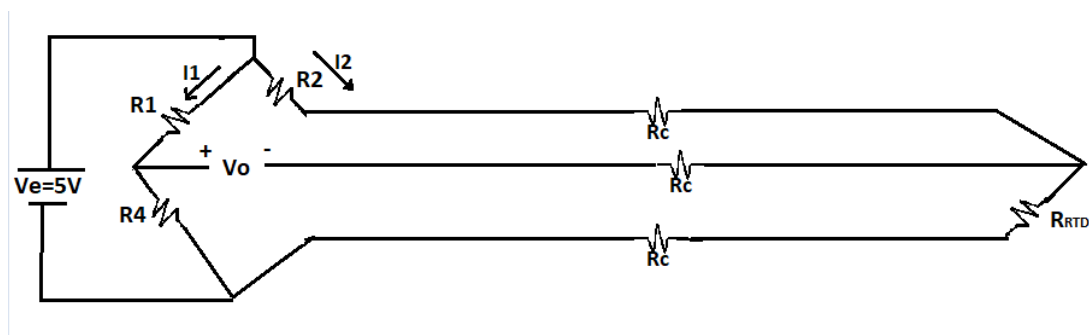
$$-V_o - I1 * R1 + I2 * R2 = 0 \Rightarrow V_o = I2 * R2 - I1 * R1$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{Ve}{R2 + R_{RTD}} * R2 - \frac{Ve}{R1 + R4} * R1$$

Αν θεωρήσουμε ότι  $R1 = R2 = R4 = R = 150 \Omega$  και  $R_{RTD} = 100 \Omega$  στους  $0^\circ C$  τότε  $V_o = 0,5V$

Ενώ στους  $50^\circ C$  η  $R_{RTD} = 119,25 \Omega$  αφού ισχύει ότι  $R = R_0 [1 + \alpha * (\theta - \theta_0)]$  και αφού το αισθητήριο είναι από λευκόχρυσο το  $\alpha = 0,003851^\circ C^{-1}$ . και τότε  $V_o = 0,286 V$

Αν προεκτείνουμε τα καλώδια κατά 50m με χάλκινους αγωγούς διατομής 1 mm<sup>2</sup> θα έχουμε την εξής διάταξη



Σχήμα 6.3.2 Κύκλωμα προσαρμογής αισθητηρίου RTD με 3 καλώδια

Στους 0°C η αντίσταση των χάλκινων αγωγών θα είναι  $\frac{1}{56*1} 50m = 0,89 \Omega = R_c$  και στους 50 °C η αντίσταση θα είναι 1,08 Ω αφού για το χαλκό  $\alpha=0,0043^{\circ}C^{-1}$

Επομένως η τάση που θα μετατραπεί σε ψηφιακό σήμα θα είναι :

$$I_1 = \frac{V_e}{R_1 + R_4}, \quad I_2 = \frac{V_e}{R_2 + 2R_c + R_{RTD}}, \quad -V_o - I_1 * R_1 + I_2 * (R_2 + 2R_c) = 0 \Rightarrow$$

$$V_o = I_2 * (R_2 + 2R_c) - I_1 * R_1 = \frac{V_e}{R_2 + 2R_c + R_{RTD}} * (R_2 + 2R_c) - \frac{V_e}{R_1 + R_4} * R_1$$

Αν θεωρήσουμε ότι  $R_1 = R_2 = R_4 = R = 150 \Omega$  και  $R_{RTD} = 100 \Omega$  στους 0°C τότε  $V_o = 0,51V$

στοις 50 °C η  $R_{RTD} = 119,25 \Omega$  οπότε

$$V_o = 0,303 V$$

Αν θεωρήσουμε γραμμική την συμπεριφορά της αντίστασης  $R_{RTD}$  λύνοντας την εξίσωση της ευθείας  $y = a\theta + \beta$  για την περίπτωση που δεν χρησιμοποιήσουμε αντιστάσεις αντιστάθμισης έχουμε ότι  $y = -0,00428 * \theta + 0.5$

και για την περίπτωση που χρησιμοποιούμε αντιστάσεις αντιστάθμισης

$$k = -0,00414 * \theta + 0,51$$

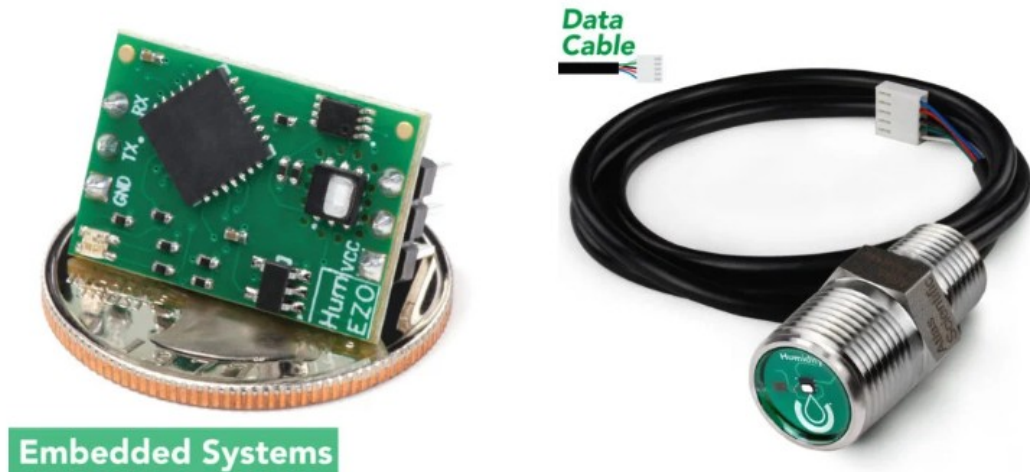
οπότε αν υποθέσουμε ότι έχουμε μια τάση  $V_o = 0,35 V$  χωρίς αντιστάσεις αντιστάθμισης η θερμοκρασία αντιστοιχεί σε 35,04 °C

ενώ με αντιστάσεις αντιστάθμισης αντιστοιχεί σε 38,64 °C

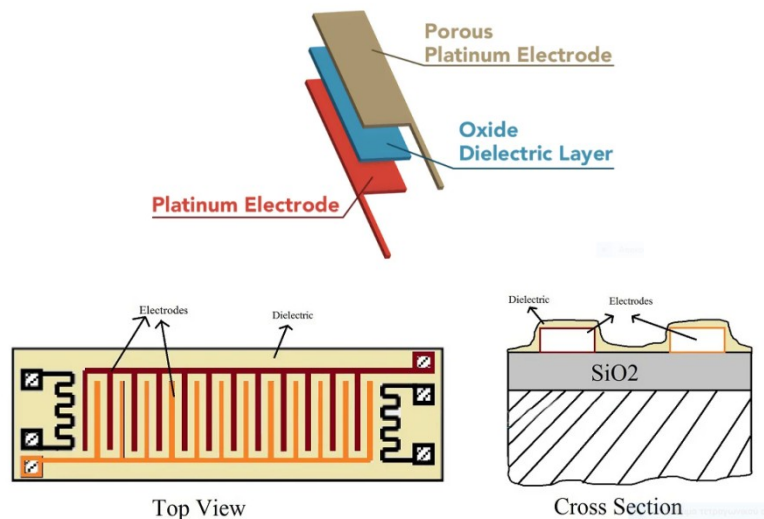
οπότε βλέπουμε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά και πρέπει να ληφθεί υπ όψιν .

## 6.2 Αισθητήρια Υγρασίας

Η υγρασία μετράτε είτε ως απόλυτη δηλαδή το βάρος του νερού που περιέχεται σε ένα μέσο(αέρας, χώμα) ανά μονάδα βάρους ή όγκου του μέσου αυτού, (πχ. g νερού/Kg αέρα ή g νερού/m<sup>3</sup> αέρα ) είτε ως σχετική υγρασία δηλαδή το ποσοστό της υγρασίας (%) που έχει αυτό το μέσο σε σχέση με το μέγιστο ποσό που θα μπορούσε να συγκρατήσει το μέσο αυτό σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση.



Για τα αέρια , που μας ενδιαφέρει στην συγκεκριμένη εργασία , χρησιμοποιούνται αισθητήρια μεταβλητής χωρητικότητας που αποτελούνται από 2 ηλεκτρόδια που έχουν τοποθετηθεί σε υπόστρωμα (γυαλί, κεραμικό, σιλικόνη) και καλύπτονται με πολυμερές υλικό ή οξειδία μετάλλου και στη συνέχεια από μια στρώση πορώδους υλικού.

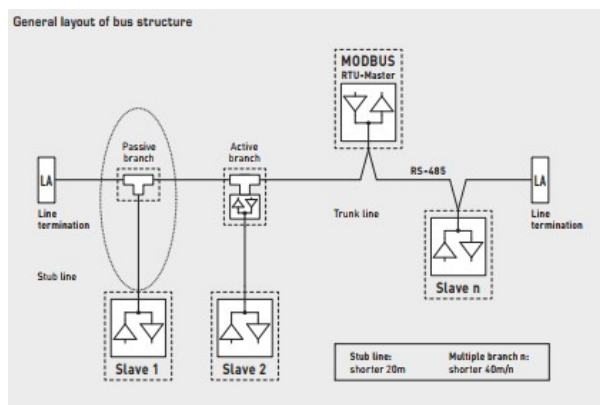


Η μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς του αισθητηρίου σχετίζεται άμεσα με την υγρασία του χώρου. Η μεταβολή της χωρητικότητας κυμαίνεται μεταξύ 0,2-0,5 pF για μεταβολή 1% σχετικής υγρασίας και η ολική του αισθητήρα μεταξύ 100-500 pF όταν η σχετική υγρασία είναι 50% και η θερμοκρασία 25 °C .

Τα μειονεκτήματα του αισθητήρα χωρητικότητας είναι ότι:



α) Το μήκος των καλωδίων σύνδεσης επηρεάζει την χωρητικότητα και έτσι δεν μπορούν τα τοποθετηθούν μακριά από το κύκλωμα ενίσχυσης. Αυτό μπορεί να διορθωθεί όταν χρησιμοποιήσουμε αισθητήρες που το σήμα μεταφέρεται ψηφιακά μέσω διαύλου δεδομένων όπως αισθητήρες με πρωτόκολλο Modbus RTU που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτή την εφαρμογή.



β) Δεν ανταποκρίνονται σε υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας. Γι αυτό στο πρόγραμμα του αυτοματισμού θα θεωρήσουμε ότι όταν η σχετική υγρασία είναι άνω των 95% είναι σαν να έχουμε σχετική υγρασία 100%.

γ) Δεν έχουν γραμμική απόκριση όταν η σχετική υγρασία είναι κάτω από μια τιμή. Γι αυτό στο πρόγραμμά μας για τιμές σχετικής υγρασίας κάτω των 30% θα θεωρούμε ότι έχουμε μόνο μια τιμή αυτήν των 30%.

Σημειώνεται ότι οι αισθητήρες μεταβλητής χωρητικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μέτρηση του σημείου δρόσου.

### 6.3 Πυρανόμετρο –Αισθητήρας PAR



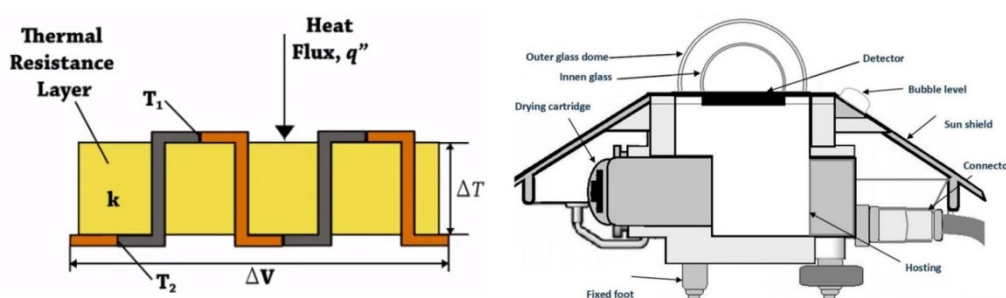
Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο βασικός παράγοντας για την φωτοσύνθεση και κατά ένα μεγάλο βαθμό για την θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο . Η παραγωγή χλωροφύλλης έχει άμεση σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και αυτό μετράτε με το πυρανόμετρο και τον αισθητήρα PAR.

Η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία είναι η ακτινοβολία με μήκος κύματος από 400 nm έως 700 nm και μετράτε με τον αισθητήρα PAR. Το πυρανόμετρο μετρά την ακτινοβολία από 300 έως 2800 nm . Με ένα πυρανόμετρο μπορούμε με αρκετά καλή προσέγγιση να μετρήσουμε την φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία αφού αυτή είναι το 45% της ακτινοβολίας που μετρά το πυρανόμετρο.

Τα βασικό στοιχείο ενός πυρανόμετρου είναι το στοιχείο θερμοστήλης , και σε συνδυασμό με τα άλλα μέρη μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική που μετά την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε  $W/m^2$ .

Η θερμοστήλη ουσιαστικά είναι μια διάταξη θερμοστοιχείων συνδεδεμένα στη σειρά όπου η θερμές επαφές βρίσκεται στο κέντρο κάτω από τους θόλους και κάτω από το υλικό που δέχεται την ηλιακή ενέργεια. Οι ψυχρές επαφές βρίσκονται εντός ενός υλικού με μεγάλη θερμοχωρητικότητα .

Τα άλλα βασικά μέρη είναι οι γυάλινοι θόλοι , το υλικό που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία(μαύρου χρώματος) ,τα ο υλικό που κρατά σταθερή θερμοκρασία στις ψυχρές επαφές, το κάλυμμα ,ο αισθητήρας θερμοκρασίας αναφοράς και η διάταξη που μεταφέρει το σήμα.



Μπορεί να λαμβάνει φως από  $180^\circ$  γωνία και έτσι μπορεί να δέχεται την άμεση ,την διάχυτη και την ανακλώμενη ακτινοβολία της ατμόσφαιρας και μας δίνει τιμές από  $0 W/m^2$  έως και  $1300 W/m^2$  περίπου. Η διάταξη είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα και οι γυάλινοι θόλοι μονώνουν το θάλαμο του θερμοστοιχείου και περιορίζουν τα μήκη κύματος άνω των 2800 nm. Το κάλυμμα γύρω από τον αισθητήρα περιορίζει την αύξηση τις θερμοκρασίας γύρω από το σώμα του οργάνου και είναι χρώματος άσπρου.

Έχουν κατασκευαστεί και πυρανόμετρα από φωτοηλεκτρικούς διόδους GaAsP που μπορεί να μετρά τιμές από 0 έως  $1280 W/m^2$  με ακρίβεια  $\pm 10 W/m^2$  και ανάλυση ανά  $1 W/m^2$ .

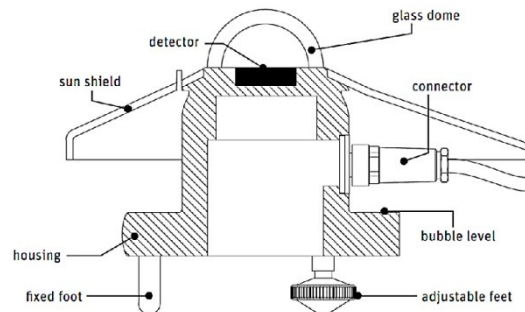
Οι αισθητήρες PAR με παρόμοια διάταξη με τα πυρανόμετρα χωρίς , όμως αισθητήρα θερμοκρασίας αναφοράς, χρησιμοποιούν φωτοηλεκτρικούς διόδους διαφόρων τύπων(πυριτίου ,σεληνίου κτλ.) οι οποίοι μετατρέπουν το απ ευθείας το φως σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ένας αισθητήρας PAR αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη.

α) Το υλικό διάχυσης για ομοιόμορφη κατανομή της ακτινοβολίας και για να ανακόπτει τα μήκη κύματος κάτω από 400 nm και πάνω από 700 nm.

β) Τη φωτοδίοδο που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα.

γ) Από στρώμα ακρυλικού υλικού για μόνωση στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά μέρη.

δ) Από το εξωτερικό περίβλημα



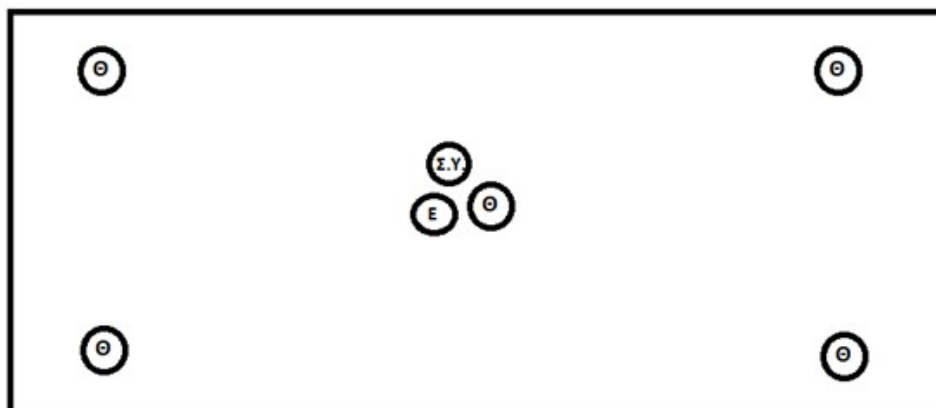
## 6.4 Ανεμόμετρο

Η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ σημαντικά για την λειτουργία ενός αυτοματοποιημένου θερμοκηπίου. Αυτά τα μεγέθη μετρούνται με το ανεμόμετρο και μπορούν να ενσωματώνονται η διεύθυνση και η ταχύτητα σε μία συσκευή η να βρίσκονται ξεχωριστά.

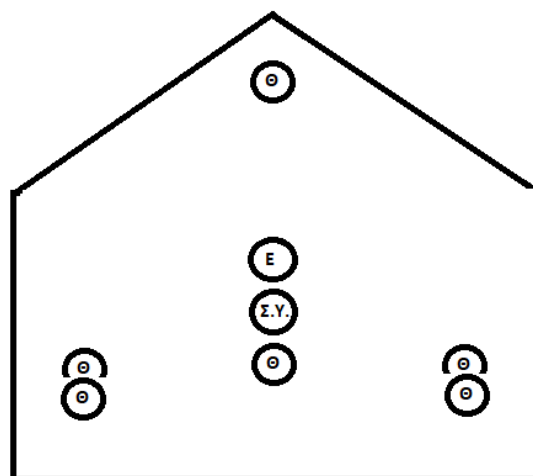
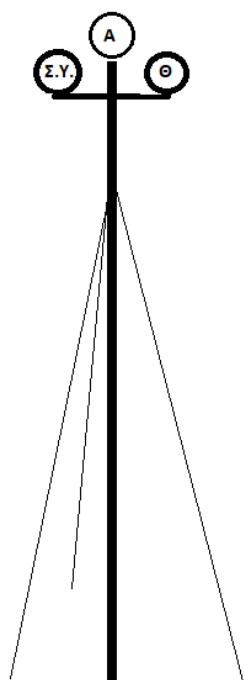


Το σήμα που παράγεται στην έξοδο μπορεί να είναι τάση (πχ 0..10V) ή ρεύμα (πχ 4-20 mA) και μπορούν να συνδεθούν σε μια αναλογική κάρτα εισόδου όπως η TM3A18 που θα χρησιμοποιήσουμε στην εφαρμογή μας, όμως πρέπει όλοι οι αισθητήρες να έχουν του ίδιου τύπου έξοδο, τάση ή ρεύμα ή μπορεί να είναι απευθείας μια ψηφιακή τιμή που έχει εξαχθεί με μια έξοδο RS485 ή άλλη και θα μεταφερθεί στον ελεγκτή με ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας όπως το Modbus RTU.

Υπάρχουν τα ανεμόμετρα κυπέλου, πτερυγίων, με φτερωτή, ηχητικά και θερμοσφαιρικού. Κατάλληλα για το θερμοκήπιο είναι τα 3 πρώτα.



Θ= ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ  
 ΣΥ= ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ  
 Ε= ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ  
 Α=ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ /ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ



Σχήμα 6.4 Χωροθέτηση Αισθητήριων εντός και εκτός Θερμοκηπίου σε Ιστό

## Κεφάλαιο 7: Στοιχεία για το υπό μελέτη Θερμοκήπιο

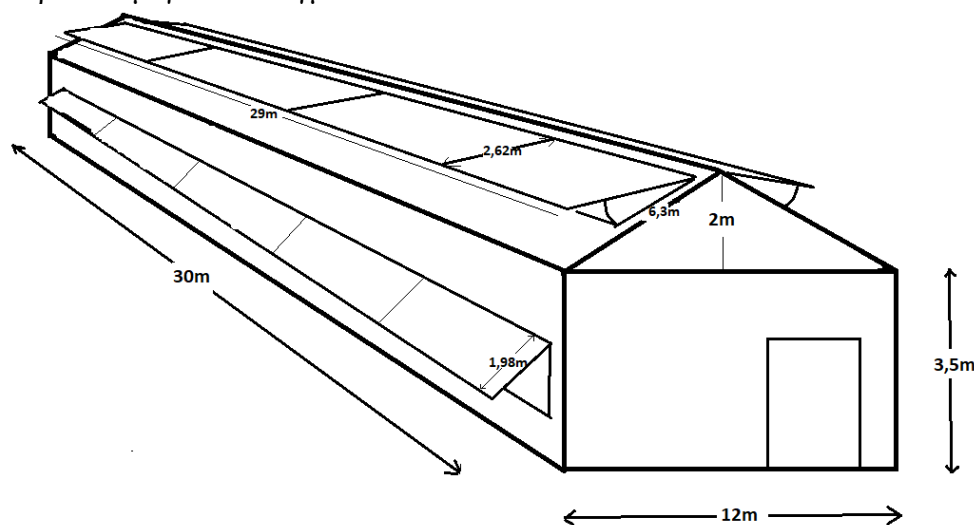
Το θερμοκήπιο θα βρίσκεται στην περιοχή Ακτίου Αιτωλοακαρνανίας με Γεωγρ Πλάτος  $38^{\circ}54'.53$  και Γεωγρ Μήκος  $20^{\circ}48.06$  με προσανατολισμό Ανατολικο- Δυτικό κατά την διαμήκη διάσταση του. Είναι ένα αμφίρρηκτο θερμοκήπιο από γαλβανισμένο χάλυβα με κάλυμμα από πολυαιθυλαινιο.

Είναι θερμαινόμενο και με σύστημα ψύξης. Ως σύστημα ψύξης χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες στην μια πλευρά και υγρό τοίχωμα από την απέναντι πλευρά, επίσης θα υπάρχει θερμοκουρτίνα για την μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ανεμιστήρες ελέγχονται ως προς την ταχύτητα με ρυθμιζόμενο ελεγκτή στροφών μέσω του PLC. Ως σύστημα θέρμανσης θα υπάρχει καυστήρας πετρελαίου με σωλήνες θέρμανσης.

Το μήκος του θερμοκηπίου θα είναι 30 μ και το πλάτος 12. Το ύψος κάθε πλευράς θα είναι 3,5 μ και το ύψος της οροφής 5,5 μ. οπότε το εμβαδόν του εδάφους του θερμοκηπίου θα είναι  $30 \cdot 12 = 360 \text{m}^2$  και ο όγκος του  $1620 \text{m}^3$ .

Τυπικά η καλλιέργεια θα είναι καλλιέργεια τομάτας ώστε να έχουμε συγκεκριμένες τιμές κλίματος για το εν λόγω προϊόν που θα χρησιμοποιηθούν στον προγραμματισμό του αυτοματισμού αν και ο τρόπος που σχεδιάστηκε ο προγραμματισμός μπορεί εύκολα να προσαρμοσθεί σε άλλη καλλιέργεια.

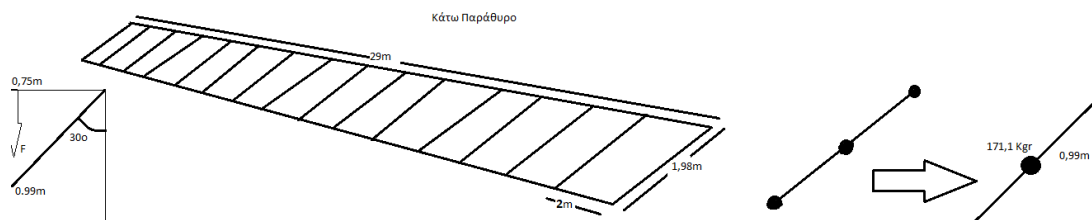
Για να γίνεται αερισμός του εσωτερικού του θερμοκηπίου θα υπάρχουν ανοίγματα και για να είναι αποτελεσματικός ο αερισμός τα ανοίγματα θα έχουν εμβαδόν ίσο με το 30% του εμβαδού του εδάφους του θερμοκηπίου. Αυτό σημαίνει  $108 \text{m}^2$  συνολικό εμβαδόν ανοιγμάτων. Αν τα κάτω 2 παράθυρα καταλαμβάνουν  $60 \text{m}^2$  ( $30 \text{m}^2$  ανά πλευρά) τότε τα άνω θα πρέπει να είναι  $48 \text{m}^2$  δηλαδή  $24 \text{m}^2$  ανά πλευρά. Αν το μήκος των παραθύρων είναι 29 μ και η γωνία ανοίγματος των κάτω παραθύρων  $30^{\circ}$  και των πάνω  $18^{\circ}$  αυτό μας δίνει ότι το ύψος των κάτω παραθύρων θα είναι 1,98 μ και των πάνω 2,62 όπως φαίνονται και στο σχήμα. Ως άνοιγμα θεωρείται η κάθετος απόσταση από την κάτω πλευρά του ανοίγματος έως το παράθυρο στο μέγιστο άνοιγμά του.



Σχήμα 7.1 Διαστάσεις υπό μελέτη Θερμοκηπίου

## 7.1 Υπολογισμός Κινητήρα Παραθύρων.

Για να υπολογίσουμε ποιον κινητήρα θα τοποθετήσουμε για τον αυτόματο έλεγχο του αερισμού θα εξετάσουμε τα κατασκευαστικά στοιχεία του παραθύρου. Ο σκελετός του παραθύρου θα είναι κατασκευασμένος από γαλβανισμένο σωλήνα διαμέτρου 48,3mm και πάχους 2 mm με βάρος 2,28 Kgr/m. Το μήκος των κάτω παραθύρων θα είναι 29m και πλάτους 1,98 m με ζευκτά ανα 2 m όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 7.2.1 Παράθυρα Κάτω

Για να βρούμε την ροπή που θα πρέπει να έχει ο κινητήρας θα βρούμε πρώτα την ροπή που έχει το παράθυρο. Μοντελοποιούμε το παράθυρο ως μια ράβδο με κέντρο μάζας ένα σημείο της ράβδου. Για το κέντρο μάζας δεν θα λάβω υπ όψιν τον σωλήνα στην πλευρά που θα έχει τους μεντεσέδες γιατί θεωρώ πως η μάζα του κατανέμεται εκατέρωθεν του άξονα περιστροφής. Επομένως τα ζευκτά για το κάτω παράθυρο είναι  $29/2+1=15,5$  δηλ 16 σωλήνες  $16*1,98m=31,68 m \rightarrow 31,68m*2,82 Kgr/m=89,3 Kgr$ .

Ο σωλήνας της κάτω πλευράς είναι  $29m*2,82 Kgr/m=81,8 Kgr$ .

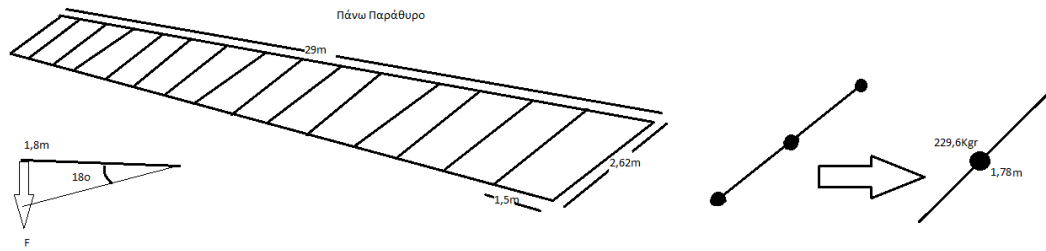
Επομένως το κέντρο μάζας για το κάθε κάτω παράθυρο βρίσκεται σε απόσταση από τον άξονα περιστροφής ίση με:  $\frac{m_1 * x_1 + m_2 * x_2}{m_1 + m_2} = \frac{89,3 * 0,99 + 81,8 * 1,98}{89,3 + 81,8} = 1,48m$   
 $\rightarrow 1,5 m$

Οπότε για το κάτω παράθυρο η ροπή είναι  $171 Kgr * 9,81m/s^2 * 1,5m * \cos 60^\circ = 1258 Nt$   
m

Επειδή και άνεμος ασκεί μια μεταβαλλόμενη δύναμη προσαυξάνω την ροπή κατά 15% (189 Nt m) Συνολική ροπή για τα κάτω παράθυρα 1447 Nt m.

Αντίστοιχα για τα πάνω παράθυρα θα χρησιμοποιηθεί επίσης γαλβανισμένος σωλήνας διαμέτρου 48,3mm και πάχους 2 mm με βάρος 2,28 Kgr/m. Το μήκος των

πάνω παραθύρων θα είναι 29m και πλάτους 2,62 m με ζευκτά ανα 1,5 m όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 7.2.2 Παράθυρα Πάνω

Επομένως τα ζευκτά για το πάνω παράθυρο είναι  $29/1,5+1=20,3$  δηλ 20 σωλήνες  $20*2,62m = 52,4m \rightarrow 52,4m*2,82 Kgr/m= 147,8 Kgr$ .

Ο σωλήνας της κάτω πλευρας είναι  $29m*2,82 Kgr/m=81,8 Kgr$ .

Επομένως το κέντρο μάζας για το κάθε πάνω παράθυρο βρίσκεται σε απόσταση από τον άξονα περιστροφής ίση με:  $\frac{m_1 * x_1 + m_2 * x_2}{m_1 + m_2} = \frac{147,8 * 1,31 + 81,8 * 2,62}{147,8 + 81,8} = 1,78m \rightarrow 1,8 m$ .

Για το πάνω παράθυρο η ροπή είναι  $230 Kgr * 9,81m/s^2 * 1,8m = 4061 Nt m$   
Επειδή και άνεμος ασκεί μια μεταβαλλόμενη δύναμη προσανξάνω την ροπή κατά 15% (609 Nt m) Συνολική ροπή για τα πάνω παράθυρα 4670 Nt m.

Το κάθε παράθυρο θα κινείται με έναν ηλεκτρικό 3Φ κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα

μέσω ενός γωνιακού μειωτήρα 80:1 με ονομαστικές στροφές 1450 rpm.

Οπότε  $\omega_1 = 1450/80 = 18,125 rpm$ .

Στο μειωτήρα προσαρμόζεται ένα γρανάζι 12 δοντιών διαμέτρου 6 cm που μεταδίδει την κίνηση σε ένα γραναζωτό βραχίονα. Άρα το κάθε δόντι έχει βήμα 1,57 cm.

Το γρανάζι έχει περίμετρο  $\Gamma_1 = 18,84 cm$

Για το κάτω παράθυρο το εύρος ανοίγματος στο σημείο έδρασης του κινητήρα είναι 78,5 cm. Αφού η γωνία που στρέφεται το κάτω παράθυρο είναι  $30^\circ$  δηλ  $\pi/6$  αυτό συνεπάγεται ότι η περίμετρος του βραχίονα θα ήταν  $\Gamma_2 = 2\pi * 78,5 / (\pi/6) = 942 cm$

$\Gamma_2/\Gamma_1 = 50$  επομένως  $\omega_2 = 18,125/50 = 0,3625 rpm$

Ο χρόνος ανοίγματος είναι 13,8 s.

Οπότε αφού  $\tau_1 \cdot \omega_1 = \tau_2 \cdot \omega_2$  , με  $\tau_2 = 1447 \text{ Nt m}$  και  $\omega_2 = 0,3625 \text{ rpm}$   
 $\rightarrow \tau_1 = (1447 \cdot 0,3625) / 18,125 = 29 \text{ Nt m}$ .

Αρα η ισχύς του κινητήρα θα είναι  $P_{μηχ} = 29 \text{ Nt m} \cdot 18,125 \text{ rpm} = 525 \text{ W}$  .Επειδη έχουμε μετάδοση με γρανάζια συντελεστής  $\eta_1 = 0,7$  και βαθμός απόδοσης κινητήρα  $\eta_2 = 0,8$   $P_{ηλ} = 525 / (0,8 \cdot 0,7) = 937 \text{ W}$  κινητήρας 1,25 HP.

Για το πάνω παράθυρο το εύρος ανοίγματος στο σημείο έδρασης του κινητήρα είναι 56 cm. Αφού η γωνία που στρέφεται το κάτω παράθυρο είναι  $18^\circ$  δλδ  $\pi/10$  αυτό συνεπάγεται ότι η περίμετρος του βραχίονα θα ήταν  $\Gamma_2 = 2\pi \cdot 56 / (\pi/10) = 1120 \text{ cm}$

$\Gamma_2 / \Gamma_1 = 59,5$  επομένως  $\omega_2 = 18,125 / 59,5 = 0,3046 \text{ rpm}$

Ο χρόνος ανοίγματος είναι 9,84 s.

Οπότε αφού  $\tau_1 \cdot \omega_1 = \tau_2 \cdot \omega_2$  , με  $\tau_2 = 4670 \text{ Nt m}$  και  $\omega_2 = 0,3046 \text{ rpm}$   
 $\rightarrow \tau_1 = (4670 \cdot 0,3046) / 18,125 = 78,5 \text{ Nt m}$ .

Αρα η ισχύς του κινητήρα θα είναι  $P_{μηχ} = 78,5 \text{ Nt m} \cdot 18,125 \text{ rpm} = 1422 \text{ W}$  .Επειδη έχουμε μετάδοση με γρανάζια συντελεστής  $\eta_1 = 0,7$  και βαθμός απόδοσης κινητήρα  $\eta_2 = 0,8$   $P_{ηλ} = 1422 / (0,8 \cdot 0,7) = 2540 \text{ W}$  κινητήρας 3,5 HP.

## 7.2 Υπολογισμός Ανεμιστήρα και υγρού τοιχώματος

Ο ανεμιστήρας που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι κατάλληλος για τον δυναμικό αερισμό του θερμοκηπίου καθώς επίσης και για τον δροσισμό με το σύστημα υγρής παρείας. Οπότε πρέπει να έχει την δυνατότητα για μεταφορά συγκεκριμένου όγκου αέρα σε συγκεκριμένο χρόνο και με ταχύτητα κατάλληλη για την αποτελεσματική λειτουργία του δροσισμού με υγρό τοίχωμα.

Οι εναλλαγές αέρα για να υπάρχει η δυνατότητα μείωσης της θερμοκρασίας κατά  $4,5-5,5^\circ\text{C}$  είναι 1 φορά ανά λεπτό δηλαδή 60 φορές ανά ώρα. Στην παρούσα περίπτωση απαιτείται συνολική παροχή  $60 \text{ φορές/h} \cdot 1620 \text{ m}^3 = 97200 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Οι ανεμιστήρες επιλέγονται έτσι ώστε να αποδίδουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για στατική πίεση  $24,5 \text{ Pa} \rightarrow 24,5 \text{ Nt/m}^2$  περίπου  $24,5 \text{ Km/h}$  ταχύτητα ανέμου.

Επίσης η ταχύτητα αέρα στο υγρό τοίχωμα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα  $1,5 \text{ m/s}$ .

(Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος)

Αυτό θα ρυθμιστεί από την διάσταση του υγρού τοιχώματος όπως θα αναλυθεί πιο κάτω.

Η ισχύς του κινητήρα μπορεί να υπολογιστεί ως εξής :  $P = Q \cdot \Delta p / h$

Όπου Q η παροχή σε  $\text{m}^3/\text{s}$

$\Delta p$  η διαφορά πίεσης σε  $\text{Nt/m}^2$

h ένας συντελεστής απόδοσης από 60 %μέχρι 80%

Οπότε για την περίπτωσή μας αν χρησιμοποιήσουμε 2 ανεμιστήρες η παροχή πρέπει να είναι  $97200 \text{ m}^3/\text{h} / 2 = 48600 \text{ m}^3/\text{h}$  και η Ισχύς του κινητήρα  $P = 13,5 \cdot 24,5 / 0,6 = 551 \text{ W}$ .

Ή αν χρησιμοποιήσουμε 3 ανεμιστήρες η παροχή πρέπει να είναι  $97200 \text{ m}^3/\text{h} / 3 = 32400 \text{ m}^3/\text{h}$  και η Ισχύς του κινητήρα  $P = 9 \cdot 24,5 / 0,6 = 367,5 \text{ W}$



Η ταχύτητα του ανέμου στο υγρό τοίχωμα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,5 m/s. Αν έχουμε μια απαίτηση για αντικατάσταση του αέρα 60 φορές /h δηλαδή μια παροχή 97200 m<sup>3</sup>/h με ταχύτητα ανέμου 1,5 m/s  $\rightarrow \frac{27 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}}=18 \text{ m}^2$

Το πλάτος του θερμοκηπίου είναι 12 m οπότε το πλάτος του υγρού τοιχώματος θα είναι περίπου 11 m. Άρα το ύψος του υγρού τοιχώματος θα είναι 18 m<sup>2</sup>/11 m=1,64 m.

### 7.3 Αντλία νερού υγρού τοιχώματος

Για να μπορεί να επιτευχθεί μια μείωση της θερμοκρασίας με τη μέθοδο του δυναμικού αερισμού και του υγρού τοιχώματος κατά 6 °C για κάθε m<sup>3</sup>/s αέρα απαιτούνται 2,7 g/s

νερό στο υγρό τοίχωμα (Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος), και επειδή η παροχή νερού πρέπει να είναι μεγαλύτερη για να ξεπλένεται το υγρό τοίχωμα από τα άλατα του νερού υπολογίζουμε μια παροχή νερού 3 g/s. Αφού απαιτούνται 27 m<sup>3</sup>/s αέρα  $\rightarrow$  81 g/s νερό και επειδή οι αντλίες περιγράφονται σε m<sup>3</sup>/h χρειαζόμαστε μια αντλία με παροχή 81 g/s \*3600 s/ h=291600 g/ h  $\rightarrow$  0,2916 m<sup>3</sup>/h η οποία θα λειτουργεί συνεχώς για όσο διάστημα ο αυτοματισμός μας, απαιτεί λειτουργία υγρού τοιχώματος.

Η ισχύς της αντλίας θα πρέπει να μας δίνει αυτή την παροχή στο ύψος της πάνω πλευράς του υγρού τοιχώματος με μια πίεση περίπου 1 bar για να μπορεί το νερό να εκτοξευθεί και να διαχυθεί στη συνέχεια ομοιόμορφα στο τοίχωμα με μια κατασκευή που διατίθεται για αυτόν ειδικά το σκοπό από τους κατασκευαστές υγρών τοιχωμάτων.

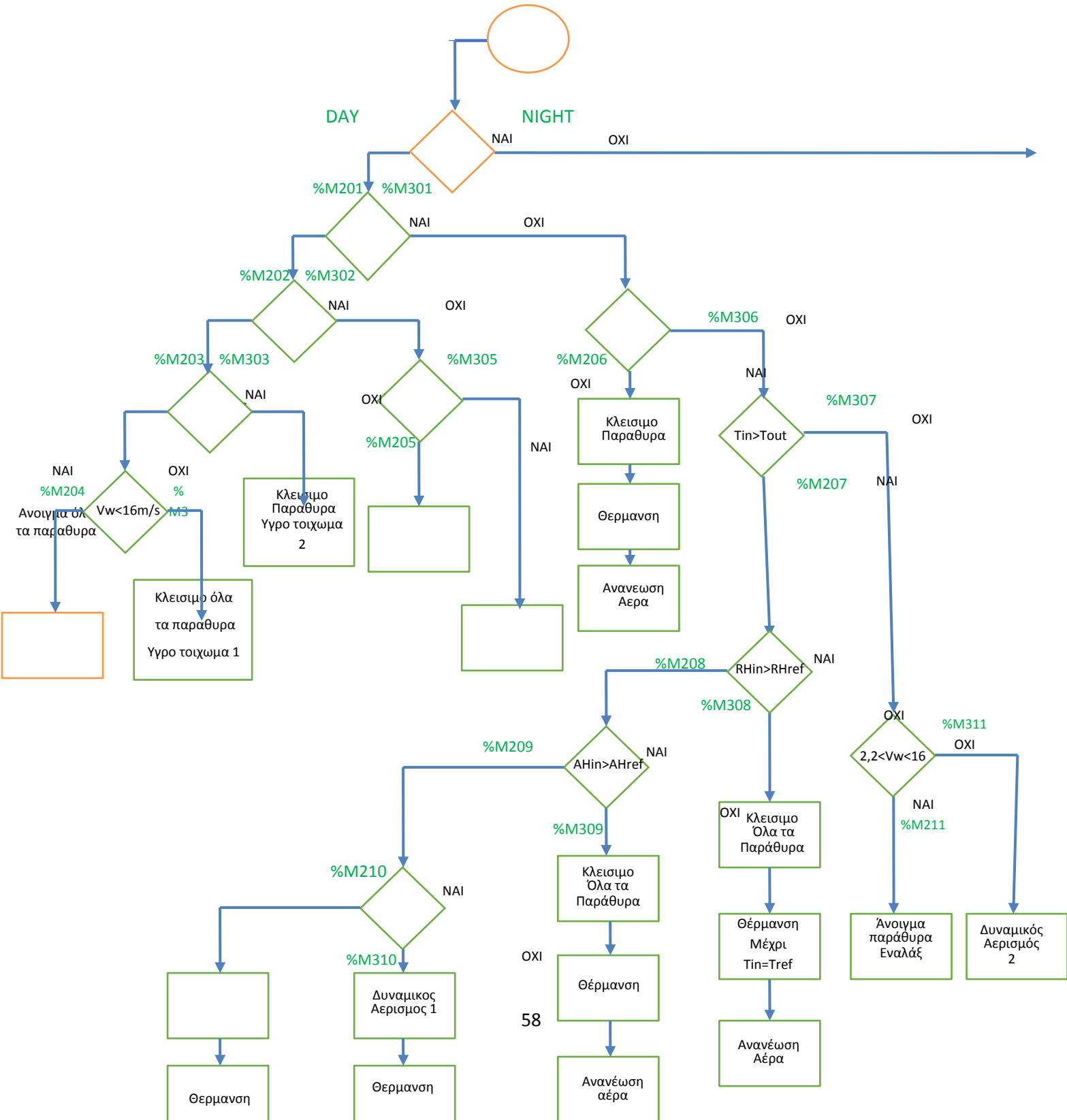
Οπότε το ύψος που πρέπει η αντλία να ανεβάσει το νερό θα είναι 0.6+1,64+10=10,24 m

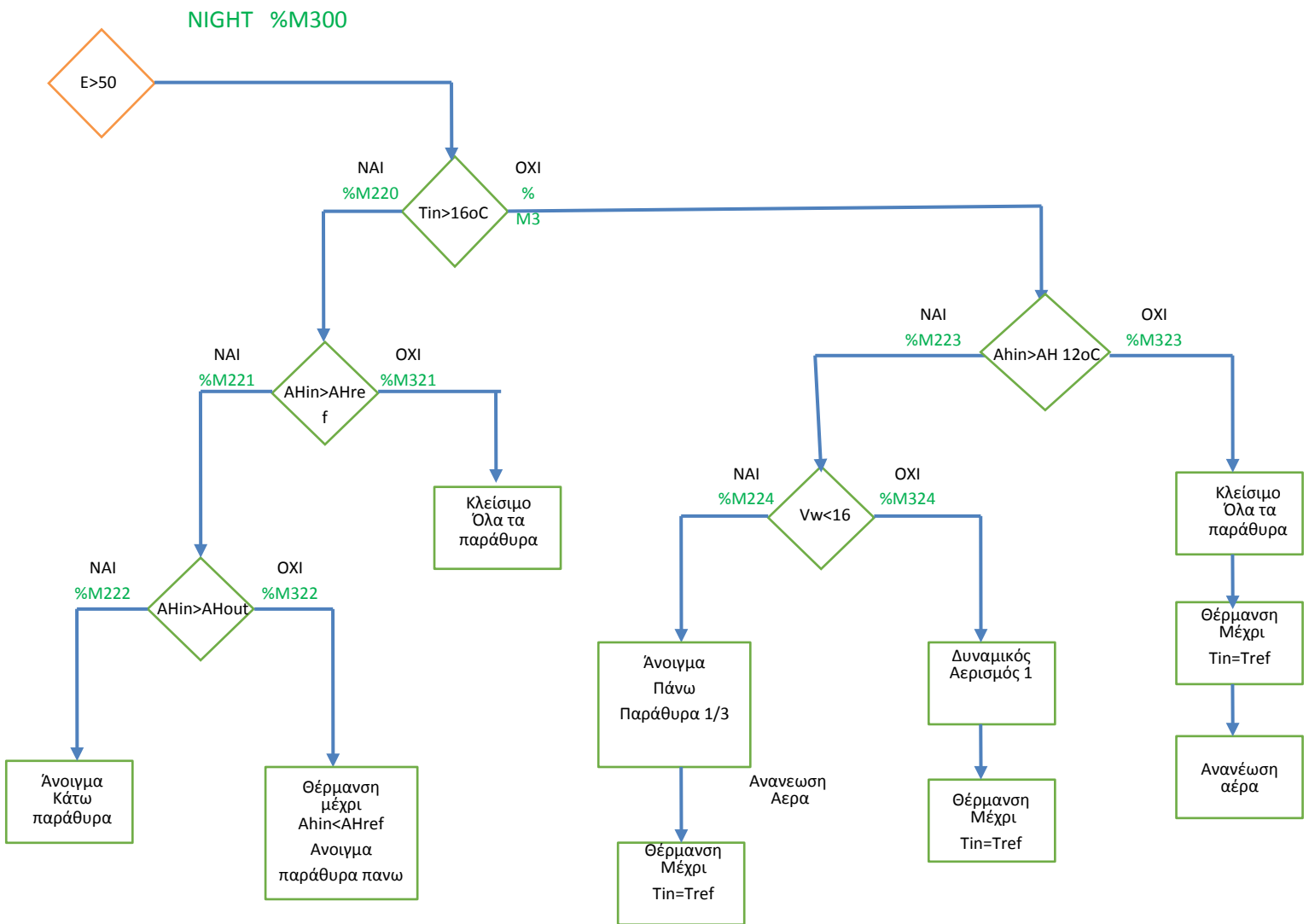
$P=Q \cdot g \cdot h = 0,081 \cdot 9,81 \cdot 10,24 = 9,72 \text{ W}$  και επειδή υπάρχουν απώλειες σε σωλήνες διαίρω με ένα συντελεστή απωλειών 0,5 και ένα συντελεστή απόδοσης 0,8 .

Άρα η ισχύς της αντλίας θα είναι 9,72/0.8\*0,5=24,3 W.

# Κεφάλαιο 8 Πρόγραμμα Αυτοματισμού

## 8.1 Διάγραμμα Αυτοματισμού





Vw = Ταχύτητα Ανέμου

E = Ενταση Ηλιακης Ακτινοβολιας σε W/m<sup>2</sup>

RHref = Σχετικη Υγρασια Αναφορας

RH out = Σχετικη Υγρασια Έξω

RHin= Σχετικη Υγρασια Εντός

AHout= Απολυτη Υγρασια Έξω

AHin = Απολυτη Υγρασια Εντός

Tin = Θερμοκρασια Εντός

Tout = Θερμοκρασια Έξω

Διάγραμμα 8.1 Διάγραμμα Ροής Αυτοματισμού

## 8.2 Σχεδιασμός και απαιτήσεις υλικού για το πρόγραμμα

Αρχικά να αναφέρουμε πως το πρόγραμμα βασίζεται στην μέγιστη καθαρή φωτοσύνθεση.

Αυτό σημαίνει πως αναλόγως την έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ρυθμίζουμε και την θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου.

Το πρώτο που κάνουμε είναι ένας διαχωρισμός στο πρόγραμμα μεταξύ ημέρας και νύχτας γιατί την νύχτα δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία οπότε η θερμοκρασία αναφοράς που αφορά κάθε φυτό έχει εξαχθεί πειραματικά και είναι συγκεκριμένα για την τομάτα οι 18 °C.

Η ένταση ακτινοβολίας 50 W/m<sup>2</sup> θεωρούμε ότι είναι το όριο μεταξύ ημέρας και νύχτας.

Η ένταση μετράτε με πυρανόμετρο εντός του θερμοκηπίου και η πληροφορία μεταφέρεται στον ελεγκτή με το πρωτόκολλο Modbus RTU.

Όπως φαίνεται από το φυλλάδιο του κατασκευαστή οι προκαθορισμένες τιμές για να λειτουργήσει η επικοινωνία του Modbus RTU είναι :

The default RS-485 settings are: 19200 baud rate, 8 data bits, even parity, one stop bit. This configuration is used for most Modbus networks.

Table 7-1: Modbus register map				
Starting register number	Register count	Data format	Units	Description
1	1	Signed 16 bit integer		Modbus address
3	2	Signed 32 bit integer	mW/m <sup>2</sup>	Irradiance (temperature compensated signal)
5	2	Signed 32 bit integer	mW/m <sup>2</sup>	Irradiance (temperature uncompensated signal)
7	1	Signed 16 bit integer	0.01 °C	Sensor body temperature
8	1	Signed 16 bit integer	x 0.1 Ω	Sensor electrical resistance
9	1	Signed 16 bit integer		Scaling factor irradiance
10	1	Signed 16 bit integer		Scaling factor temperature
11	2	Signed 32 bit integer	nV	Sensor voltage output
41	1	Signed 16 bit integer		Serial number
42	2	Float	μV/W/m <sup>2</sup>	Sensor sensitivity
47	2	Signed 32 bit integer		Calibration date
99	1	Signed 16 bit integer	x 0.01 %	Humidity

### Πίνακας 8.1 Καταχωρητές Πυρανόμετρου

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τον καταχωρητή 3 που μας δίνει την τιμή σε mW/m<sup>2</sup> και είναι 32 bit οπότε για 1 W που εμείς χρησιμοποιούμε ως μονάδα θα μας δίνονται 1000 mW . Άρα θα διαιρούμε την τιμή, που θα παίρνουμε σε μια διπλή λέξη (%DM) ,του καταχωρητή με το 1000 για να έχουμε την τιμή που θέλουμε.

Για την θερμοκρασία θα έχουμε τον μέσο όρο 6 αισθητήρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και ένα αισθητήρα τοποθετημένο σε ιστό για την εξωτερική θερμοκρασία . Αν και το παρόν θερμοκήπιο δεν είναι μεγάλων διαστάσεων τοποθετούμε 6 αισθητήρες στο εσωτερικό για άριστη εξαγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας.

Από τους 6 αισθητήρες στους 4 θα μεταφέρεται το σήμα μέσω του βρόγχου 4-20 mA όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4 και για τον κεντρικό και οροφής με το πρωτόκολλο Modbus RTU . Για τους 4 πρώτους θα χρησιμοποιηθεί μια κάρτα TM3AI4G και στο πρόγραμμα θα καταχωρείται η τιμή τους σε 4 Memory Word (%MW) μία για τον κάθε ένα. Για τους αισθητήρες που το σήμα μεταφέρεται μέσω πρωτόκολλου Modbus RTU θα χρησιμοποιηθεί σειριακή θύρα και οι τιμές θα διαβάζονται από τους Register που μας καθορίζει ο κατασκευαστής όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί και στο Παράρτημα Α των φυλλαδίων των αισθητήρων.

## TELEGRAMME

### Function 04 Read Input Register

Register	Parameter		Data Type	Value	Range
3x0001	Temperatur	Ohne Filterung	Signed 16 Bit	-500...+ 1500 -580...+ 3020 -999...+ 9999	-50.0 ... +150.0 °C -58.0 ... +302.0 °F Überlauf
3x0002	Temperatur	Filterung 1 s	Signed 16 Bit	-500...+ 1500 -580...+ 3020 -999...+ 9999	-50.0 ... +150.0 °C -58.0 ... +302.0 °F Überlauf
3x0002	Temperatur	Filterung 10 s	Signed 16 Bit	-500...+ 1500 -580...+ 3020 -999...+ 9999	-50.0 ... +150.0 °C -58.0 ... +302.0 °F Überlauf

Πίνακας 8.2 Καταχωρητές Αισθητήρα Θερμοκρασίας

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε το Function block ‘‘READ VAR’’ που διατίθεται για αυτό το σκοπό στο πρόγραμμα και θα χρησιμοποιήσουμε τον καταχωρητή 0002 για μετάδοση τιμής θερμοκρασίας ανά 10 sec.

Αφού ο αισθητήρας της σχετικής υγρασίας διαθέτει και αισθητήρα θερμοκρασίας θα χρησιμοποιήσουμε εκείνους, για τον κεντρικό στο εσωτερικό και για την εξωτερική θερμοκρασία

Άρα θα χρησιμοποιήσουμε 1 αισθητήρα και 1 Function block ‘‘READ VAR’’ και 1 %MW αφού βλέπουμε πως κάθε τιμή απαιτεί 16 bit

Για την Σχετική Υγρασία θα χρησιμοποιήσουμε 2 αισθητήρες ,έναν για το εσωτερικό και έναν εξωτερικά του θερμοκηπίου με μεταφορά δεδομένων μέσω πρωτόκολλου Modbus RTU όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4 Αφού ο ίδιος αισθητήρας διαθέτει και αισθητήρα θερμοκρασίας θα χρησιμοποιήσουμε και τους αντίστοιχους registers όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

### Function 04 Read Input Register

Register	Parameter		Data Type	Value	Range
3x0001	Temperature	Sampling 4 s	Signed 16 Bit	-350...+800	-35.0...+80.0 °C
3x0002	Temperature	Filtering 32 s	Signed 16 Bit	-350...+800	-35.0...+80.0 °C
3x0003	Relative humidity	Sampling 4 s	Signed 16 Bit	0...1000	0.0...100.0% r.H.
3x0004	Relative humidity	Filtering 32 s	Signed 16 Bit	0...1000	0.0...100.0% r.H.
3x0005	Dew point	Computed value	Signed 16 Bit	0...500	0.0...+50.0 °C
3x0006	Absolute humidity	Computed value	Signed 16 Bit	0...800	0.0...80.0 g/m <sup>3</sup>
3x0007	Mixture ratio	Computed value	Signed 16 Bit	0...800	0.0...80.0 g/kg
3x0008	Enthalpy	Computed value	Signed 16 Bit	0...850	0.0...85.0 kJ/kg

### Πίνακας 8.3 Καταχωρητές Αισθητήρα Σχετικής Υγρασίας

Θα χρησιμοποιήσουμε το Function block ‘‘READ VAR’’ και θα χρησιμοποιήσουμε τον καταχωρητή 0002 για μετάδοση τιμής θερμοκρασίας ανά 32 sec. τον καταχωρητή 0004 για μετάδοση τιμής σχετικής υγρασίας ανά 32 sec και μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τους καταχωρητές 0005 και 0006 για την απόλυτη υγρασία και την τιμή σημείου δρόσου αλλά εμείς στην παρούσα εργασία την τιμή της απόλυτης υγρασίας την υπολογίζουμε μέσω προγραμματισμού βάσει της τιμής της σχετικής υγρασίας. Άρα θα χρησιμοποιήσουμε 2 αισθητήρες και 2 Function block ‘‘READ VAR’’ και 6 %MW αφού βλέπουμε πως κάθε τιμή απαιτεί 16 bit.

Για την Ταχύτητα και Κατεύθυνση Ανέμου θα μεταφέρουμε το σήμα μέσω πρωτόκολλου Modbus RTU από τον αισθητήρα Davis Anemometer 6410. Όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί μπορούμε να επιλέξουμε να διαβάζουμε την τιμή της ταχύτητας και της διεύθυνσης άμεσα ή για μια περίοδο 1 ή 2 ή 10 λεπτών. Επειδή συνεχώς η ένταση του ανέμου μεταβάλλεται και κάποιες ριπές ανέμου μπορεί να ξεπεράσουν το όριο που έχουμε θέσει ως την αντοχή των παραθύρων και δεν θέλουμε για μια στιγμιαία ριπή να λειτουργούν συνεχώς τα παράθυρα επιλέγουμε την περίοδο των 10 λεπτών άρα τους registers 14,15 για την ταχύτητα και 16,17 για την διεύθυνση. Άρα στο πρόγραμμα θα χρησιμοποιήσουμε Double Word που αυτό θα γίνει με την κατάλληλη συνάρτηση μετατροπής από 2 Memory Word.

#### A.4 Results registers (Modbus map)

Table 5

Register Number	Byte Number	Structure	Parameter
10	20	fVal[0]	Current wind speed
11	21		
12	22		
13	23	fVal[1]	Current wind direction
14	24		
15	25		
16	26	fVal[2]	Wind speed averaged over 10 minutes
17	27		
18	28		
19	29	fVal[3]	Wind direction averaged over 10 minutes
20	30		
21	31		
22	32	fVal[4]	Maximum wind speed during 3 hours
23	33		
24	34		
25	35	fVal[5]	Maximum direction during 3 hours
26	36		
27	37		
28	38	fVal[6]	Maximum wind speed during 10 minutes
29	39		
30	40		
31	41	fVal[7]	Maximum direction during 10 minutes
32	42		
33	43		
34	44	fVal[8]	Wind speed averaged over 2 minutes
35	45		
36	46		
37	47	fVal[9]	Wind direction averaged over 2 minutes
38	48		
39	49		
40	50	fVal[10]	Maximum wind speed during the last 2 minutes
41	51		
42	52		
43	53	fVal[11]	Maximum direction during 2 minutes
44	54		
45	55		
46	56	fVal[12]	Wind speed averaged over 1 minute
47	57		
48	58		
49	59	fVal[13]	Wind direction averaged over 1 minute
50	60		
51	61		
52	62	fVal[14]	Maximum wind speed during the last minute
53	63		
54	64		
55	65	fVal[15]	Maximum direction during a minute
56	66		
57	67		
58	68	fVal[16]	Maximum wind speed since the reset moment
59	69		
60	70		
61	71	fVal[17]	Maximum direction since the reset moment
62	72		
63	73		
64	74	fVal[18]	Time in seconds from the 3-hour maximum to the current moment
65	75		
66	76		
67	77		
68	78		
69	79		
70	80		
71	81		
72	82		
73	83		
74	84		
75	85		
76	86		
77	87		
78	88		
79	89		
80	90		
81	91		
82	92		
83	93		
84	94		
85	95		

Πίνακας 8.4 Καταχωρητές Αισθητήρα Ταχύτητας-Διεύθυνσης Ανέμου

Συνολικά θα έχουμε 5 αισθητήρες (1 Έντασης ηλιακής ακτινοβολίας , 1 Θερμο-κρασίας , 2 Σχετικής Υγρασίας-Θερμοκρασίας , 1 Ανέμου) που θα λειτουργούν με το πρωτόκολλο Modbus RTU άρα μπορούμε σε μια σειριακή θύρα να τους συνδέσουμε όλους παράλληλα αφού επιτρέπεται μέχρι 32 άμεσα. Επίσης θα χρησιμοποιήσουμε μια κάρτα TM3AI4G για τους 4 αισθητήρες θερμοκρασίας Pt100.



Θα έχουμε 4 κινητήρες για τα 4 παράθυρα , 1 κινητήρα για την θερμοκουρτίνα και 1 κινητήρα για το κάλυμμα της υγρής παρείας. Άρα 6 κινητήρες με 2 τερματικά ο κάθε ένας ,συνολικά 12 τερματικά. Επιπλέον θα έχουμε και 1 αντλία νερού για την υγρή παρεία. Οπότε χρειαζόμαστε και 7 θερμικά . Για την δεξαμενή νερού της υγρής παρείας θα χρειαστεί ακόμα ένα αισθητήρας στάθμης η απλά ένα φλοτέρ. Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε ένα απλό φλοτέρ. Επίσης έχουμε ακόμα 2 θερμικά για τους ανεμιστήρες και 2 αναδράσεις για την κατάσταση λειτουργίας των Inverters.

Συνολικά χρειαζόμαστε 24 ψηφιακές εισόδους (12+7+1+4) εκ των οποίων οι 14 είναι ενσωματωμένοι στον ελεγκτή TM221CE24T. Άρα απαιτείται μια κάρτα με τουλάχιστον 10 ψηφιακές εισόδους.

Για τους 6 κινητήρες επειδή απαιτείται αλλαγή περιστροφής μονοφασικού κινητήρα θα χρειαστούμε 2 ρελέ ανά κινητήρα. Επιπλέον θα χρειαστούμε ένα ρελέ για τον έλεγχο της αντλίας νερού 1 ρελέ για την θέρμανση και 2 για τους ανεμιστήρες.

Οπότε απαιτούνται συνολικά τουλάχιστον 16 εξόδοι εκ των οποίων οι 10 είναι ενσωματωμένοι στον ελεγκτή άρα χρειαζόμαστε μια κάρτα με τουλάχιστον ακόμα 6 εξόδους.

Για τον λόγο αυτό προσθέτουμε μια κάρτα ψηφιακών εισόδων –εξόδων TM3DM24R με 16 ψηφιακές εισόδους και 8 ψηφιακές εξόδους (16 DI)-(8DO).

### 8.3 Πρόγραμμα σε γλώσσα Ladder